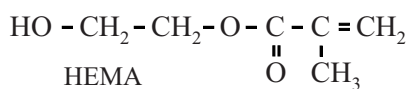
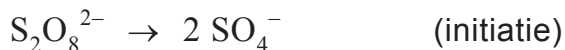


Zwetende gebouwen koelen af

Het koelen van kantoorgebouwen kost veel energie. Een manier om de energiekosten voor het koelen te verminderen is het dak van het gebouw met sponsachtig materiaal te bedekken dat regenwater opneemt. Wanneer later de zon schijnt, verdampt het water waardoor het gebouw minder opwarmt. Een groep wetenschappers heeft onderzocht of een hydrogel hiervoor een geschikt materiaal is. Een hydrogel is een homogeen mengsel van een polymeer met water. De watermoleculen zijn ingesloten tussen de polymeerketens. Interacties tussen de ketens zorgen ervoor dat het mengsel niet vloeibaar is en niet ontmengt. Wetenschappers onderzochten eerst of een hydrogel gebaseerd op het polymeer pHEMA geschikt was om gebouwen te koelen. pHEMA is het additiepolymeer van HEMA.



pHEMA wordt bereid door aan een mengsel van HEMA met water een kleine hoeveelheid ammoniumpersulfaat, $(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_8$, toe te voegen. De initiatiereactie van de polymerisatie is hieronder weergegeven.



Het deeltje SO_4^- is het radicaal dat de polymerisatie op gang brengt.

- 2p 18 Geef een mogelijke Lewisstructuur van het deeltje SO_4^- , waaruit blijkt dat het deeltje een radicaal is. Geef formele ladingen aan. Neem aan dat de covalentie van zwavel zes is.

Het radicaal SO_4^- reageert met HEMA, waardoor uiteindelijk pHEMA ontstaat.

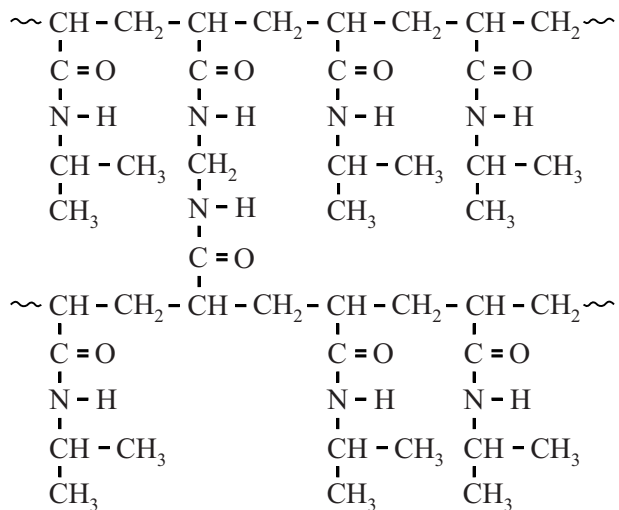
- 3p 19 Geef de vergelijking van de propagatiereactie van een deeltje SO_4^- met een molecuul HEMA. Geef het deeltje SO_4^- aan met $\text{R}\cdot$. Geef met pijlen aan hoe elektronen zich verplaatsen tijdens de reactie.

pHEMA kan veel water opnemen. Als pHEMA geheel met water wordt verzadigd, bedraagt het massapercentage water in de ontstane hydrogel 72%.

- 2p 20 Bereken hoeveel moleculen water per monomeereenheid in deze hydrogel van pHEMA worden opgenomen. Neem aan dat het massapercentage ammoniumpersulfaat in de hydrogel te verwaarlozen is.

Omdat pHEMA in de praktijk bleek tegen te vallen, is het verwante polymeer pNIPAM onderzocht. In figuur 1 is een gedeelte van de microstructuur van pNIPAM weergegeven. pNIPAM is een netwerkpolymeer dat wordt gemaakt uit twee monomeren. Bij de polymerisatie treden uitsluitend additiereacties op.

figuur 1



- 2p 21 Geef de structuurformule van het monomeer dat voor de crosslinks in pNIPAM zorgt.

Als pNIPAM-korrels worden samengevoegd met water bij een temperatuur onder 33 °C zwelt het materiaal op door opname van water. Ketendelen van pNIPAM worden dan volledig omgeven door watermoleculen. Op de uitwerkbijlage is figuur 1 nogmaals weergegeven.

- 2p 22 Geef op de uitwerkbijlage weer hoe twee watermoleculen gebonden zijn aan pNIPAM.

Als een dak wordt bedekt met een laag pNIPAM-korrels, kan het materiaal water opnemen tijdens regenbuien. Als dan later de zon schijnt neemt de natte hydrogel energie op én verdampt het water. Hierdoor zal een gebouw minder opwarmen. Omdat het proces herhaalbaar is, kan het materiaal langere tijd worden gebruikt.

Het eerder onderzochte pHEMA is niet geschikt voor deze toepassing omdat bij het verdampen van water zich een harde korst van pHEMA vormt. Hierdoor wordt de opname van water belemmerd.

De onderzoekers veronderstellen dat dit wordt veroorzaakt doordat tijdens het opdrogen de polymeerketens van pHEMA zich regelmatig rangschikken waardoor kristallijne gebieden worden gevormd. De interacties tussen de ketens zijn dan zo sterk dat watermoleculen niet meer tussen de ketens kunnen dringen.

- 2p 23 Leg uit op microniveau waarom in pNIPAM geen kristallijne gebieden worden gevormd tijdens het opdrogen.

Om de koelende werking van pNIPAM te onderzoeken, zijn temperatuurmetingen gedaan aan een miniatuurhuis waarvan het dak met een laag pNIPAM-korrels is bedekt. Aan het begin van de meting werd de laag verzadigd met water. Het miniatuurhuis werd vervolgens verwarmd onder een sterke lamp, terwijl de temperatuur van de natte hydrogel werd gemeten. De temperatuur van de natte hydrogel steeg van 24 °C tot 33 °C door de opname van energie.

Bij 33 °C bleef de temperatuur constant totdat al het aanwezige water was verdampt.

De totale hoeveelheid energie die op dat moment is opgenomen door de pNIPAM-laag hoeft niet meer door koeling te worden afgevoerd.

- 3p 24 Bereken hoeveel energie per m² is opgenomen door de pNIPAM-laag als gevolg van de temperatuurstijging en het verdampen van het water. Maak onder andere gebruik van de volgende gegevens:
- in de laag was 2,8 kg water per m² aanwezig;
 - het massapercentage water in de pNIPAM-laag bedroeg 84%;
 - de soortelijke warmte van de natte hydrogel bedraagt $4,0 \cdot 10^3 \text{ J kg}^{-1}$;
 - de verdampingswarmte van water bedraagt $2,26 \cdot 10^6 \text{ J kg}^{-1}$.

22

