



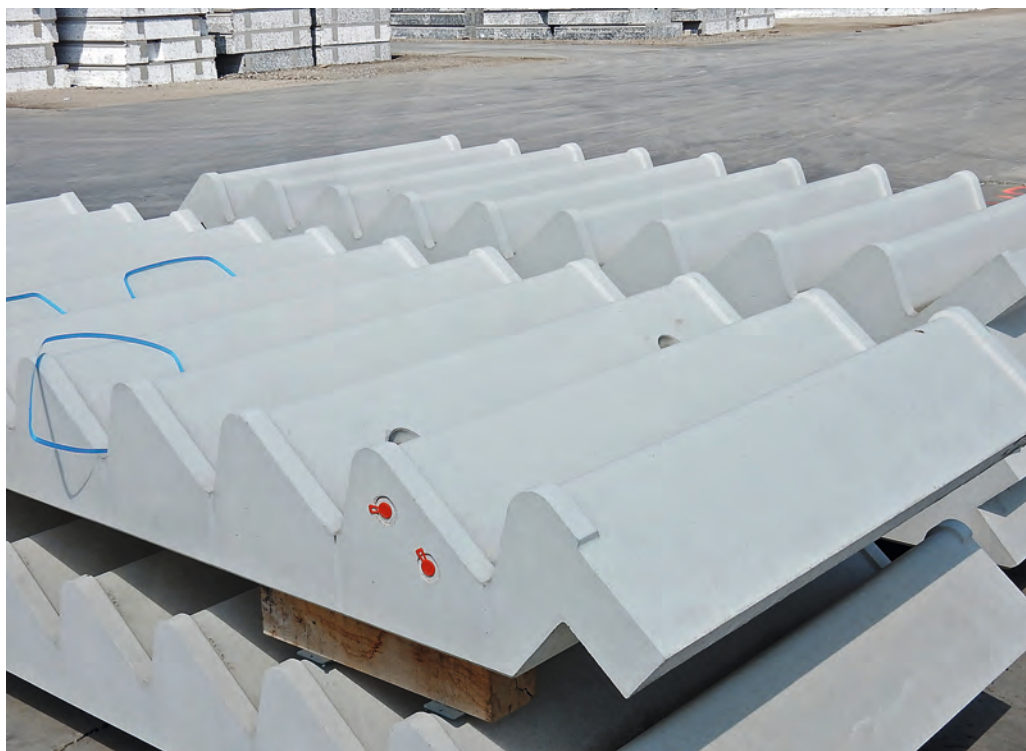
**Hoogovencement ondanks tijdelijke blauwkleuring goed alternatief voor wit portlandcement**

# Blauw...? Dat is pas groen!

Beton biedt bijzonder interessante architectonische mogelijkheden. Uiteraard is de kleur van het materiaal daarbij belangrijk. Zo willen architecten nog wel eens kiezen voor wit beton. Dat kan worden verkregen door het gebruik van wit portlandcement. Maar ook door toevoeging van hoogovenslak krijgt beton een lichte kleur (foto 1). Een van de mogelijke gevolgen daarvan is blauwkleuring. Gelukkig is die slechts tijdelijk van aard.

<sup>1</sup>  
*Door toevoeging van hoogovenslak krijgt beton een lichte kleur*

**B**etonwaren, betonmortel, voorgespannen beton of prefab beton. Beton is op vele manieren in hokjes in te delen. Een interessante groep wordt gevormd door 'architectonisch beton'. Daar waar beton vaak wordt ervaren als grijs en grauw, zien we de afgelopen decennia ook prachtige betonnen constructies en architectonische hoogstandjes. Beton is bij uitstek een materiaal dat de architect de mogelijkheden biedt zijn creatieve ideeën ook daadwerkelijk te realiseren, onder meer dankzij een enorme vormvrijheid. Naast de vormgeving speelt ook het



klinker en hoogovenslak kunnen we een aantal cementsoorten benoemen. Deze zijn in tabel 1 opgenomen.

De uiteindelijke kleur van het (hoogoven)cement wordt bepaald door de verhouding portlandcementklinker/ hoogovenslak én de maalfijnheid. Hoe meer hoogovenslak, des te minder dominant de grijze kleur van de portlandcementklinker. En hoe fijner een cement wordt gemalen, des te lichter wordt de kleur. Maar ook geldt dat een (te) laag percentage portlandcementklinker ten koste gaat van de sterkteontwikkeling.

De keuze voor een bepaald type cement wordt voor een belangrijk deel ook bepaald door de potentiële sterkteontwikkeling van het cement. Speciaal voor de prefab-betonindustrie is midden jaren negentig door de cementindustrie een 'snel' hoogovencement ontwikkeld, een CEM III/A 52,5 N. Een cement met een gehalte hoogovenslak van 55% en toch een sterkteontwikkeling die concurrerend is ten opzichte van portlandcement. Door zijn enorme fijnheid komt dit cement qua kleur dicht in de buurt van wit portlandcement (foto 2). Een ideaal cement voor architectonisch beton.

### Hoogovenslak

Maar zo ideaal wordt het toch niet altijd ervaren. Als na voldoende verharding de bekisting van het beton wordt verwijderd en het beton is vervaardigd met een cement op basis van hoogovenslak, kleurt het oppervlak blauw. Dat is soms schrikken voor architect/ontwerper die een heel ander beeld voor ogen had. Betonproducenten weten echter dat de

uiterlijk, de kwaliteit van het betonoppervlak, een belangrijke rol bij de visuele beleving. Beton is in de basis grijs van kleur maar andere kleuren horen zeker tot de mogelijkheden, zo ook wit beton.

### Wit beton

Een helder wit beton maak je niet met het traditionele grijze portlandcement. Portlandcement wordt vervaardigd uit portlandcementklinker; een industrieel vervaardigd halfabricaat, verkregen door het gezamenlijk branden van kalksteen en silicium-, aluminium- en ijzerhoudende grondstoffen. De portlandcementklinker varieert in kleur van licht- tot donkerbruin en zelfs tot zwart. Door het malen wordt het bekende grijze poeder verkregen. Een cementproducent heeft echter meerdere opties om het grijze cement lichter en zelfs wit van kleur te maken. Speciaal daarvoor is wit cement ontwikkeld. Dit is een cement op basis van een ijzervrije portlandcementklinker. Het weglaten van de ijzercomponent heeft wel gevolgen voor het productieproces. De brandtemperatuur in de oven om de juiste 'smeltemperatuur' te krijgen, waarbij de noodzakelijke cementmine-

**2**  
Op de voorgrond trappen met wit cement, daarachter een trap met CEM III/A

ralen worden gevormd, ligt hoger dan bij het branden van de traditionele portlandcementklinker. Dat maakt het 'witte' cement niet alleen kostbaar maar ook minder CO<sub>2</sub>-vriendelijk.

Er bestaat echter nog een andere mogelijkheid de grijze kleur van het (portland)cement lichter te maken tot vrijwel wit. Dat kan door de normale grijze portlandcementklinker te mengen met hoogovenslak. Puur gemalen hoogovenslak is spierwit van kleur maar is op zich geen cement en, door zijn langzame reactie met water, niet echt bruikbaar in beton. De gemalen hoogovenslak wordt normaliter geactiveerd door het bijmengen met portlandcementklinker, de basis voor een hoogovencement. Afhankelijk van de verhouding tussen de portlandcement-

Tabel 1 Aandeel klinker en slak in verschillende cementsoorten

	aanduiding	% portlandklinker	% hoogovenslak
portlandcement, wit	CEM I	100	0
portlandcement	CEM I	100	0
portlandslakcement	CEM II/A-S	80 – 94	6 – 20
	CEM II/B-S	65 – 79	21 – 35
hoogovencement	CEM III/A	35 – 64	36 – 65
	CEM III/B	20 – 34	66 – 80
	CEM III/C	5 – 19	81 – 95



A



B

**3**  
Element met blauwkleuring (a) die naar verloop van tijd verdwijnt (b)

blauwverkleuring tijdelijk is en uiteindelijk verdwijnt (foto 3a en 3b).

De oorzaak van de blauwverkleuring ligt bij de belangrijkste grondstof voor hoogovencement: de hoogovenslak. Hoogovenslak is een bijproduct bij de vervaardiging van ruwijzer in een hoogoven. Om precies te begrijpen wat de blauwkleuring veroorzaakt, wordt eerst iets uitgelegd over het productieproces van ijzer.

#### Hoogovenproces

Het metaal ijzer (Fe) komt in de natuur vrijwel uitsluitend voor in verbinding met zuurstof (O), dus als ijzeroxide. Er kunnen zich verschillende ijzeroxidevormen voordoen:  $\text{FeO}$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  en  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ . Het ijzeroxide zit in de regel in ijzererts en is verbonden met steenachtig materiaal, het ganggesteente. In een hoogoven wordt bij hoge temperaturen, tot circa  $1600^\circ\text{C}$ , het ijzer vrijgemaakt uit het oxide: het zogenoemde reduceren tot ijzer (Fe). Om dit hoogovenproces optimaal te laten verlopen, worden naast ijzererts (als grondstof) en cokes (brandstof) ook toelagstoffen ingezet als kalksteen, magnesium en bauxiet. In de (verticale) hoogoven zakt tijdens het smeltproces langzaam een mengsel van vloeibaar ijzer en de slaksmelt (dit is een mengsel van het vloeibare ganggesteente, kalksteen, magnesium en bauxiet) naar onderen in

de hoogoven. Deze smelt wordt een aantal malen per dag afgetapt.

Het vloeibare ijzer en de vloeibare slaksmelt lopen van onder uit de oven in een goot waarin het door een zogeheten 'skimmer' van elkaar wordt gescheiden. Een skimmer is een tunnelvormige constructie waar het zwaardere ijzer doorheen gaat, terwijl de lichtere, op het ijzer drijvende slaksmelt door het dak van de tunnel wordt tegengehouden en gedwongen wordt af te vloeien via een slakafvoergoot. Het ruwijzer vervolgt zijn weg naar de staalfabrieken voor verdere bewerking. De vloeibare slaksmelt wordt naar de granulatieput geleid waar de slaksmelt door middel van sproeiërs met grote hoeveelheden water wordt afgekoeld. Deze snelle afkoeling wordt granuleren genoemd: de hete slak stolt vrij snel. Het glasachtige stollingsproduct heeft een zandige, korrelige verschijningsvorm en wordt aangeduid als 'gegranuleerde hoogovenslak' en ook wel als 'slakkenzand'.

De hoofdcomponenten in de glasachtige structuur van de hoogovenslak zijn silicium, calcium, aluminium en magnesium, afkomstig vanuit het ganggesteente, de kalksteen en de andere toelagstoffen. Daarnaast bevat het slakkenzand nog een zeer geringe hoeveelheid van de elementen ijzer, mangaan en zwavel. Het slakkenzand wordt

vervolgens als grondstof afgevoerd naar cementfabrieken voor de fabricage van hoogovencement, een mengsel van gemalen portlandcementklinker en hoogovenslak.

#### Blauwverkleuring

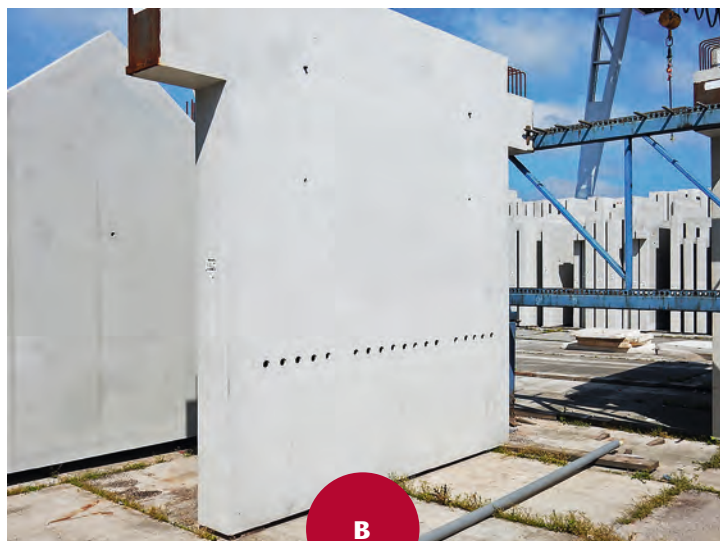
In betonspecie komt het hoogovencement in aanraking met water. Net als een korreltje portlandcementklinker reageert ook een korreltje hoogovenslak met water, alleen dan veel langzamer. Maar in een sterk alkalisch milieu, in de nabijheid van portlandcementklinker dus, reageert de hoogovenslak op een voor de bouwpraktijk acceptabele snelheid. Er is sprake van een 'alkalische activering'. Bij de reactie tussen een korreltje hoogovenslak en water komen naast de bekende hydratatieproducten (calciumsilicaathydraat), de elementen ijzer (Fe), mangaan (Mn) en zwavel (S) vrij. Deze reageren tot de verbindingen ijzersulfide ( $\text{FeS}$ ) en mangaansulfide ( $\text{MnS}$ ). Beide verbindingen zijn *blauw* en geven het beton, gemaakt met hoogovencement, de zo karakteristieke, blauwe kleur.

#### Verdwijning

Door inwerking van zuurstof uit de lucht (oxidatie) reageren de verbindingen ijzersulfide en mangaansulfide tot respectievelijk ijzersulfaat ( $\text{FeSO}_4$ ) en mangaansulfaat ( $\text{MnSO}_4$ ). Deze verbindingen hebben geen blauwe kleur. Bij



**A**



**B**

verdergaande oxidatie van ijzer- en mangaansulfide naar ijzer- en mangaansulfaat verdwijnt de blauwe kleur uit het betonoppervlak.

Blijft een vers betonoppervlak gedurende langere tijd goed afgesloten van de lucht, bijvoorbeeld in een stalen of gecoate bekisting, dan is na ontkisten de blauwe kleur goed zichtbaar. Hoe langer de constructie in de kist is gebleven, hoe intenser de kleur zal zijn (foto 4). Het cement heeft immers meer tijd gehad om met water te reageren en er hebben zich meer ijzer- en mangaansulfiden gevormd. In het algemeen geldt: hoe hoger de hydratatiegraad (dat is de mate waarin het cement met water heeft gereageerd), des te intenser de blauwkleuring zal zijn wanneer zuurstof niet kan toetreden.

Een intense blauwkleuring geeft dus aan dat de hydratatie van het cement (de verharding van het beton) al goed is gevorderd. Bovendien is de nabehandeling van de blauwgekleurde oppervlakken goed geweest, want als er van buitenaf geen zuurstof bij kan komen, is er ook geen sprake van uitdroging van het betonoppervlak.

De blauwkleuring is ook intens wanneer de bekisting door een vakantieperiode pas na enkele weken wordt verwijderd. De betreffende betonconstructie of het betonelement zal nog wekenlang, tot

soms wel maanden, een donkere en afwijkende kleur vertonen ten opzichte van omliggende delen of vergelijkbare betonelementen die korter in de bekisting hebben gezeten. Maar uiteindelijk trekt de blauwverkleuring weg en krijgt het beton zijn gewenste, lichte egale uiterlijk.

Om onnodige discussie met de opdrachtgever/architect over de, wellicht niet-verwachte, blauwverkleuring te vermijden, is goede voorlichting op zijn plaats. Daarnaast is het voor architectonisch of schoonbeton aan te bevelen de bekisting te verwijderen op basis van gelijke rijpheid. Zodoende zal het beton niet onnodig lang in de bekisting blijven staan. Aan de andere kant mag het tegengaan van blauwkleuring nooit aanleiding zijn voor het vroegtijdig weghalen van de bekisting. Te vroeg ontkisten betekent een slechte nabehandeling en dus een minder duurzame oppervlaktehuid.

### Dubbel duurzaam

Er is een belangrijke reden om voor de toepassing van beton met een lichte kleur te kiezen voor een CEM III/A 52,5 in plaats van voor een wit portlandcement: de dubbele duurzaamheid.

#### Levensduur

Duurzaamheid is, in de context van levensduur, het vermogen van een

**4**  
*Hoe langer de constructie in de kist of mal is gebleven, hoe intenser de kleur zal zijn (a), maar ook hier verdwijnt de blauwkleuring vanzelf (b)*

constructie(deel), om gedurende een voldoende lange periode haar functies te vervullen. Tijdens de gebruiksfase wordt een betonconstructie blootgesteld aan invloeden van buitenaf die het beton en/of de wapening kunnen aantasten. Het beton moet daar voldoende weerstand tegen bieden. De keuze voor de juiste cementsoort speelt hierbij een belangrijke rol. De toepassing van een cement op basis van minimaal 50% hoogovenslak heeft hierbij duidelijke voordelen ten opzichte van een puur portlandcement; een betere bestandheid tegen indringing van chloriden en daarmee het tegengaan van de corrosie van wapening, een betere bestandheid tegen aantasting door sulfaten en ongevoeligheid voor de alkali-silicareactie (ASR).

#### Milieu

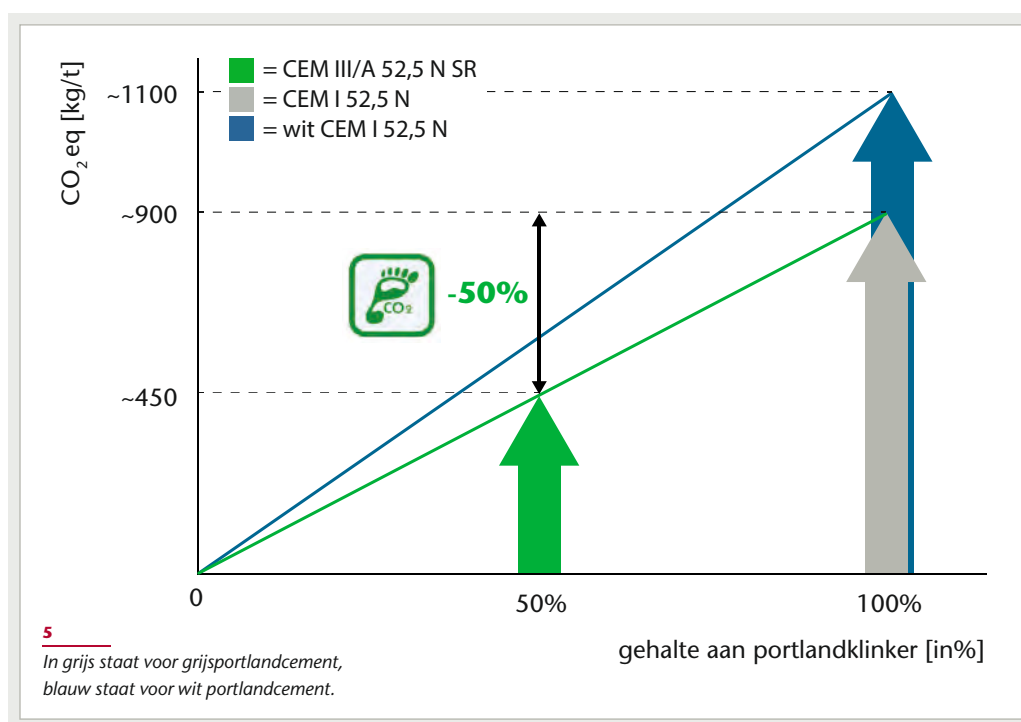
Het begrip duurzaamheid heeft ook vanuit milieuoogpunt de laatste jaren een flitsende doorstart gemaakt. Politiek gezien is het terugdringen van de CO<sub>2</sub>-uitstoot een van de belangrijkste thema's. Ook de bouw heeft hiermee te maken: Betonakkoord, Klimaattafels, Klimaatenvlop; alles draait om het terugdringen van de CO<sub>2</sub>-uitstoot. Bij de verwerking en productie van hoogovenslak tot hoogovencement is de uitstoot van CO<sub>2</sub> beperkt. In de combinatie van portlandcementklinker en hoogovenslak zit een optimum

waarbij de eigenschappen als sterkteontwikkeling en duurzaamheid nog beide tot hun recht komen en waarbij tevens voldaan wordt aan de steeds luider klinkende vraag uit de markt naar 'groen' cement.

CEM III/A 52,5 N heeft wat je zou kunnen noemen een unique sellingpoint. Een cement met een gelijkwaardige sterkteontwikkeling aan portlandcement, maar met een ongeveer 50% lagere CO<sub>2</sub>-uitstoot (fig. 5). Helemaal uniek zou de ontwikkeling van hoogovenscement op basis van witte klinker kunnen zijn, wellicht toekomstmuziek?

### Duurzaam alternatief

Architecten en ontwerpers streven in hun werk naar een unieke uitstraling. Met een wit portlandcement kan dat worden gerealiseerd. Maar er is ook een mooi alternatief op basis van hoogovenslak, een CEM III/A 52,5 N. Daarbij kan het zijn dat je eerst wordt geconfronteerd met een blauwe uitstraling, waarvan we nu weten dat hiermee



eigenlijk een 'groene uitstraling' wordt bedoeld. Blauwkleuring van betonoppervlakken mag nooit aanleiding zijn voor discussies op de bouwplaats. Vanuit

esthetisch oogpunt is het de eerste tijd misschien niet fraai, maar bedenk dat na verloop van tijd de blauwe kleur volledig verdwijnt met daarvoor in de plaats een helder egaal betonoppervlak.

**6**  
Het verdient aanbeveling om het contactoppervlak op het tasveld zo klein mogelijk te houden. Hier opgelost met een kunststof oplegmateriaal met halve bollen

### Aandachtspunten

- Ontkisten van elementen bij gelijke rijpheid geeft een gelijke kleur.
- Om diep donkere blauwkleuring te voorkomen, moeten de elementen niet onnodig lang in de mallen blijven zitten.
- Extra vroeg ontkisten geeft wel een mooi licht oppervlak maar is niet bevorderlijk voor een goede kwaliteit van de buitenhuid.
- Oplegblokken voor opslag op het tasveld kunnen lelijke blauwe vlekken geven, dus het liefst een zo klein mogelijk contactoppervlak (foto 6).
- Om op het tasveld blauwkleuring als gevolg van plasjes regenwater (externe nabehandeling) te voorkomen, is het beter om een element met het 'zichtvlak' naar onderen op te slaan op het tasveld.
- Als de blauwkleuring na enkele dagen verdwenen is, komt het voor dat op het werk tijdens de bouwfase het betonoppervlak nog tegen schade wordt beschermd door het af te dekken met folie of vilten dekens. Niet zelden komt het voor dat na verwijdering van deze bescherming het betonoppervlak alsnog enige blauwkleuring vertoont.
- De blauwkleuring is niet altijd even egaal, maar vlekkelig. Dat komt omdat dan toch zuurstof bij het betonoppervlak heeft kunnen komen door een lokaal niet-luchtdichte afsluiting van de mal.

### Literatuur

Betoniek 9/24 Blauwkleuring

