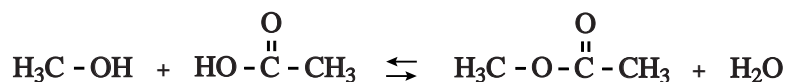


Methylethanoaat

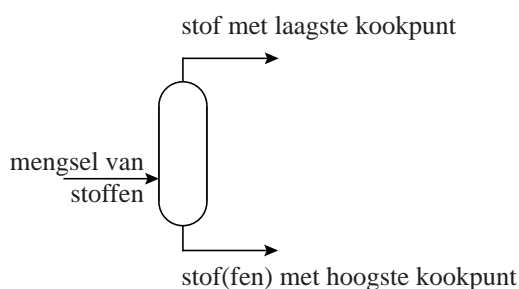
Methylethanoaat is in gebruik als oplosmiddel en als basis voor lakken. De productie van methylethanoaat ($C_3H_6O_2$) gebeurt door estervorming uit methanol en ethaanzuur. Als katalysator wordt zwavelzuur toegepast. Deze estervorming is een evenwichtsreactie.



- 2p 19 Bereken de reactiewarmte van deze reactie. Gebruik hierbij onder andere de volgende gegevens:
- de vormingswarmte van methylethanoaat bedraagt $-4,46 \cdot 10^5 \text{ J mol}^{-1}$;
 - het gevormde water komt vrij als vloeistof.

Doordat de vorming van methylethanoaat een evenwichtsreactie is, zijn na de estervorming enkele scheidingsstappen nodig om het mengsel van stoffen afkomstig uit de reactor te scheiden. Deze scheiding kan worden bereikt met destillatie. Uit de reactor komt een mengsel van vijf stoffen: ethaanzuur, methanol, methylethanoaat, water en zwavelzuur. In een destillatiestap wordt steeds één stof uit het mengsel afgescheiden. Aangenomen mag worden dat de scheiding volledig is. In dat geval zijn vier destillatiestappen nodig na de reactie om het mengsel volledig te scheiden. Dit gebeurt in destillatiekolommen, waarvan er in figuur 1 één schematisch is weergegeven.

figuur 1



- 2p 20 Leg uit, met behulp van gegevens uit de tabel met kookpunten hieronder, wat de minimumtemperatuur moet zijn om in de tweede destillatiekolom een scheiding te bewerkstelligen ($p = p_0$).

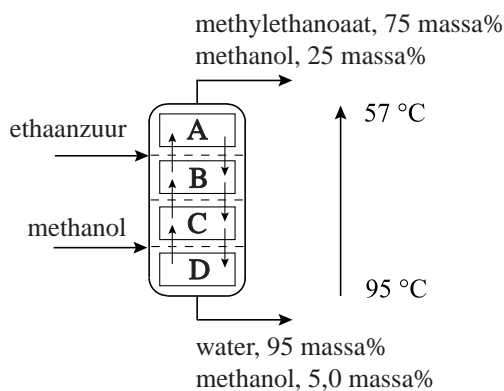
| stof | kookpunt ($^{\circ}\text{C}$, $p = p_0$) |
|-----------------|---|
| ethaanzuur | 118 |
| methanol | 65 |
| methylethanoaat | 57 |
| water | 100 |
| zwavelzuur | 330 |

In de jaren '80 van de vorige eeuw heeft men een chemisch technologisch proces ontwikkeld, waarin een reactor en een destillatietoren worden gecombineerd. Dit proces heet 'reactieve destillatie'. Door tijdens de reactie het reactiemengsel te verwarmen, verdampt methylethanoaat uit het reactiemengsel.

- 2p 21 Leg uit wat de invloed is op de ligging van het evenwicht wanneer methylethanoaat uit het reactiemengsel verdampt.

Aan de universiteit van Oldenburg in Duitsland zijn experimenten gedaan om de productie van methylethanoaat te verbeteren. Deze experimenten zijn gedaan in een fabriek op kleine schaal, een zogenoemde proeffabriek. In de proeffabriek wordt de 'reactieve destillatie' uitgevoerd in een zogenoemde reactieve-destillatiekolom. Deze kolom is verdeeld in vier compartimenten en staat verticaal, zoals in figuur 2 is weergegeven. In compartiment C vindt de reactie plaats. De plaatsen waar ethaanzuur en methanol worden toegevoegd, zijn ook aangegeven. In de kolom neemt de temperatuur van beneden naar boven geleidelijk af van 95 °C naar 57 °C. Het ethaanzuur en de methanol worden van te voren op de vereiste temperatuur gebracht.

figuur 2



Ethaanzuur is in een deel van de kolom ook extractiemiddel: alle water en in mindere mate methanol lossen in het ethaanzuur op, methylethanoaat lost slecht op.

- 2p 22 Leg uit waarom water beter oplost in ethaanzuur dan methylethanoaat.

In de reactieve-destillatiekolom vindt een voortdurende uitwisseling van stoffen tussen de compartimenten plaats: vloeistoffen/oplossingen stromen van boven naar beneden en van beneden naar boven, gassen stromen alleen naar boven.

Wat in de verschillende compartimenten gebeurt, hangt af van de vulling van dat compartiment, de zogenoemde pakking. In de bovenbedoelde reactieve-destillatiekolom worden drie soorten pakkingen gebruikt:

- destillatiepakking: deze zorgt voor een optimaal verloop van een destillatie;
- extractiepakking: deze zorgt voor een optimaal verloop van een extractie;
- reactiepakking: deze zorgt voor een optimaal verloop van een reactie.

Aan de reactiepakking is eveneens de katalysator voor de vorming van methylethanoaat gebonden. Deze katalysator hoeft dus niet uit het reactiemengsel te worden verwijderd.

Per compartiment kunnen in principe drie verschillende soorten pakkingen tegelijk worden toegepast. De reactiepakking bevindt zich alleen in compartiment C.

- 3p **23** Geef voor de compartimenten B en C aan welke stoffen het compartiment van boven en van onder binnenkomen wanneer de kolom in bedrijf is. Gebruik figuur 2. Houd er rekening mee dat:

- stoffen onder hun kookpunt ook in dampvorm kunnen voorkomen;
- stoffen boven hun kookpunt ook in oplossing kunnen voorkomen.

Geef je antwoord in de vorm:

compartiment B: stof (stoffen) die van boven komt (komen): ...

compartiment B: stof (stoffen) die van beneden komt (komen): ...

compartiment C: stof (stoffen) die van boven komt (komen): ...

compartiment C: stof (stoffen) die van beneden komt (komen): ...

- 2p **24** Leg uit welk type (welke typen) pakking(en) in compartiment B wordt (worden) toegepast.

In figuur 2 zijn ook de resultaten vermeld die zijn verkregen in de proeffabriek van de universiteit van Oldenburg.

- 2p **25** Leg aan de hand van figuur 2 uit hoe groot het rendement is van de productie van methylethanoaat ten opzichte van ethaanzuur.

Een ingenieur gaat op basis van de gegevens van de proeffabriek een schatting maken voor de bouw van een echte fabriek. Deze fabriek moet $2,5 \cdot 10^4$ ton methylethanoaat per jaar gaan produceren.

- 5p **26** Bereken hoeveel kg mengsel van water en methanol per uur onder uit de reactieve-destillatiekolom komt in de echte fabriek.
- Neem aan dat de fabriek 360 dagen per jaar continu kan produceren.
 - Gebruik bij je berekening de samenstelling van de stromen, zoals die in de proeffabriek gevonden zijn.