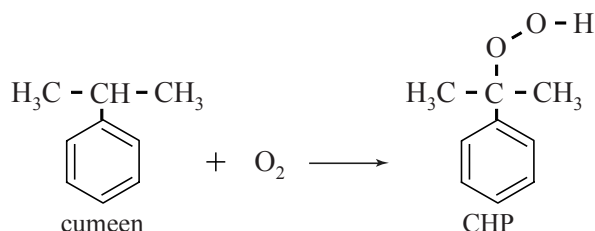


## Fenolproductie

Fenol (benzenol) is een belangrijke grondstof voor veel synthetische producten, waaronder geneesmiddelen en kunststoffen. Fenol wordt geproduceerd volgens het zogeheten cumeen-proces. Een vereenvoudigd blokschema van dit proces staat op de uitwerkbijlage. Uit het blokschema kan de totaalvergelijking voor de vorming van fenol volgens het cumeen-proces worden afgeleid.

- 2p 15 Geef de totaalvergelijking voor de vorming van fenol volgens het cumeen-proces. Gebruik structuurformules voor de koolstofverbindingen.

In reactor 1 (R1) reageert propene volledig met benzeen. Daarbij ontstaat cumeen. In R2 reageert een deel van het gevormde cumeen met zuurstof tot cumeenhydroperoxide (CHP), zoals weergegeven in onderstaande reactievergelijking.



In scheidingsruimte 1 (S1) wordt een groot deel van het overgebleven cumeen afgescheiden. Het mengsel dat overblijft, bevat 82,5 massa% CHP en 17,5 massa% cumeen.

In R3 wordt CHP grotendeels omgezet tot fenol en propanon. Fenol en propanon ontstaan in de molverhouding 1 : 1. Hierbij wordt zwavelzuur als katalysator gebruikt. Omdat de reactie in R3 zeer exotherm is, is het belangrijk om de temperatuur in deze reactor nauwkeurig te regelen. Als de temperatuur te hoog oploopt, leidt dat namelijk tot veiligheidsrisico's. Tevens ontstaan dan ongewenste nevenproducten.

- 1p 16 Geef een mogelijke verklaring waarom de vorming van nevenproducten in R3 alleen optreedt bij een hoge temperatuur.

Reactor 3 is een buisreactor. Door het grote oppervlak van de buis kan R3 goed worden gekoeld. Voordat het mengsel afkomstig uit S1 in R3 wordt gepompt, wordt nog extra propanon toegevoegd. Het toevoegen van propanon aan de instroom in R3 draagt bij aan een veilig proces in R3.

- 2p 17 Geef twee redenen waarom het toevoegen van propanon aan de instroom in R3 bijdraagt aan een veilig proces in R3.

Aan de instroom in R3 wordt extra propanon toegevoegd, zodat in de uitstroom van R3 de molverhouding fenol : propanon gelijk is aan 1,00 : 1,50. De molaire massa van propanon is  $58,1 \text{ g mol}^{-1}$  en die van CHP is  $152 \text{ g mol}^{-1}$ .

- 3p 18 Bereken hoeveel ton propanon er aan 1,0 ton van de instroom in R3 moet worden toegevoegd om de juiste molverhouding fenol : propanon in de uitstroom van R3 te handhaven. Een ton is  $10^3 \text{ kg}$ .  
Neem hier aan dat CHP volledig wordt omgezet tot fenol en propanon.

Het CHP-gehalte in de uitstroom van R3 wordt voortdurend gecontroleerd. Een gehalte hoger dan 2 massa% leidt namelijk tot explosiegevaar in de scheidingsruimten die erna komen. Deze controle gebeurt door een klein gedeelte van de uitstroom van R3 naar een microreactor te leiden. In de microreactor reageert het aanwezige CHP volgens dezelfde reactie als in R3, waardoor de temperatuur van de vloeistofstroom stijgt. Uit de temperatuurstijging van de vloeistofstroom kan het gehalte CHP in de uitstroom van R3 worden berekend. Op een gegeven moment wordt een temperatuurstijging van  $7,3 \text{ }^\circ\text{C}$  gemeten.

De soortelijke warmte van een stof kan worden gedefinieerd als het aantal joule dat nodig is om 1 g stof 1 K in temperatuur te laten stijgen.

- 3p 19 Ga door berekening na of er in dit geval sprake is van explosiegevaar. De reactiewarmte van de reactie is  $-252 \text{ kJ per mol CHP}$ . De soortelijke warmte van de vloeistof is  $2,4 \text{ J g}^{-1} \text{ K}^{-1}$ .

In scheidingsruimten S2, S3 en S4 wordt het mengsel afkomstig uit R3 gescheiden door destillatie. De kookpunten ( $p = p_0$ ) van de stoffen bedragen: propanon ( $56 \text{ }^\circ\text{C}$ ); cumeen ( $152 \text{ }^\circ\text{C}$ ); CHP ( $153 \text{ }^\circ\text{C}$ ); fenol ( $182 \text{ }^\circ\text{C}$ ); zwavelzuur ( $330 \text{ }^\circ\text{C}$ ).

- 2p 20 Leg mede met behulp van het blokschema uit tussen welke grenzen de temperatuur in S2 moet liggen.

Op de wereldmarkt stijgt de vraag naar fenol sneller dan de vraag naar propanon. Om te voorkomen dat propanon afval wordt, heeft het Japanse bedrijf Mitsui een methode ontwikkeld om de ontstane propanon om te zetten tot propeen.

In een extra reactor (R4) verloopt de additie van waterstof aan de C=O groep van het propanon. In een volgende reactor (R5) ontstaan door een eliminatiereactie water en propeen uit de in R4 gevormde stof. Na een scheidingsstap (S5) wordt het gevormde propeen weer gebruikt in het cumeen-proces.

- 4p 21 Vul het blokschema op de uitwerkbijlage aan met de methode die Mitsui heeft ontwikkeld. Geef ontbrekende blokken en pijlen weer en vermeld stofnamen bij de pijlen. Neem aan dat er hierbij geen andere stoffen nodig zijn, dat er geen nevenproducten ontstaan en dat de reacties aflopend zijn.

