

## MILIEUASPECTEN EN TECHNISCHE EIGENSCHAPPEN GEOPOLYMEERBETON

# Geopolymeerbeton: HOEZIT HET NU?

**Er wordt wereldwijd enorm veel onderzoek gedaan naar geopolymeerbeton. Alle mogelijke combinaties van precursors, activatoren, beproevingen en analyses zijn te vinden op internet. Praktisch bruikbare informatie is wat zeldzamer en informatie uit de praktijk nog meer. Dit artikel geeft een overzicht van de verschillende aspecten rond de realisatie van constructies in geopolymeerbeton, onder meer gebaseerd op de toepassing in een fietsbrug in de N69.**

### GRONDSTOFFEN GEOPOLYMEERBETON

Geopolymeerbeton bestaat in de basis uit dezelfde grondstoffen als traditioneel beton, namelijk een bindmiddel, toeslagmateriaal (zand en grind), water en eventuele hulp- en vulstoffen. Voor het bindmiddel wordt echter geen traditioneel cement gebruikt maar alkalisch te activeren grondstoffen (de zogenaamde *precursor*). Voor het activeren van de reactie wordt een *activator* toegevoegd. Er is een brede keuze aan precursors en activa-



1 De fietsbrug van voorgespannen geopolymeerbeton in de N69, foto: Martin Verweij

toren beschikbaar. Een aantal primaire en secundaire mineralen op basis van aluminium-silicaten kan worden geactiveerd met verschillende zouten of logen. In de praktijk wordt veelal gewerkt met geschikte en betaalbare grondstoffen van constante kwaliteit. Vandaar dat in Noordwest-Europa vaak hoogovenslak en poederkoolvliegias worden toegepast. Dat de vraag naar en beschikbaarheid van deze en andere grondstoffen dynamisch is, hebben we de afgelopen jaren gemerkt. Zo verdween

vliegias door de energietransitie, maar is weer terug door de aardgas crisis. In Frankrijk wordt ook gewerkt met een gebrande, zuivere klei: metakaolien.

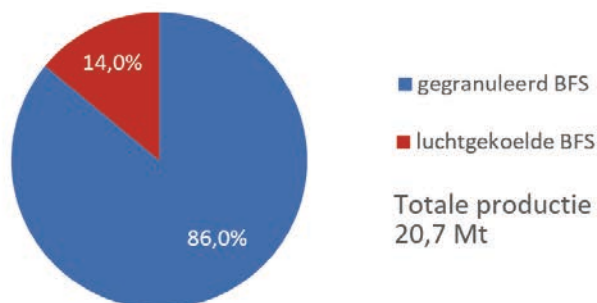
Wanneer de beschikbaarheid van een grondstof in de toekomst afneemt, moet worden gekeken naar alternatieven, zoals tras en andere vulkanische materialen. Het voordeel van alkalische activering is dat minder reactieve mineralen ook kunnen worden benut. Bijvoorbeeld zink- en loodslakken en

bauxiet residu van aluminiumproductie. Uiteraard moet hierbij extra zorgvuldig worden gekeken naar milieuhygiënische aspecten en naar de recyclebaarheid (tweede leven).

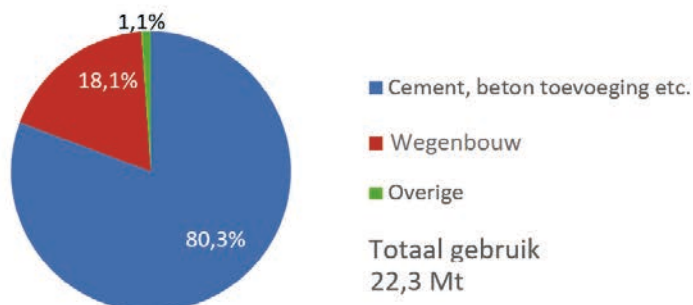
#### HOOGOVENS LAK

Zoals gezegd is hoogovenslak een veel toegepaste precursor in geopolymeerbeton. In Europa wordt al een groot deel van de geproduceerde hoogovenslak hoogwaardig als bindmiddelbestanddeel in cement toegepast.

## Productie van BFS in Europa 2018



## Gebruik van BFS in Europa 2018



2 Cijfers over hoogovenslak (Blast Furnace Slag, BFS) in Europa, bron: Euroslag, vertaling Martin Verweij

Uit cijfers van Euroslag blijkt dat dit in Europa 80% is (fig. 2). Een kleine 4,3 miljoen ton hoogovenslak wordt laagwaardig toegepast (als zandfractie in wegfunderingen met eventueel een lichte bindmiddelfunctie) of gedumpt. In de rest van de wereld zal dit naar verhouding meer zijn.

Een toenemende vraag is een stimulans voor de hoogwaardige opwerking van slakken; investering in granulatie-installaties en dergelijke. Ook import van (overtollige) slakken uit andere werelddelen wordt economisch aantrekkelijker. Dat dit transport-energie kost is logisch, maar dat wordt in de LCA-berekening meegenomen. Het ijzererts en de steenkool die voor de productie van Europees staal worden gebruikt, komen overigens ook van over de oceanen (maar dat transport zit verrekend in de staalproductie). De samenstelling van hoogovenslakken gaat veranderen ten gevolge van innovatieve processen voor de ruwijzerproductie. Cement- en geopolymerproducenten onderzoeken de geschiktheid van deze nieuwe slaksoorten.

### POEDERKOOVLIEGAS

Naast hoogovenslak is poederkoolvliegias een veel toegepaste precursor. Het toepassingspercentage voor poederkoolvliegias in Europa is momenteel hoog (90%), maar in het verleden was dit veel lager. In de Verenigde Staten is dit percentage 60% en in Zuid-Afrika slechts 10%. Hierdoor zijn er wereldwijd enorme reserves en komt er nog elk jaar materiaal bij. Dat dit niet de beste kwaliteit is moge duidelijk zijn, al was het alleen maar vanwege het gehalte water. Sinds kort worden deze reserves in verschillende landen ontgonnen voor bijvoorbeeld de terugwinning van aardmetalen.

Er ontstaan nieuwe technologieën en verdienmodellen. Ook het microniseren (fijn malen) van grove depot-vliegias om de reactiviteit van de vliegias te verhogen, is mogelijk. Ten slotte zien we dat na- of mee-verbranden van vliegias met veel koolstof rendabel wordt, geholpen door de stijgende prijzen voor energie en materialen. In Denemarken wordt deze technologie al op grotere schaal toegepast waarbij vliegias wordt geproduceerd die geschikt is voor beton.

### NATUURLIJKE PUZZOLANEN

Andere mogelijke precursors voor geopolymerbeton vormen natuurlijke puzzolanen.

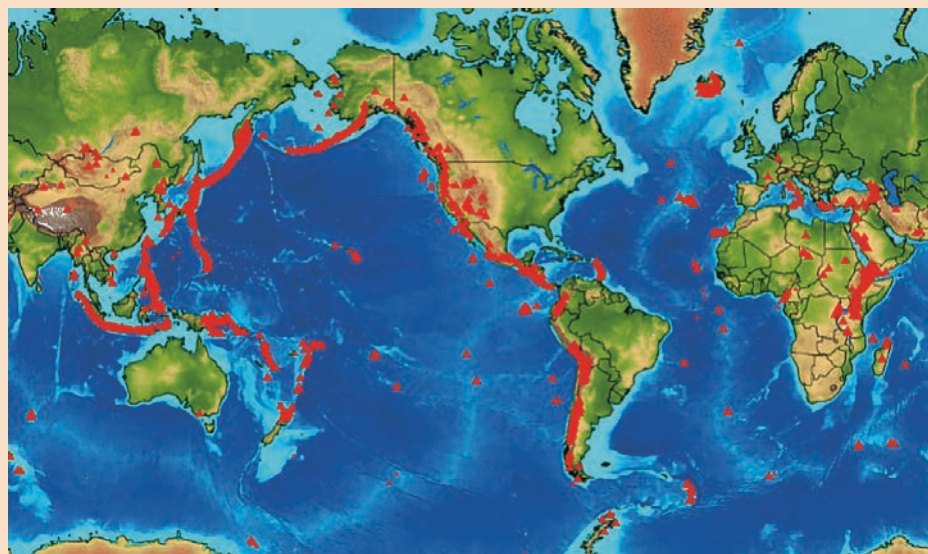
Dit is een verzamelnaam voor een aantal gesteenten:

gesinterde vulkaanas ofwel tufsteen, snel afgekoelde lava, verglaasd obsidiaan, (geothermisch) verhitte leisteen en diatomeeënaarde. (Wanneer lava langzaam afkoelt ontstaan inerte gesteenten als basalt.)

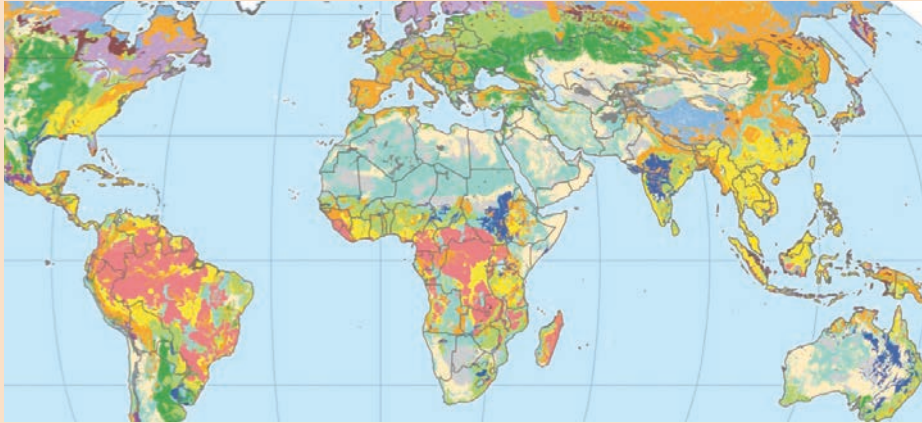
Natuurlijke puzzolanen worden gevonden in bijna alle vulkanische gebieden, vaak gelegen aan de rand van tektonische platen (fig. 3). Dit betekent dat deze grondstof meestal goed verscheepbaar is en ook economisch interessant is als precursor (en ook voor puzzolaan- en composietcementen).

Tras is gemalen tufsteen afkomstig uit de Eifel

Momenteel wordt een nog breder scala aan mineralen onderzocht op geschiktheid als precursor voor geopolymerbeton



3 De wereld van vulkanische materialen, bron: Smithsonian Institute



4 De wereld van klei (geschikte klei-rijke bodems zijn geel, roze en lichtgroen), bron: LC3

en is dus 'om de hoek' verkrijgbaar. Ook daar zijn kwaliteiten bekend die beter kunnen worden geactiveerd in een geopolymer dan in cement. Ook vanuit het middellandse zeegebied worden vulkanische puzzolanen aangeboden. De kwaliteit varieert per locatie. Soms is het gehalte amorf silica en daarmee de reactiviteit hoog, maar ook het natrium-equivalent. Dan is het vanwege ASR-risico minder geschikt voor cementbeton maar wel voor geopolymeren (zie verder onder het kopje Levensduur).

#### GEBRANDE KLEI

Er wordt veel gesproken over metakaolien als *supplementary cementitious material* (SCM) van de toekomst. Metakaolien is een zeer zuivere kleisoort die wordt gebrand ofwel gecalcineerd en daardoor reactief wordt. Het is bekend dat ook andere kleisoorten reactief kunnen worden gemaakt, zij het in mindere mate. Voor klei geldt dat de jaarlijkse 'productie' door de verwerking van gesteenten groter is dan de behoefte aan cement. Welk deel daarvan winbaar en geschikt is, is een tweede. Ook hier geldt dat de minder reactieve soorten mogelijk beter geschikt zijn voor geopolymer-toepassingen dan cement. Natuurlijk moet worden gekeken hoe de klei met duurzame energie kan worden gecalcineerd.

#### OVERIGE PRECURSORS

Momenteel wordt een nog breder scala aan mineralen onderzocht op geschiktheid als precursor voor geopolymerbeton. Hierbij gaat het om grondstoffen die ook voor cement interessant zijn, zoals gemalen AEC-bodemas,

fijne fracties uit thermische processen voor verontreinigde grond (TAG/TGRI), de zeer fijne fractie betongranulaat (fRCA), slibverbrandings-residu (SVI) en dergelijke. Ook minder reactieve materialen of kwaliteiten zijn mogelijk geschikt voor geopolymerbeton. In Vlaanderen, dat naast staalbedrijven een brede metallurgische industrie heeft (Nyrstar, Umicore, Metallo), kan de geopolymerbetontechnologie een oplossing zijn voor diverse non-ferro-slakken ( koper, zink, lood) en zogenaamde rode modder van de aluminium-productie. Ten slotte zijn veel glasachtige en keramische afvalstromen potentieel geschikt als grondstof voor geopolymerbeton.

#### ACTIVATEUREN

Er is een brede verzameling activatoren bekend: natriumhydroxiden (natronloog), kalium-hydroxiden, silicaten, carbonaten, sulfaten. Afhankelijk van de reactiviteit van de precursors enerzijds en de technische eisen aan geopolymerbeton anderzijds, kan één activator of een combinatie van activatoren worden gekozen. Vanwege onder andere grondstofkosten, uitbloeien en veiligheid is de optimalisatie van het alkali-gehalte een belangrijk aandachtspunt bij de ontwikkeling van geopolymerbetonmengsels. De beschikbaarheid van activatoren is goed en de productie van natronloog uit zeezout kan worden opgeschaald. Een van de uitdagingen daarbij is het vrijkomen van het bijproduct chloor. Dat kan nuttig worden gebruikt in tal van chemische processen, waaronder de productie van desinfectiemiddel voor drink-

water en de kunststof pvc. Naar chloorgebaseerde producten is wereldwijd ook een toenemende vraag.

## Er is een zeer breed scala aan geopolymerbetonmengsels met grote onderlinge verschillen

#### MILIEUPROFIEL

Van de 26 handelingsperspectieven in het Betonakkoord wordt geopolymerbeton gezien als het meest belovende handelingsperspectief op de korte termijn. Andere maatregelen leiden tot minder CO<sub>2</sub>-besparing of kunnen pas op langere termijn worden ingevoerd. [8]

Het is duidelijk dat er een zeer breed scala is aan geopolymerbetonmengsels met grote onderlinge verschillen - meer nog dan bij cementbeton. Die verschillen komen tot uiting in onder andere de technische prestaties, de kostprijs en het milieuprofiel. Omdat precursors meestal een klein aandeel hebben in de milieuprofielen (MKI) van geopolymerbeton - oorsprong secundair of groeve materiaal met beperkte milieu-footprint - hebben activatoren een relatief groot aandeel. Ofwel: hoe lager de dosering activatoren, hoe groter het verschil met cementbeton. In het meest ongunstige geval is de besparing 15%. De LCA-berekening houdt overigens geen rekening met schaarste van grondstoffen.

#### CONSTRUCTIEF

Constructief gedraagt geopolymerbeton zich iets anders dan cementbeton. Sommige eigenschappen zijn gunstiger, andere minder gunstig, en bij sommige eigenschappen hangt het van de specifieke samenstelling af [1]. Daarbij kan worden opgemerkt dat een op voorhand minder gunstige eigenschap ook een voordeel kan zijn in een bepaalde constructie. De lagere E-modulus en de hogere kruipcoëfficiënt kunnen bijvoorbeeld zorgen voor een wat hogere doorbuiging, maar tegelijk spelen ze een belangrijke rol bij het verlagen van interne spanningen ten gevolge van verhinderde vervorming. Dat is weer gunstig voor het scheurgedrag ten gevolge van krimp of ongelijkmatige zetting. In de praktijk kunnen daardoor bijvoorbeeld zaagsnedes in wegen, fietspaden

en vloeren van geopolymeerbeton op een veel grotere onderlinge afstand worden aangebracht of zelfs worden weggelaten.

Onlangs is in samenwerking met TU Delft in een NWO-project onderzocht hoe onder andere kruipgedrag kan worden verbeterd. In het algemeen geldt: als de eigenschappen bekend zijn en het ontwerp niet in detail dichtgetimmerd is, kan goed met geopolymeerbeton worden geconstrueerd. In de praktijk vraagt dit meer inzicht van de constructeur.

### LEVENSDUUR

De samenstelling van geopolymeerbeton kan zo worden gekozen dat het materiaal bestand is tegen alle bekende invloeden van weer en wind; chloride-indringing, vorst-dooizoutbestandheid, carbonatatie, sulfaat/zeewater. Hierbij draait het meestal om de keuze voor de juiste precursor en de poeder/vloeistof-verhouding. Daarnaast is de bestandheid tegen agressieve milieus en hoge temperaturen (brand) in het algemeen beter dan cementbeton. Geopolymeerbeton kent echter (nog) geen milieuklassen op basis van cementdoserings, cementtype en water-cementfactor.

Alleen carbonatatie verloopt bij geopolymeerbeton anders dan bij cementbeton en in de praktijk anders dan in het laboratorium:

- In cementbeton ontstaat door carbonatatie calciet ( $\text{CaCO}_3$ ) een vaste stof die onoplosbaar is en kristalliseert. Hierdoor kan de reactie relatief snel verlopen.
- In geopolymeerbeton ontstaat door carbonatatie in de praktijk vooral soda, dat oplosbaar is en zorgt voor een blijvend hoge pH-grad [2]. Hierdoor is er hoogst waarschijnlijk geen risico op corrosie door carbonatatie. Dit wordt door monitoring van veldproeven geverifieerd om zekerheid te geven.
- Bij versnelde carbonatietesten in het laboratorium treedt een afwijkende reactie op tussen natronloog en koolzuur, en ontstaat vooral natriumbicarbonaat in oplossing [3]. Dit heeft een lagere pH-waarde dan soda. Men is het er over eens dat voor geopolymeerbeton een geschikte test ontwikkeld zou moeten worden [4].

De porositeit van geopolymeerbeton kan bij natuurlijke carbonatatie enigszins toenemen, vergelijkbaar met slakcement, maar het tegen-

gestelde komt ook voor. In de meeste gevallen is de initiële porositeit van geopolymeerbeton lager dan cementbeton – en dus ook de indringing van vloeistoffen en gassen. Een ander verschil is het risico op schadelijke alkali-silicareactie (ASR). Omdat toeslagmaterialen in geo-polymeerbeton in een vroeg stadium worden blootgesteld aan hoge concentraties alkaliën en pH treedt direct ASR op. Omdat de druksterkte dan nog relatief laag is en de porositeit hoog, kunnen geen spanningen worden opgebouwd.

### Om een bredere introductie van geopolymeerbeton te faciliteren is regelgeving nodig

In de loop van de tijd daalt de alkaliconcentratie en neemt de reactiviteit af. Onderzoek wijst uit dat alleen met hoge doseringen van zeer gevoelig toeslagmateriaal (chalcedoon) in geopolymeerbeton schadelijke expansie kan optreden [5].

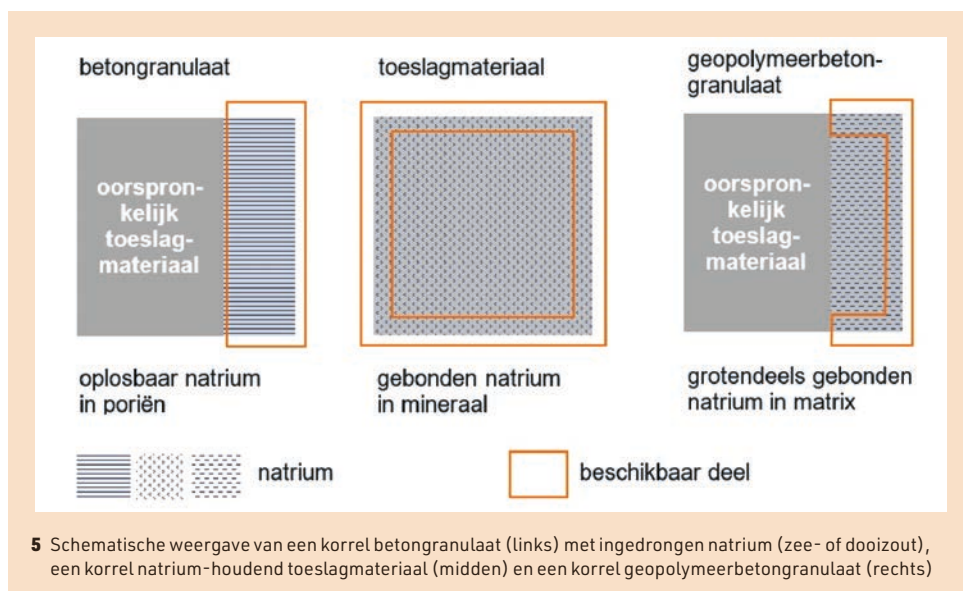
Tot slot kunnen geopolymereen een paar generieke voordelen hebben ten opzichte van cementbeton, zoals een lagere hydratatie-warmte, goede zuur-, zeewater- en chemische bestandheid en betere weerstand tegen brand (behoud van sterkte).

Dat in het verleden enkele uitzonderingen zijn opgetreden waarbij de kwaliteit niet helemaal

volgens de verwachtingen was, heeft te maken met extreme weersomstandigheden tijdens de uitvoering (hitte en stortregen, vorst en regen). In die situaties was het ook met cementbeton niet goed gegaan. Wel is geopolymeerbeton in de eerste uren van de verharding gevoeliger voor (regen)water.

### CIRCULARITEIT

Bij recycling kan geopolymeerbeton net als cementbeton worden verwerkt tot betongranulaat. Hiermee kan zowel geopolymeerbeton als cementbeton van goede kwaliteit worden geproduceerd (verwerkbaarheid en sterkte), heeft SGS INTRON aangetoond. Een aandachtspunt bij granulaat van geopolymeerbeton is het hogere natriumgehalte. In het kader van ASR moet echter niet worden gekeken naar het aanwezige natrium, maar naar beschikbaar natrium. Dit is natrium dat oplosbaar is en via het poriewater ASR-gevoelig toeslagmateriaal kan bereiken. In geopolymeerbeton is het overgrote deel van het natrium echter gebonden in de matrix en niet oplosbaar. Van het oplosbare deel is het overgrote deel opgesloten in de betongranulaatkorrels. Uit onderzoek is gebleken dat van grof toeslagmateriaal slechts een fractie van het totale natrium uit kan treden; uit zand met 1,8%  $\text{Na}_2\text{O}$  loogt daarvan 3% uit na 1 jaar verharden bij 60°C [6]. Momenteel wordt alleen gekeken naar het totaal natrium in toeslagmateriaal, omdat dat eenvoudig te meten is en omdat het in regulier betongranulaat vooral gaat om ingedrongen – en dus oplosbaar natrium. Voor de goede orde:



6 De plaatsing van de voorgespannen fietsbrug, foto: Martin Verweij



net als gewoon betongranulaat wordt geopolymerbeton-granulaat als ASR-gevoelig geclasificeerd, omdat in de praktijk moeilijk te achterhalen is wat voor toeslagmateriaal oorspronkelijk is toegepast in het beton.

### REGELGEVING

De Eurocode zegt dat alternatieve betonsoorten mogen worden toegepast wanneer *equivalent performance* is aangetoond. Wat dat precies inhoudt, kan per toepassing verschillen. Daarom is een goede samenwerking tussen producent en constructeur essentieel. Hierbij hoeft niet op materiaalniveau te worden gekeken, maar op constructieniveau. Dit is veel werk, vooral voor nieuwe mengsels, maar bij volgende projecten wordt het steeds eenvoudiger.

Om een bredere introductie van geopolymerbeton (maar ook andere alternatieven) te faciliteren, is regelgeving nodig. Er lopen verschillende initiatieven, zoals een Stufib/Stutech-studiecel 'Innovatief beton', een NEN-werk-

groep 'Construeren met alternatieve betonsoorten' en overleg tussen producenten. Ook de werkgroep 'Beton op Prestatie' onder het Betonakkoord geeft flankerende steun. In België is ook een werkgroep vanuit NBN (Belgisch normalisatie-instituut) opgestart.

### VEILIGHEID EN VERWERKING

Geopolymerbeton is meer alkalisch dan traditioneel beton. Sqaape organiseert *toolbox meetings* met alle verwerkers op de betoncentrale en op het werk om een veilige verwerking te faciliteren. Uiteraard worden de betonmixer- en betonpompchauffeurs hierin meegenomen. Er wordt onder andere gewezen op het juiste gebruik van de persoonlijke beschermingsmiddelen.

Voor de fietsbrug moesten de geopolymerbetonmengsels ook aan de eisen voldoen wat betreft de verpompbaarheid, de verwerkbaarheid op het werk (consistentie, samenhang), de benodigde verdichtingsenergie, de afwerkingsmogelijkheden (vlinderen) en de na-

behandeling. In het vooronderzoek zijn ook deze eisen geïnventariseerd en is het mengsel hierop geoptimaliseerd. Met een simulatie, waarbij de betonmixer met het te leveren mengsel de werkelijke transporttijd rondreed, werd gecontroleerd of de open tijd werd gehaald. Vervolgens is een proefstort op de stortlocatie uitgevoerd om ook de verdere verwerking te controleren. Door deze grondige voorbereiding is de stort zelf zonder problemen uitgevoerd en waren alle resultaten positief. De brug is niet alleen een verbinding voor duurzaam fietsverkeer, hij dient ook als onderzoeksobject om een paar duurzaamheidsparameters te monitoren. Zo hebben alle partijen bijgedragen aan meer inzicht in deze geopolymeretechnologie die de basis vormt voor grotere of complexere projecten.

### EEN PRAKTIJKVOORBEELD: FIETSBRUG N69

De provincie Noord-Brabant wilde in de N69 van Valkenswaard naar Veldhoven een aantal duurzame innovaties toepassen. Koploper Boskalis



## Constructief gedraagt geopolymerbeton zich iets anders dan cementbeton

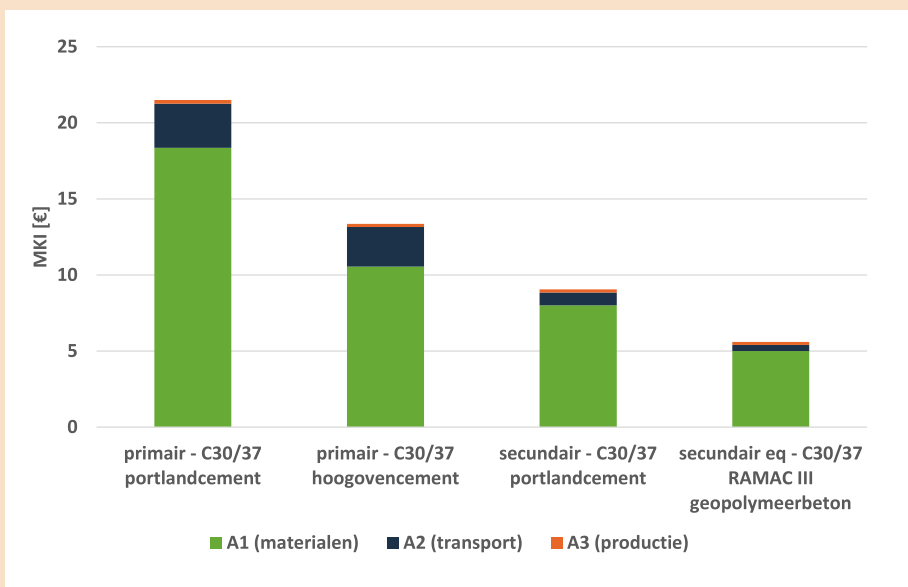
en ontwerper Nobleo besloten om de haalbaarheid te onderzoeken van een voorgespannen fietsbrug in geopolymerbeton. De vraag was om de *equivalent performance* aan te tonen. Bijzonderheid daarbij is dat de MKI minimaal moest zijn, maar de ontwerplevensduur wel 100 jaar. De reden voor deze lange levensduur was de eis dat de brug demontabel moest zijn, om aan het eind van de toepassing op de locatie in zijn geheel hergebruikt te kunnen worden. Betonproducent A. Jansen Beton had uitgerekend dat met thermisch gereinigd asfaltgranulaat de laagste MKI mogelijk was. Dat betekende wel dat met een niet-optimale korrelgradering en korrelvorm een goed verwerkbaar mengsel moest worden ontwikkeld. Van dit mengsel moesten meer dan 40 parameters worden bepaald; van de verwerkbaarheid, via hydratatiewarmte tot krimp, kruip, afschuif-

sterkte en scheurgedrag. Ook de effectiviteit van een hydrofobeermiddel, een anti-graffiti-coating en de hechtsterkte van een chemisch anker zijn bepaald. Omdat de fietsbrug in een Natura 2000 gebied ligt, was de uitloging meer dan gewoonlijk van belang. Witteveen & Bos heeft het gehele onderzoek beoordeeld namens de provincie, die de rol van opdrachtgever en bevoegde instantie had. Als onafhankelijk partij heeft Sustcon zowel de onderzoeksresultaten als de gegevens van de storten getoetst en geverifieerd. Een extra uitdaging vormde het strakke tijdschema tussen de start en de termijn voor de goedkeuring door Bouw- en Woningtoezicht (circa negen maanden). In deze tijd moest een mengsel worden ontwikkeld met nieuwe toeslagmaterialen en volledig worden getest, waarbij sommige testen een aantal maanden

moesten lopen. Omdat al veel bekend was over de Sqape-geopolymeretechnologie en omdat er bij alle betrokken partijen (inclusief TU Delft en Concrefy) veel deskundigheid aanwezig was, is dit met een positief resultaat afgesloten.

### MKI-FIETSBRUGMENGSELS

Naast het toepassen van geopolymer als bindmiddel werden voor de brug 100% secundaire toeslagmaterialen ingezet. Voor dit project is gekozen voor teerhoudend asfaltgranulaat (TAG). De recycling van asfalt tot granulaat voor beton vindt bij Jansen Recycling in Son plaats. Hiervoor is in 2018 een thermische reinigingsinstallatie (TRI) gebouwd. De betonmengsels zijn gebaseerd op een mengsel van een eerder project, waarvan een LCA was uitgevoerd en een MKI-waarde bekend was conform de Europese norm EN 15804. Deze MKI-waarden zijn bepaald voor de fases A1 t/m A3, *cradle to gate*. De LCA-berekeningen zijn door het erkende bureau



8 MKI-scores per levensduurfase A1 - A3 van verschillende betonmengsels RaMaC = alkali activated Ready Mix Concrete met Sqape-bindmiddel

Ecochain geverifieerd. De mengsels zijn C30/37 met primair toeslagmateriaal en CEM I of CEM III/B en met secundair toeslagmateriaal (TRI) met CEM III/B of Sqape-geopolymeer (beton merknaam RAMAC) (fig. 8) [7]. Het verschil in milieuprestatie tussen CEM I en CEM III/B is algemeen bekend. De MKI-verlaging met 4,32 €/m<sup>3</sup> bij toepassing van secundair toeslagmateriaal wordt voor een groot deel veroorzaakt door het wegvallen van transport van toeslagmaterialen (die uit de TRI naast de centrale vrijkomen). De MKI-verlaging met Sqape-geopolymeer als bindmiddel is nog eens 3,57 €/m<sup>3</sup>.

De MKI-waarden voor de aangepaste mengsels voor fietsbrug bedroegen 6,42 €/m<sup>3</sup> voor een C28/35 voor de landhoofden en 9,10 €/m<sup>3</sup> voor een C33/43 voor het nagespannen brugdek en de stootplaten (geverifieerd door Ecochain). Vergelijken we beide waarden met die van referentie betonmengsel met CEM III/B en primaire toeslagmaterialen uit de Nationale Milieudatabase, dan liggen de ontwikkelde mengsels respectievelijk 51 en 52% lager.

## NU EN DE TOEKOMST

Geopolymeerbeton is met alle plussen en minnen een veelbelovende optie voor duurzaam beton. Hoe de ontwikkelingen de komende 10 tot 15 jaar verlopen is niet eenvoudig te zeggen. Wel is duidelijk dat we aan het begin staan van een ontwikkeling, waarbij

een groot aantal nieuwe - al dan niet secundaire - precursors toegepast gaat worden. En waarbij de productie van activatoren op een duurzame manier zal worden opgeschaald. Maar niemand verwacht dat geopolymereen alle cement gaan vervangen, daarvoor is de behoefte aan beton en cement gewoonweg te

groot. De ontwikkeling van geopolymeerbeton in de toekomst zal voor een groot deel afhangen van de verduurzaming van de cementproductie.

Voor beide ontwikkelingen, zowel in geopolymereen als in duurzaam cement, zijn grote investeringen nodig voor verder onderzoek, het bouwen van productiecapaciteit, het opzetten van regelgeving en meer. Een consistent beleid voor de inkoop van duurzaam beton door private en publieke opdrachtgevers zal hiervoor de motor zijn en bepalen hoe snel deze ontwikkelingen kunnen gaan.

## Literatuur

1. Kennispaper: geopolymeerbeton, voorgespannen kanaalplaten, preadvies SBRCURnet, 2017
2. Accelerated carbonation testing of alkali-activated binders significantly underestimates service life: The role of pore solution chemistry, Bernal et al., 2012.
3. Carbonation resistance of alkali-activated slag under natural and accelerated conditions, Nedeljkovic et al. 2017.
4. Alkalinity and its consequences for the performance of steel-reinforced geopolymere materials, Koenig et al., 2020.
5. Resistance to alkali-aggregate reaction (AAR) of alkali-activated cement based binders, Cyr et al., 2015.
6. Effect of alkali release by aggregates on alkali silica reaction, Drolet et al., 2017.
7. LCA Achtergrondrapport RaMaC C28/35 en RaMaC C33/43 Verificatie Ecochain 2021.
8. Road Map CO<sub>2</sub> versie 1.2, 2021, www.betonakkoord.nl

## PRODUCT IN ONTWIKKELING - NASCHRIFT REDACTIE

Geopolymeerbeton is een product in ontwikkeling, waarover nog lang niet alles bekend is. Duidelijk is in ieder geval dat het een ander materiaal is dan cementbeton, met andere eigenschappen.

Er is niet één geopolymeerbeton; er is een breed scala aan geopolymeerbetonmengsels met grote onderlinge verschillen. Die presteren lang niet allemaal even goed, zo blijkt ook wel uit een aantal schades met fietspaden die in het land zijn opgetreden. Als je met het materiaal aan de slag gaat, moet je goed op de hoogte zijn van de (on)mogelijkheden. Ook moet je daarbij kritisch zijn op wat de daadwerkelijke milieuwinst is. Zo levert geopolymeerbeton op basis van reguliere slak en vliegias wel een lage MKI op maar welbeschouwd geen werkelijke milieuwinst. Omdat slak en vliegias momenteel al in cement worden toegepast, gaat het alleen om een verschuiving.

Geopolymeerbeton zal in de ogen van de redactie op klinker gebaseerd beton niet grootschalig vervangen, maar er zijn voor bepaalde toepassingen zeker kansen. Daarbij gaat het vooral om toepassingen waarbij de eigenschappen het beste tot hun recht komen.

De redactie van *Betoniek* volgt de ontwikkeling omtrent geopolymeerbeton met belangstelling. Zoals uit dit artikel en het eerder verschenen artikel in *Betoniek* 'Geopolymeerbeton: een hype of de toekomst?' blijkt, wordt er verschillend gedacht over de kansen en mogelijkheden van het materiaal. Daarom nodigen we - zoals hoofdredacteur Hans Kooijman in zijn voorwoord ook al aangeeft - lezers uit om meningen en inzichten over het materiaal te delen. Daarmee willen we een bijdrage leveren aan de verdere ontwikkeling van duurzaam en kwalitatief hoogwaardig beton.

De redactie van *Betoniek*