

Alternatieve bindmiddelen

ir. Edwin Vermeulen MBA, Betonhuis

Beton bestaat hoofdzakelijk uit toeslagmateriaal, water en cement. Daarbij is het cement verantwoordelijk voor meer dan 80% van het totale CO₂-profiel van beton. Het is dus noodzakelijk om het CO₂-profiel van cement te verlagen. In dit hoofdstuk beschrijven we de ontwikkelingen op dit gebied.

Vervanging van portlandcementklinker

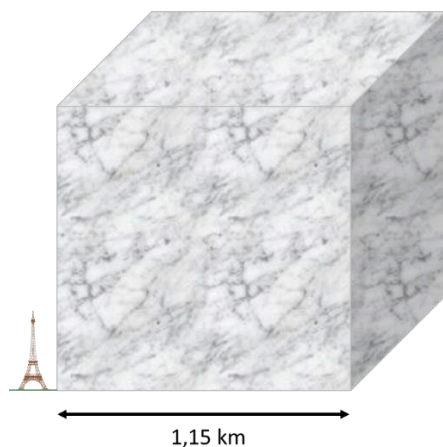
De makkelijkste stap om het CO₂-profiel van cement te verlagen is door een deel van de portlandcementklinker te vervangen door geschikte alternatieven, zoals hoogovenslak en poederkoolvliegias. Nederland is hierin al decennia koploper en het in Nederland toegepaste cement heeft daardoor ook het laagste CO₂-profiel ter wereld: een bijdrage aan de totale CO₂-emissie in Nederland van circa 1,2 % in plaats van 7 % wereldwijd.

Buiten Nederland worden de pijlen gericht op ongebrande kalksteen, gecalcineerde klei of een combinatie van deze twee. Ongebrande kalksteen is vrijwel inert, maar het kan desondanks een deel van de portlandcementklinker vervangen zonder een evenredig sterkteverlies. Gecalcineerde klei heeft puzzolane eigenschappen. Het lijkt mogelijk om met de combinatie van kalksteen en gecalcineerde klei het klinkergehalte in cement te verlagen tot zo'n 50 %.

Omdat kalksteen en geschikte klei (kaolien) wereldwijd praktisch onbeperkt en regionaal beschikbaar zijn, is de ontwikkeling van een cementsoort op basis van gecalcineerde klei en kalksteen een kansrijke optie voor reductie van het CO₂-profiel van cement. Voor Nederland biedt deze ontwikkeling echter voorlopig geen toegevoegde waarde. Regionaal hebben we een groot aanbod aan hoogovenslak en in Nederland is hoogovencement CEM III/B met slechts 30% klinker het meest toegepaste cementtype. Het gemiddelde klinkergehalte in de in Nederland toegepaste mix van cementsoorten is ongeveer 50%. Wereldwijd is het klinkergehalte met gemiddeld circa 75% een stuk hoger, waarbij verwacht wordt dat dit kan dalen naar zo'n 70% in 2050.

Grondstoffen

Wanneer we zoeken naar alternatieven voor de huidige op portlandcementklinker gebaseerde cementsoorten is het van belang om te kijken naar de beschikbaarheid van de benodigde grondstoffen. De wereldwijde vraag naar cement is namelijk gigantisch: circa 4,7 miljard ton per jaar [1]. Hiermee wordt meer beton geproduceerd dan alle andere materialen bij elkaar.



Figuur 1 – Voor de wereldwijde cementproductie is veel kalksteen nodig: jaarlijks een kubus met een ribbe van bijna 1,2 km.

Portlandcementklinker, de basis voor alle reguliere cementsoorten, is gebaseerd op de elementen calcium, silicium, aluminium en ijzer. De belangrijkste grondstof is kalksteen. Hiervan is jaarlijks wereldwijd ongeveer $1,5 \text{ km}^3$ nodig (figuur 1). Dit is een haast onvoorstelbare hoeveelheid, maar kalksteen is gelukkig onbeperkt beschikbaar. Kalksteen is overigens vrijwel volledig biologisch gevormd door skeletten van plankton; jaarlijks wordt in de oceanen zo'n 5 miljard ton kalksteen gevormd [2] (waarbij CO_2 wordt vastgelegd), hetgeen meer is dan voor de cementproductie wordt gewonnen. De elementen silicium, aluminium en ijzer worden in de regel geleverd door klei, een eveneens regionaal en onbeperkt beschikbare grondstof.

Wanneer we kijken naar de beschikbaarheid van grondstoffen in de aardkorst en de chemische mogelijkheden blijven er drie groepen mineralen over voor de ontwikkeling van een nieuw bindmiddel: calciumsilicaten, calciumaluminaten en calciumsulfoaluminaten.

Alternatieven voor portlandcementklinker

Hieronder beschrijven we de belangrijkste ontwikkelingen ten aanzien van alternatieve bindmiddelen.

Belietrijk portlandcement

Reguliere portlandcementklinker bestaat voor zo'n 65% uit aliet (C_3S) en voor 15% uit beliet (C_2S). Belietrijk portlandcement bestaat zoals de naam al aangeeft daarentegen vooral uit beliet (> 50%). De productiewijze is vergelijkbaar met die van reguliere portlandcementklinker, waarbij er minder kalk wordt gebruikt en de brandtemperatuur met circa $1.350 \text{ }^\circ\text{C}$ wat lager ligt. Ten opzichte van portlandcement is er sprake van een ongeveer 10% lagere CO_2 -emissie. Voor deze bescheiden winst moet genoeg genomen worden met een veel tragere sterkte-ontwikkeling, al biedt de eveneens lagere warmteontwikkeling ook voordelen voor toepassing in massabeton. Belietrijk portlandcement wordt vooral in China toegepast in bepaalde nichemarkten (figuur 2).



Figuur 2 – in de Drieklovendam in China (1994 – 2006; $2,7 \text{ miljoen m}^3$ beton) is belietrijk portlandcement toegepast (bron: Wikimedia Commons)

Calciumsulfoaluminaat-belietcement

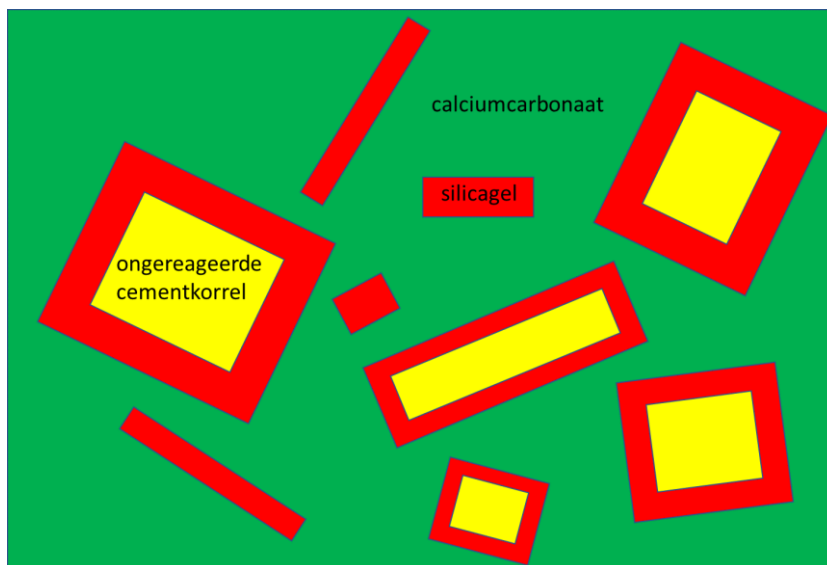
Bij calciumsulfoaluminaat-belietcement (CSA-B) wordt de trage sterkte-ontwikkeling van beliet gecompenseerd door de aanwezigheid van het calciumsulfoaluminaat ye'elimate ($C_4A_3\dot{S}$). Bij hydratatie van ye'elimate ontstaat ettringiet, dat sterkte levert en de hydratatie van beliet versnelt. CSA-B betreft een brede groep van cementsoorten, waarbij het gehalte aan ye'elimate kan variëren tussen 15 en meer dan 35% en het gehalte aan beliet varieert tussen circa 40 en 75%.

Doordat er minder calcium nodig is en door de lagere brandtemperatuur van circa 1.250 °C is er sprake van een CO₂-reductie van circa 25 tot 30% ten opzichte van portlandcement, terwijl de sterkte-ontwikkeling vergelijkbaar is.

Het productieproces is ook vergelijkbaar met dat van portlandcementklinker en in principe zou CSA-B regulier cement moeten kunnen vervangen in (constructief) beton, al is de weerstand tegen carbonatatie lager dan die van portlandcement. Voor de productie is echter een aluminiumrijke grondstof nodig. Dat kan een secundair materiaal zoals poederkoolvliegias zijn, maar bij opschaling zal bauxiet nodig zijn, hetgeen het zeer kostbaar maakt. Op de zeer lange termijn zal er, bij grootschalige vervanging van portlandcement, bovendien ook schaarste aan bauxiet optreden. Voor de korte en middellange termijn kan het echter wel een wezenlijke bijdrage leveren aan een verlaging van de CO₂-emissie.

Wollastoniet

Naast de bekende klinkermineralen C₃S en C₂S kan er ook CS (wollastoniet) worden geproduceerd. Wollastoniet reageert met CO₂ tot calciumcarbonaat en amorf siliciumdioxide. De cementsteen bestaat uit niet-gereageerde CS-deeltjes met een schil van siliciumdioxide in een matrix van kalksteen (figuur 3).



Figuur 3 – Schematische weergave microstructuur cementsteen wollastoniet.

Doordat er veel minder kalk wordt gebruikt en door de lagere brandtemperatuur van circa 1.250 °C wordt er tijdens de productie ongeveer 30% minder CO₂ uitgestoten in vergelijking met de productie van portlandcementklinker. Daarnaast wordt er tijdens de verharding circa 30% CO₂ opgenomen, waarmee de totale besparing ten opzichte van portlandcement circa 60% bedraagt. De sterkte-ontwikkeling is zeer snel: na 24 uur wordt een sterkte bereikt die met portlandcement pas na 28 dagen wordt bereikt.

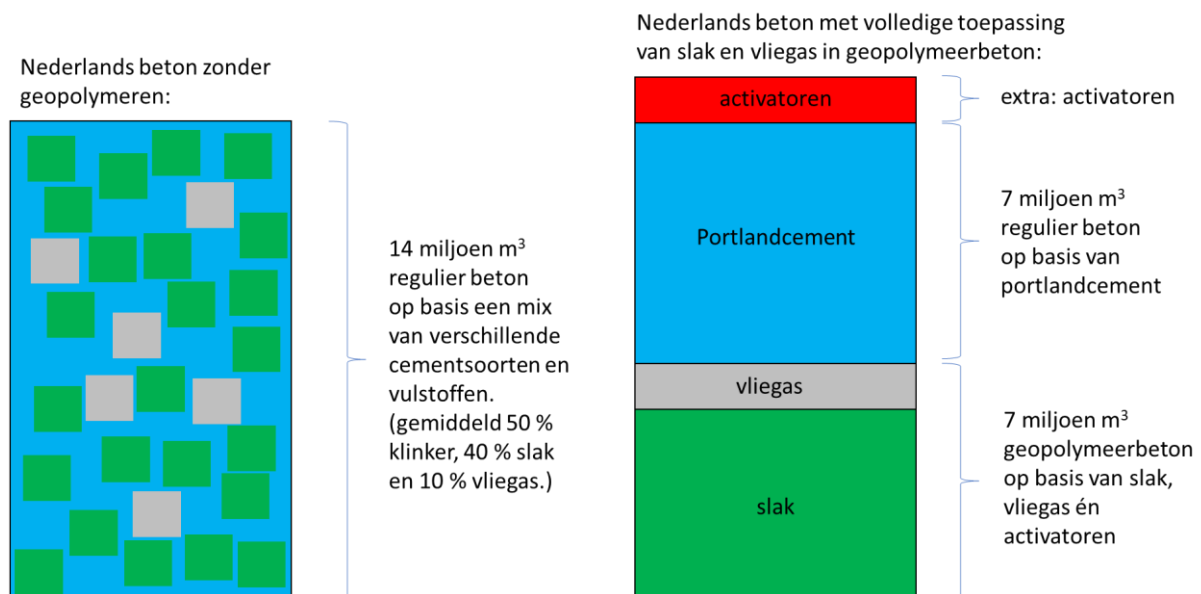
Er zijn ook nadelen: omdat er CO₂ moet kunnen indringen, zijn de haalbare afmetingen beperkt tot een dikte van circa 20 cm. Verder is de pH van ongeveer 9 te laag voor toepassing in constructief beton.

Tot slot vraagt de verwerking van wollastoniet een speciaal productieproces, met een klimaatkamer met zuiver CO₂, hetgeen ook de nodige veiligheidsvoorzieningen vraagt. Voor betonwaren lijkt het echter een serieus alternatief voor regulier cement.

Geopolymeren

Geopolymeren zijn alkalisch geactiveerde bindmiddelen. Materialen zoals poederkoolvliegias en hoogovenslak worden hierbij niet geactiveerd met portlandcementklinker, maar met een sterke base zoals natronloog en/of waterglas.

Geopolymeren kunnen bijdragen aan een CO₂-reductie. Voorwaarde hiervoor is wel dat er geen gebruik wordt gemaakt van grondstoffen die nu al volledig worden toegepast, zoals slak en poederkoolvliegias. Er lijkt op projectniveau dan wel sprake van milieuwinst, maar landelijk is dat niet het geval. Er is alleen sprake van een verschuiving van grondstoffen (figuur 4).



Figuur 4 - Nieuwe bindmiddelen op basis van grondstoffen die al volledig worden toegepast in de cement- en betonindustrie leveren geen milieuwinst op. In het geval van geopolymerbeton nemen de milieukosten landelijk zelfs toe door de toevoeging van activatoren aan de betonketen.

Geopolymeren kunnen dus alleen een bijdrage leveren als er gebruik wordt gemaakt van materialen die we nu nog niet toepassen in beton. Dat kan een kunstmatig vervaardigde slak zijn, maar ook andere secundaire materiaalstromen dan poederkoolvliegias en slak. Gecalcineerde klei kan ook als grondstof voor geopolymerbeton worden gebruikt.

Carbon capture

Uit het voorgaande blijkt dat er weliswaar veel mogelijkheden zijn om de CO₂-emissie te verlagen, maar grootschalige vervanging van portlandcementklinker is niet eenvoudig. Naast verdere inzet van alternatieve brandstoffen wordt er door de cementindustrie daarom ook sterk ingezet op afvang en vervolgens opslag of gebruik van CO₂. Naar verwachting zal in 2050 het grootste deel van de vereiste CO₂-reductie gerealiseerd worden door het afvangen van CO₂ [3].

Voor het nuttig toepassen van CO₂ zijn diverse mogelijkheden, waaronder de productie van brandstoffen en het kweken van algen. Opslag van CO₂ kan in oude gasvelden, maar wellicht is opslag in mineralen (zoals door middel van een reactie met een magnesiumsilicaat zoals olivijn) ook mogelijk. Zowel bij opslag als bij gebruik zal de CO₂ geconcentreerd moeten worden afgevangen, waarvoor verschillende technieken in ontwikkeling zijn. Verwacht wordt dat CO₂-afvang pas vanaf ongeveer 2035 voor een belangrijk deel van de CO₂-reductie zal zorgen.

Tot slot

Het CO₂-profiel van beton is laag in vergelijking met andere bouwmaterialen [4], maar door de enorme vraag naar beton en daarmee naar cement levert de productie van cement een forse bijdrage aan de totale CO₂-emissie. De noodzakelijke verlaging van de CO₂-emissie zal moeten worden gerealiseerd door een breed scala aan nieuwe cementsoorten en vooral door CO₂-afvang. Dit vraagt echter nog de nodige technologische ontwikkelingen. Voor de komende jaren zijn de mogelijkheden voor cement daarom beperkt en moet verlaging van het CO₂-profiel van beton vooral worden gezocht in betontechnologische maatregelen zoals optimalisatie van de korrelpakking.

Literatuur

1. Activity Report 2017, mei 2018, CEMBUREAU, Brussel.
2. Contribution of Calcareous Plankton Groups to the Carbonate Budget of South Atlantic Surface Sediments, Baumann et al. Universität Bremen, Fachbereich Geowissenschaften, 2004.
3. Technology Roadmap Low-Carbon Transition in the Cement Industry, International Energy Agency / World Business Council for Sustainable Development, 2018.
4. Making Concrete Change - Innovation in Low-carbon Cement and Concrete, Johanna Lehne and Felix Preston, Chatham House Report, June 2018.