

Mengsel- en korrelpakking optimalisatie

ing. E. van der Weij, VolkerWessels Infra Competence Center

De milieubelasting van beton verlagen door optimalisatie klinkt eenvoudig, maar welke mogelijkheden hebben we eigenlijk om de milieubelasting van beton te reduceren? Dit artikel geeft inzicht in de mogelijkheden om de milieubelasting van beton te reduceren.

De samenstelling van beton wordt afgestemd op de toepassing. Aan de toepassing zitten vele eisen en randvoorwaarden, waarmee rekening gehouden moet worden. Als de eisen bekend zijn, kunnen we de mogelijkheden voor optimalisatie doorlopen om de milieubelasting in de betonsamenstelling te reduceren.

Eisen en randvoorwaarden

De mogelijkheden voor optimalisatie van de betonsamenstelling zijn niet onbeperkt en hangen direct samen met de eisen en randvoorwaarden van de constructie waarin beton wordt toegepast. Het belangrijkste onderscheid wordt wellicht gevormd door het al dan niet aanwezig zijn van wapening in beton en het beschermen van wapening tegen corrosie. In het geval van beton in constructieve toepassingen, hebben we direct te maken met constructieve veiligheid. We kunnen daar simpelweg niet experimenteren met exotische bindmiddelen waarvan we het gedrag in een constructie niet kennen. Echter daar waar beton geen constructieve functie vervult, liggen wel kansen voor alternatieve bindmiddelen, mits de functionele eisen hiermee ingevuld kunnen worden.

Optimalisatiemogelijkheden

Optimalisatie van de betonsamenstelling kunnen we grofweg indelen in drie categorieën:

1. type bindmiddel;
2. alternatieve grondstoffen en hulpstoffen;
3. optimalisatie van de korrelpakking

Type bindmiddel

Het bindmiddel in beton veroorzaakt circa 80 à 90% van de milieubelasting van beton. De meest voor de hand liggende eerste stap is om te kijken naar mogelijkheden om een bindmiddel te gebruiken met een lagere milieubelasting. Hierbij moeten we in ogenschouw nemen dat de keuze van het bindmiddel direct van invloed is op de levensduur van beton. Immers vormt de cementsteen de eerste barrière tegen aantasting vanuit de omgeving of vanuit chemische reacties van de grondstoffen in het beton zelf. Hiervoor wordt verwezen naar artikel 11, 'Duurzaamheid versus levensduur.'

Bindmiddelen zijn te onderscheiden in de volgende categorieën:

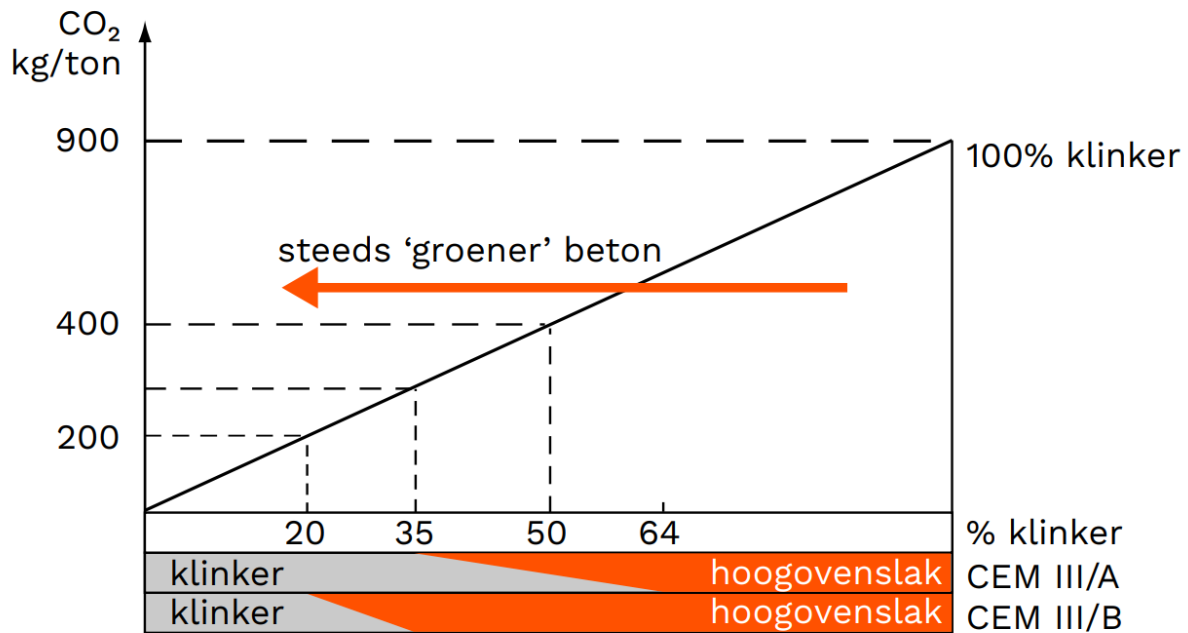
- reguliere (well tried) cementen;
- alternatieve cementen;
- alternatieve bindmiddelen.

Reguliere (well tried) cementen

De reguliere cementen, ook wel 'well tried' cementen genoemd vanwege de ruime ervaring die we hiermee decennialang hebben opgedaan, worden genoemd in de NEN 8005. Deze cementen zijn geschikt om toe te passen in constructief beton. Hierbij moet uiteraard wel rekening worden gehouden met de geschiktheid voor de specifieke toepassing.

Bij regulieren cementen is de portlandcementklinker de component met de grootste milieubelasting. Deels wordt dit veroorzaakt door de calcinatie (decarbonisatie) van calciëet (calciumcarbonaat) tot

calciumoxide en deels door de energie die nodig is om de cementmineralen te vormen in de cementoven. Simpel gezegd, hoe lager het klinkergehalte, hoe lager de milieubelasting.



Figuur 1: CO₂ emissie versus klinkergehalte van cement (bron: Betonpocket 2020)

Alternatieve cementen

Alternatieve cementen zijn in feite alle cementen waarvan de geschiktheid voor generieke toepassing nog niet is aangetoond. Dit kunnen cementen zijn uit de NEN-EN 197-1 die niet worden genoemd in de NEN 8005 of cementen die onder een andere cementnorm vallen. Denk hierbij aan CEM III/C, calcium-sulfo-aluminaat (CSA)-belietcement, supergesulfateerd cement (volgens EN 15743), of Very Low Heat (VLH) cement (volgens EN 14216).

CEM III/C bijvoorbeeld is een cement met een zeer laag gehalte aan portlandcementklinker (< 20%). Hierdoor is het cement zeer gevoelig voor bijvoorbeeld carbonatatie en gevoelig voor vorst-dooiwisselingen i.c.m. dooizouten. Voor bepaalde toepassingen, zoals in de grond gevormde funderingspalen, mag dit cement, 'regelgevingstechnisch', zondermeer ingezet worden. Echter voor constructieve toepassingen zal eerst de geschiktheid aangetoond moeten worden. Hiervoor moet gebruik worden gemaakt van de procedure zoals beschreven in CUR-Aanbeveling 48.

Alternatieve bindmiddelen

Alternatieve bindmiddelen zijn de bindmiddelen die niet op basis van portlandcementklinker zijn gemaakt. Deze bindmiddelen vormen dan ook een andere chemische structuur. Een serieus alternatief is een geopolymeer als bindmiddel. Dit is een anorganisch polymeer, waarbij reactieve aluminium- en siliciumhoudende grondstoffen (precursors), alkalisch worden geactiveerd. Het reactieproduct is een geopolymeer, bestaande uit een netwerk van aluminiumsilicaten. Hierbij is dus geen sprake van hydratatie, maar van polymerisatie. Overigens zijn er ook andere grondstoffen zoals granuleerde hoogovenslak, die naast aluminium en silicium tevens calcium bevatten. Indien deze stoffen een amorfe structuur hebben, zijn deze vaak ook alkalisch te activeren. We spreken dan niet meer over een geopolymeer, maar over een alkalisch geactiveerd bindmiddel.

De precursor moet bestaan uit aluminium- en siliciumhoudende grondstoffen, al dan niet in combinatie met calciumverbindingen. Deze moeten amorf zijn, zodat de structuur in alkalisch milieu afbreekt en makkelijk in oplossing kan gaan, om vervolgens te polymeriseren. De reactieproducten

zijn de zogenoemde N-A-S-H-gel of in geval van calciumhoudende precursors ook C-A-S-H-gel. Geopolymeerbeton of alkalisch geactiveerd beton heeft vergelijkbare eigenschappen met cementbeton. Bepaalde eigenschappen zijn zelfs beter dan van cementbeton, zoals de zuurbestandheid of de bestandheid tegen hoge temperaturen. De eigenschappen zijn vaak goed te beïnvloeden en te sturen door de keuze van de precursor en alkalische activators en de onderlinge verhoudingen.

De beschikbaarheid van bepaalde precursors is op termijn wel een probleem. Denk aan poederkoolvliegass, dat vrijkomt bij poederkoolgestookte energiecentrales. Maar ook de beschikbaarheid van gegranuleerde hoogovenslak die we nu als restproduct verkrijgen bij de ruwijzerproductie, kan in de (nabije) toekomst in gevaar komen. Andere precursors, zoals gecalcineerde klei, zijn in voldoende mate beschikbaar. Op bepaalde plaatsen zijn ook natuurlijke puzzolanen in grote hoeveelheden beschikbaar. Daarnaast zijn er nog specifieke restmaterialen, zoals elektro-ovenslakken en vliegassen uit specifieke processen en assen van biomassa, die eveneens geschikt zijn om alkalisch te activeren. Aan de verschillende precursors kleven ieder wat voor- en nadelen. Als we kijken naar gecalcineerde klei, dan wordt de primaire grondstof kaoline, ook wel Chinese klei genoemd, door verhitting omgezet naar metakaoline. Voordeel is dat dit een kwalitatief constante grondstof oplevert. Nadeel is dat voor de omzetting naar metakaoline ook veel energie (temperaturen 750 – 800°C) nodig is. Voor de diverse reststoffen geldt dat dit veelal een kwalitatief minder constante materiaalstroom is. Voordeel is dat de milieubelasting relatief laag is, doordat het reststoffen zijn, waaraan minder milieubelasting wordt gealloceerd.

Voor andere alternatieve bindmiddelen en hun specifieke eigenschappen wordt verwezen naar artikel 10, 'Alternatieve bindmiddelen'. Zie ook: [4]

Alternatieve grondstoffen en hulpstoffen

Met behulp van alternatieve grondstoffen en hulpstoffen is het mogelijk het cementgehalte te reduceren in beton. De mogelijkheden hiervoor zijn uitgebreid beschreven in de bijdrage 'Milieueffecten van beton en grondstoffen voor beton'.

Korrelpakking en optimalisatie

Over korrelpakkingsoptimalisatie is al veel geschreven. We beperken ons hier dan ook tot de hoofdzaken en verwijzingen naar de diverse publicaties omtrent dit mechanisme.

Het moge duidelijk zijn dat een optimale korrelpakking, ofwel de mate waarin de korrels een bepaald volume vullen, noodzakelijk is om de waterbehoefte en daarmee het cementgehalte in beton te beperken. In de betonindustrie spelen we met name met de toeslagmaterialen, maar minstens zo belangrijk zijn de fijnere fracties: cement en vulstoffen.

Er zijn verschillende modellen waarmee we de korrelpakking van de grondstoffen kunnen berekenen. Dit is uitgebreid beschreven in *Betoniek* Standaard 16/21: Op de Korrel [4].

In *Betoniek* Vakblad 2018/1 'Korrelpakking in de praktijk' zijn praktische voorbeelden gegeven van de mogelijkheden om de korrelpakking van beton te optimaliseren.

Als we als industrie in staat zouden zijn om de volledige korrelpakking (fijn en grof) te optimaliseren, dan zouden we daarmee de waterbehoefte en dus het cementgehalte aanzienlijk kunnen reduceren. Dit vergt echter wel opslag- en silicapaciteit om diverse fracties grondstoffen op te kunnen slaan. Immers hoe minder fracties je tot je beschikking hebt, des te minder goed je kunt sturen op een optimale korrelverdeling.

Slow Concrete

Overigens kunnen we ook bij gebruik van reguliere cementsoorten in bepaalde situaties het cementgehalte optimaliseren (reduceren) door gebruik te maken van de doorgaande sterkteontwikkeling. De factor tijd speelt hierbij een belangrijke rol. Als we de tijd hebben (nemen) om beton in alle rust z'n sterkte te laten ontwikkelen en de constructie pas belasten als de benodigde sterkte is bereikt, dan kunnen we het cementgehalte en daarmee de milieubelasting van beton optimaliseren. Dit wordt uitgebreid beschreven in het *Cement*-artikel 'Rekenen met doorgaande sterkteontwikkeling' [9].

De sterkteontwikkeling van beton wordt in veel gevallen aangepast op de ontkistingstijd in het bouw- of productieproces. Meestal door of een 'sneller' cement (met meer portlandcementklinker) te gebruiken of door de water-cementfactor te verlagen (met als gevolg meer cement). Als we dit zouden doen met een verhardingsversneller, dan kunnen we de sterkteontwikkeling aanzienlijk versnellen, zonder dat dit ten koste gaat van de milieubelasting.

Literatuur

1. *Betoniek* Standaard 16/21: Op de Korrel.
2. *Betoniek* Vakblad 2019/2 'Rekenen met doorgaande sterkteontwikkeling'.
3. *Betoniek* Vakblad 2018/1 'Korrelpakking in de praktijk'.
4. *Betoniek* Vakblad 2019/3 'CO₂-reductie: opties voor cement'.
5. *Betoniek* Geopolymeerbeton, warm(te) aanbevelen.
6. De uitdagingen van geopolymeerbeton.
7. Cement voor massabeton, een abc'tje?
8. Eco-efficient cements: Potential, economically viable solutions for a low-CO₂, cement-based materials industry, Karen L. Scrivener, Vanderley M. John, Ellis M. Gartner, United Nations Environment Programme, Paris 2016.
9. Weij, E.C. van der, Rekenen met doorgaande sterkteontwikkeling. *Cement* 2020 nr. 2.