Jannie Manders / Peellandcollege, Deurne en Jan de Gruijter / Fontys Lerarenopleiding, Tilburg

Duurzaam geopolymeerbeton

De plaatsing van de fietsbrug over de N69 bij Westerhoven. Foto A. Jansen bv, Beton

Voor de productie van beton, is ongebluste kalk (CaO) nodig. De vorming hiervan uit kalk ($CaCO_3$) zorgt voor veel CO_2-uitstoot. Gelukkig is er een duurzaam alternatief: geopolymeerbeton. Interessant is dat leerlingen zelf geopolymeerbeton kunnen maken en de sterkte ervan meten. Het is bovendien een fraaie aanvulling op de reeds door 'Scheikunde in bedrijf' uitgebrachte module 'Zelf herstellend beton'.

Geopolymeren werden al toegepast in het oude Egypte, tijdens de bouw van de eerste piramiden. In Nederland passen we traditioneel beton toe. En wel, voor de bouw van huizen, bruggen, viaducten, dammen et cetera. Het hoogste gebouw ter wereld, de Burj Khalifa in Dubai, is 828 meter hoog en opgetrokken uit beton. Een belangrijk ingrediënt van beton is cement, dat verhardt met water tot beton. Cement wordt verkregen door kalksteen ($CaCO_3$) en/of mergel, zand, gips en klei bij hoge temperatuur te verhitten. Bij dat proces ontstaan ongebluste kalk en koolstofdioxide. Beton op basis van cement blijkt wereldwijd verantwoordelijk voor ten minste 8% van alle door de mens veroorzaakte CO_2-uitstoot. Volgens de onafhankelijke onderzoeksinstelling CE Delft is traditioneel cement verantwoordelijk voor circa 95% van de klimaatimpact van het materiaal beton. Belangrijk is daarom dat gezocht wordt naar een betonachtig materiaal dat veel minder verontreinigt. Dat is er: geopolymeerbeton of kortweg geobeton.

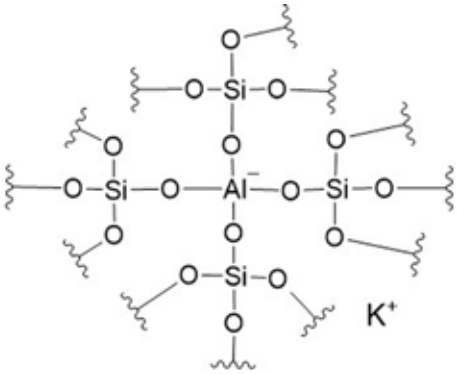
Geopolymeerbeton

Geopolymeerbeton wordt bereid uit twee basiscomponenten:

- De afvalproducten vliegas en hoogovenslak. Vliegas bestaat vooral uit: uit siliciumoxide, aluminiumoxide, ijzeroxiden en calciumoxide en daarnaast wat zware metalen. Hoogovenslak bestaat hoofdzakelijk uit siliciumoxide, calciumoxide, magnesiumoxide en aluminiumoxide. Metakaolien kan ook worden gebruikt. Dat ontstaat door verhitting van het kleimineraal kaoliniet met de formule $Al_2Si_2O_5(OH)_4$.
- Een sterk basische activator bijvoorbeeld waterglas of natriumhydroxide.

De ingrediënten van geobeton reageren met de alkalische activator tot een anorganisch polymeer. De verhardingsreactie tussen de ingrediënten van geobeton en de activator is niet vergelijkbaar met de hydratatie van portlandcement met water. In plaats van

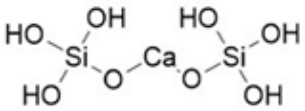
hydratatie is er sprake van polymerisatie waarbij een aluminiumsilicaatnetwerk wordt gevormd.



Figuur 1: Een van de structuren van geopolymeerbeton (kaliumpoly(sialaat-siloxy)).

In tegenstelling tot cementbeton (zeker vier weken hardingstijd) wordt het geobetonmengsel in één dag hard.
Het calciumoxide van het geobetonmengsel heeft nog niet gereageerd. Dat reageert net als in cementbeton langzamer, waardoor het geobeton op den duur nog harder wordt. Glasachtige bestanddelen reageren met calciumhydroxide, dat gevormd wordt door de hydratatie van de aanwezige calciumoxide. Deze reactie is net als in 'traditioneel' beton. Het aanwezige calciumoxide reageert met water tot calciumhydroxide, dat verder reageert met silica en water:

$Ca(OH)_2 + Si(OH)_4 \rightarrow Ca^{2+} + H_2SiO_4^{2-} + 2H_2O \rightarrow$



Bij de vorming van geobeton speelt water een minder belangrijke rol in de reactie. Wel is water nodig om de ingrediënten goed te mengen.

Duurzaam en circulair

In het Brabantse Westerhoven ligt een fietsbrug van geobeton. Zowel het brugdek, de brughoofden als de stootplaten van de hypermoderne brug zijn van geobeton.
Voor een nieuwe melkpoederfabriek in Gorinchem werd voor het eerst in Nederland op grote schaal geobeton toegepast. Ongeveer 400 m^3 geobeton is nodig voor de betonvloeren waar de melk wordt gelost. Gemorste melk verzuurt op den duur en het gevormde melkzuur tast traditioneel beton aan.
Positieve eigenschappen van geopolymeerbeton:

- een hoge (eind)sterkte;
- thermisch zeer stabiel (tot circa 1000 °C);
- een snelle reactietijd (de eindsterkte wordt snel bereikt);
- bestand tegen vorst-dooicycli, maar traditioneel beton is beter bestand;
- beter bestand tegen chemische aantasting;
- een lage diffusie van chloride-ionen;
- bestand tegen wapeningscorrosie;
- minder gevoelig voor alkali-silicareactie.

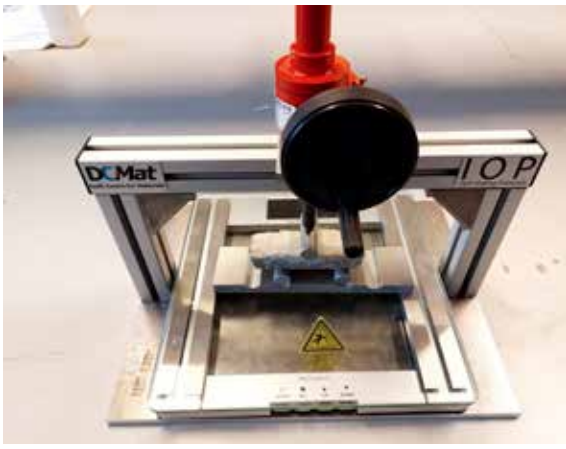
Een nadeel is de moeilijk beheersbare verwerkbaarheid. De reactie gaat te snel, een plastificeerder zorgt voor een vertraging. Een verder nadeel is dat hoogovenslak en vliegas al voor een deel in traditioneel cementbeton worden verwerkt en als het in grotere hoeveelheden in geopolymeerbeton gebruikt wordt, komt er een tekort.

Practicum

Vooraf: Bepaal het watergehalte van het gebruikte zand, bijvoorbeeld door een bekende hoeveelheid zand te drogen in een droogstoof. Te veel water zorgt voor zwakker beton, want water dat niet reageert is overtollig en laat poriën achter in het beton.
Nodig: Hoogovenslak*, vliegas*, zand, natriumhydroxide, water, emmertje, plastic bakje zoals een frikadellenbakje en mixer.
Werkwijze: Weeg 60 g hoogovenslak, 17,2 g vliegas en 145,7 g zand af en breng die over in een emmertje. Meng de bestanddelen goed, bijvoorbeeld in een mixer. Los 4,3 g NaOH op in 30–31 mL water (verminder het volume aan water met de hoeveelheid water in het zand). Voeg de loog toe aan het zandmengsel en meng alles goed.
Breng het dikke mengsel over in het plastic bakje en laat de mortel uitharden.
Bepaal na een week de sterkte van het geobeton met een betonpers of door in het midden van een blokje beton een metaaldraad te plaatsen en aan die draad een emmertje met gewichten.

Mogelijkheden van onderzoek

- Vergelijk de sterkte van traditioneel cementbeton en van geobeton.
- Vergelijk de invloed van zuur op geobeton met die op 'gewoon' beton.
- Varieer bij het mengen van de ingrediënten de hoeveelheid aan loog en ga na in hoeverre die de sterkte van het geobeton beïnvloedt.



Figuur 2. De betonpers.

- Maak geobeton met allerlei soorten wapening (bijvoorbeeld kunststofvezels, ijzerdraad, gevlochten draad, et cetera) en meet de sterkte.
- Ga na of er ook betonachtig materiaal gemaakt kan worden van alleen vliegas, zand en loog, of alleen hoogovenslak en zand en loog. Controleer de sterkte.

Dank

Veel dank zijn de auteurs verschuldigd aan de Goudse Betonmortelcentrale.

BRONNEN

- Zelfherstellend beton: http://www.scheikundeinbedrijf.nl/Module/index.rails?id=9 of zie QR-code A
- https://www.mobilis.nl/nl/geo-beton of zie QR-code B
- https://www.betonlexicon.nl/G/Geopolymeren of zie QR-code C
- Hoogovenslak en vliegas zijn te verkrijgen bij diverse betonfabrieken. Neem twee emmers m et afsluitbaar deksel mee.
- Er werden al 100 betonpersen onder scholen verdeeld. Er zijn nog drie te verkrijgen. Stuur een verzoek naar h.degruijter@fontys.nl

A B C