

De SmartCrusher Groeve 2020

Marc Ottelé / Koos Schenk

www.slimbreker.nl

De SmartCrusher Groeve 2020

Betonpuin als de nieuwe CO₂ vrije groeve voor cementen productie

Inleiding

De cementindustrie was in 2000 wereldwijd verantwoordelijk voor circa 6% van de manmade CO₂ uitstoot en was daarmee destijds net zo verontreinigend als alle logistiek tezamen (alle auto's, schepen en vliegtuigen). Wereldwijd staat de productie van 1 Kg CEM I (Portlandcement) gelijk aan globaal 1 Kg CO₂ eq. Deze hoeveelheid wordt grotendeels veroorzaakt door de grondstof mergel (CaCO₃) en de benodigde energie om mergel om te zetten in klinker tijdens het productieproces van cement.

In de levenscyclus van beton kan er een fase onderscheiden worden waarin de functionele en/of functionele levensduur van een (beton)constructie niet meer toereikend zal zijn, waarna sloop zal volgen. In de huidige situatie wordt gebroken beton, als het al verwerkt (gerecycled) wordt, verder gebroken tot kleinere fracties beton met een maximale korreldiameter van ca. 40 mm. Deze stukjes beton, het zgn. betonpuin granulaat, kan verwerkt worden in wegfundaties en eventueel bij voldoende reinheid in nieuw beton als gedeeltelijk of volledige grindvervanger.

Een ongewenst bijproduct van het traditioneel breken van betonpuin tot granulaat is dat 40-50% als fijne fractie (0-4mm) vrijkomt waar tot op heden geen waardevolle bestemming voor is gevonden.

Kenmerkend voor deze fijne fractie is dat deze de breekmachines, verontreinigd en dat indien deze fijne fractie wordt opgeslagen (onder vochtige condities) verhard. Bijgevolg is dat deze fractie vaak nog een keer gebroken dient te worden wat veelal leidt tot een zeer lage tot negatieve economische waarde.

Voorts blijkt dat indien betonpuingranulaat wordt verwerkt in beton dit vaak leidt tot een hogere waterbehoefte, wat gecompenseerd dient te worden met meer cement (BETONIEK november 2011). Door het gebruik van meer cement draagt het daartoe niet bij aan een positieve ecologische of economische waarde. Ook kan de sterkte beïnvloedt worden doordat de cementsteen die nog aanwezig is in het betonpuingranulaat de zwakste schakel vormt bij belasting. Bij hogere vervangingspercentages (>50%) blijken er zich ook materiaaltechnologische veranderingen op te treden die vaak als ongewenst worden ervaren bij gewapende, maar vooral voorgespannen constructies. Onder andere de krimp- en kruipfactoren worden bij hogere percentages negatief beïnvloed (CUR aanbeveling 112). Deze notitie is geschreven naar aanleiding van een inmiddels bewezen en geoptimaliseerde methode om betonpuin te ontleden in de globale samenstellende delen bestaande uit: cementsteen, secundair zand en grind. Deze techniek staat bekend als het **SlimBreken** van beton.

Zoals omschreven leidt deze slimbreker technologie tot:

- het vrijmaken van cementsteen (waaronder ongehydrateerde cementdeeltjes) als zéér ecologische en economische grondstof voor nieuw cement en/of bindmiddel. Dit slimbreker cement is gipsvrij (bezit dus geen bindtijd regelaar) en kan direct gebruikt worden als cementvervanger, een grondstof voor nieuw Portlandcement maar ook als essentieel bestanddeel voor alternatieve cementen, naast vliegashoudende cementen, voor een nieuwe generatie geobinders. Voor deze toepassing is een thermische reiniger een uitgelezen instrument. (Zie ook Cement 4-2013; Slim breken sluit de materiaal kringloop)
- schoon en droog secundair zand en grind met betere eigenschappen dan het oorspronkelijke product.

De vrijgekomen cementsteen (het uitgereageerde cement) is een perfecte CO₂vrije vervanger van mergel waarmee de CO₂uitstoot van CEM I (Portland cement) in bestaande cementfabrieken ruim kan worden gehalveerd! (mergel =100% CaCO₃ -> 56% CaO + **44% CO₂**).

Bij toepassing van het secundaire (gerecycled uit beton) zand en grind in nieuw beton kan voor een gelijke sterkte ten opzichte van nieuw zand en grind ca. 15% cement bespaard worden of bij gelijk blijvend cementgehalte meer sterkte (+25%) worden verkregen t.o.v. een referentiemengsel.

Op essentiële gedeelten is deze notitie 'de SmartCrusher Groeve 2020' inmiddels besproken (2007) met de internationaal erkende cementtechnoloog Dr.ir. Mario R. de Rooij (senior onderzoeker bij TNO bouw- en grondstoffen en auteur van de speciale BETONIEK uitgave Cementsteen: basis voor beton).

2010

circa 6 Mio ton/jaar betonpuin
in Nederland

2020

circa 22 Mio ton/jaar betonpuin
in Nederland

(prognose VROM 2005 zie BETONIEK november 2011; Oud beton wordt jong beton)

Dit betonpuin is o.a. afkomstig uit de woningbouw, wegen, kunstwerken, etc.
Toegepaste betonkwaliteit B17,5 – B22,5 (320-340 Kg/m³ en wcf 0,54-0,51)

Beton is

Riviergrind, zand,
kwartsiet 150-300 N/mm² (gemiddeld ≥
200 N/mm²)

+

Water en
30+ jaar geduld/ervaring

=

40-70 N/mm²
betondruk sterkte

Droog cementpoeder ≥ 300 N/mm²

Ofwel minder dan een kwart van de sterkte van de samenstellende delen

Slim breken is niet beton breken in kleine stukjes beton van een bepaalde afmeting maar het betonpuin breken door de zwakste schakel (het cementsteen). Slim breken is het grind, zand en niet gehydrateerd cement los maken vanuit het cementsteen. Uit eigen onderzoek is gebleken dat volledig gehydrateerd cement minder dan 15 N/mm² druksterk is (10x minder sterk dan het zwakste grind) en een dichtheid van 1,8 – 2,0 Kg/l

Wat is nieuw cementpoeder (CEM I)

Zonder hier verder in te gaan hoe dit gemaakt wordt, is CEM I globaal samengesteld uit 4 verschillende cementmineralen welke na verwerkt te zijn met water in beton verschillend in sterkte bijdragen. De in deze notitie gesimuleerde chemische samenstelling stelt een cement voor van ongeveer 30 jaar geleden.

Het cement chemisch verhaal samengevat als droog CEMI, CEM I met water en 30+ jaar ervaring en (CEM I) cementsteen na dehydratatie bij zo'n 500 °C verhitting

Cementmineralen			De reactie van Cem I met water (H)			Na dehydratatie		
vóór reactie met water en na dehydratatie								
C ₃ S	55%	-	2C ₃ S + 6H	→	C ₃ S ₂ H ₃ + 3 Ca(OH) ₂	zal C ₃ S ₂ H ₃	→	C ₂ S + CS
C ₂ S	15%	28%	2C ₂ S + 4H	→	C ₃ S ₂ H ₃ + Ca(OH) ₂	zal Ca(OH) ₂	→	CaO
C ₃ A	10%	16%	C ₃ A + 6H	→	C ₃ AH ₆	C ₃ A		
C ₄ AF	10%	-	C ₄ AF + 2Ca(OH) ₂ + 10H	→	C ₃ AH ₆ + C ₃ FH ₆	C ₃ A + C ₃ F		
C ₃ F	-	7%	C ₃ A + 3CaSO ₄ + 32H	→	C ₃ A \underline{S} H ₃₂	C ₃ A + SO ₂		
CS	-	19%						
C	-	21% = CaO						
		= ongebluste kalk						
\underline{S}	2%	2%						

Na 24 uur zal C₃A \underline{S} H₃₂ deels overgaan in C₃A \underline{S} H₁₄ (mono sulfaat). Naast het bovenstaande zal er afhankelijk van cementklasse (A, B of C) en watercementfactor (wcf) altijd nieuw, ongehydrateerd cement overblijven.

In de BETONIEK (maart 1983) wordt aangetoond dat een beton samengesteld uit Portland A cement met een wcf van 0,53 nog zo'n 40% nieuw cement (ongehydrateerd) bevat.

Temperatuur invloeden op cementsteen en beton:

≤ 105°C	verdampen van vrij capillair poriën water
150 – 300°C	verdampen van allereerst fysisch en daarna chemisch gebonden water uit de CSH structuur (Jennite en Ettringiet)
300 – 400°C	verdere ontbinding van CSH structuur (tobermoriëet), oxideren van ijzerverbindingen (kleur van grijs naar roze rood)
400 – 500°C	ontbinding van Portlandite (Ca(OH) ₂) tot ongebluste kalk (CaO)
573°C	omzetting van kristallijn α kwarts naar amorf β kwarts met 5,7% volume toename
≥ 700°C	decarbonatatie van CaCO ₂
1100 – 1375°C	smelten van cement (Cem I smelt bij circa 1350°C)

'De SmartCrusher Groeve 2020'

Ter oriëntatie hoe groot deze groeve kan zijn de Nederlandse prognose. (Nederland is globaal 2% van de wereldmarkt). In Nederland zal er in 2020 circa 22 Mio ton betonpuin zijn. Dit betekent dat als deze 22 Mio ton **slim gebroken** zal worden met een oogst van 100% er zal worden vrijgemaakt:

- 17,6 Mio ton secundair zand en grind
- 4,4 Mio ton cementsteen – omgezet in een cementoven levert dit ca. 2,86 Mio ton cementklinker op.

Als voorbeeld: ENCI Maastricht produceerde in 2007 0,86 Mio ton cementklinker, wat overeenkomt met een cementoogst uit 6,6 Mio ton slim gebroken betonpuin/jaar.

De cementoven-route

Als CO₂ vrije grondstof voor de cementoven. Betonpuin cementsteen kan dus als 'voorgebakken brood' gezien worden, waarin alle ingrediënten al zitten en wat in de cementoven nog afgebakken moet worden. **De sterk verminderde CO₂ uitstoot door toepassen van betonpuin cementsteen biedt grote voordelen. Het verschil in CO₂ uitstoot in vergelijking met mergel is zelfs gigantisch te noemen. Als het betonpuin cementsteen de in de cementoven gestookt zou worden met biobrandstoffen, kan de CO₂ reductie oplopen tot nagenoeg 100%.**

Op deze manier kan het ovenbedrijf van een cementfabriek CO₂ neutraal zijn. Omdat in betonpuin cementsteen ook een klein beetje gips (CaSO₃) verwerkt zit, het S-gehalte, is het mogelijk om met biobrandstoffen te werken die een hoger alkali-gehalte hebben zonder dat dit aanleiding geeft tot problemen in het ovenbedrijf van de cementfabriek. Deze alkaliën, die normaliter in een cementoven aanleiding kan geven tot verstoppingen worden met dit extra sulfaat af gebonden tot alkali sulfaat en verlaten als cementmineraal de cementoven. Cementklinker maken is niet hetzelfde als een CEM I maken. Immers deze klinker moet nog fijn gemalen worden tot CEM I.

De mogelijkheden met het nieuwe ongehydrateerd cement

(met cementkwaliteit van 30+ jaar terug)

- A. Als puur cement al dan niet met vliegashoudend hoogovenslak en een klein beetje gips
- B. Als cement additief om als beginbinding versneller te worden ingezet (gipsvrij cement)
- C. Direct de windzeef in bij een cementfabriek na de cementmaal molen (met het gemalen cement mee naar de cementsilo)
- D. Terug de cementoven in als mergelvervanger

Scheiding ongehydrateerd cement van cementsteen na slim breken is zéér eenvoudig, maar hiervoor is wel een extra handeling en een extra silo nodig. Het hydraat is veel fijner (circa 3 µm versus 60 µm) en veel lichter (ρ1,8 à 2,0 versus 3,15 kg/m³) zodat het vrij eenvoudig middels windzeven (of iets dergelijks) te scheiden is.

Als niet de cementoven-route wordt gekozen

Dehydratatie van cementsteen zal onder de 500°C gebeuren terwijl de carbonatatie van C_aCO_3 boven de 600°C plaatsvindt. Gecarbonateerd cementsteen is dus reactief te maken zonder dat CO_2 vrij komt en kan dus ook als reactief zeer fijn materiaal verhandeld worden. Bijvoorbeeld als essentieel bestanddeel/als activator/als Ca-leverancier om met hoogovenslak en vliegas 'geobinder' cement te maken. (Cement 4-2014 Slim breken sluit de materiaal kringloop).

Na 7 dagen was al een aanzienlijke sterkte toename zichtbaar en bleek ook de 28 daagse druksterkte hoger. Toe te passen bij onder andere:

- Zelf verdichtend beton (ZVB)
- Versneller bij hoogoven cement
- Activator van vliegas
- Eco beton
- Ultra hoge sterkte beton
- Productie van een nieuw CEM II cement

Kortom, zowel voor gewapende als ongewapende beton toepassingen.

Door de bijzondere korrelopbouw (particle size distribution (PSD)) is de vrijgekomen cementsteen zeer geschikt als verbeteraar van betonmengsels, zeker als met superplastificeerders gewerkt wordt. Omdat er altijd meer C_3A in dit cementsteen zit dan in CEM I lijkt het ideaal om als PCE (superplastificeerder 'drager') te dienen en zal het bijzonder goed aan de verwerkbaarheid van beton kunnen bijdragen. Het hoge C_3A gehalte in het cementsteen zal ook met hoogovenslak meer en sneller sterkte ontwikkelen.

De CO_2 emissie (CER's) berekening na slim breken van betonpuin

Momenteel staat de CO_2 'prijs' sterk onder druk. Grotere internationale marktpartijen zoals Shell en Akzo, stellen zelfs dat deze verhoogt moet worden tot boven € 25/ton, wat neer komt op € 1 tot € 2,50/ton betonpuin. Als de eerder genoemde 22 Mio ton betonpuin slim gebroken wordt, vertegenwoordigt dit alleen al een waarde tussen de € 22 miljoen en € 55 miljoen.

‘Beter dan nieuw zand en grind’

Het door slim breken vrijgekomen secundaire zand en grind zal een minuscule PH-geëtste transition-zone blijven behouden, waardoor een veel betere begin- en eindsterkte bij wederom toepassing in beton ontstaat.

Bij toepassing van betonpuingranulaat, kleine stukjes beton, in plaats van grind levert een niet of nauwelijks economisch dan wel ecologisch voordeel op. Dit omdat de waterbehoefte van het ermee te maken beton negatief beïnvloed wordt. Deze hoge waterbehoefte moet dan gecompenseerd worden met –of- meer superplastificeerder –of- meer cement wat direct tot uiting zal komen in een kwantitatieve LCA benadering.

Bij toepassing van uit slim breken vrij gekomen zand en grind in nieuw beton zal ervoor zorgen dat de waterbehoefte niet stijgt. Door de verbeterde hechting aan het secundaire zand en grind zal na 7 dagen 1/3 meer sterkte en na 28 dagen 1/4 meer sterkte worden gevonden ten opzichte van nieuw zand en grind (bron: Kema Nederland/kringbouw). Deze ‘bijdrage’ kan ook geïnterpreteerd worden als: voor dezelfde sterkte kan 15% minder cement gebruikt worden.

Marc Ottelé / Koos Schenk