

Onderzoek naar toepassing nieuwe breektechniek: smart crushing

# Slim breken sluit materiaal- kringloop

*Recycling van bouw- en sloopafval (BSA) is een actueel en belangrijk thema in betononderzoek. Op Europees niveau is de jaarlijks geproduceerde hoeveelheid bouw- en sloopafval – op agrarisch afval na – de grootste afvalstroom.*

*Betongranulaat wordt hoofdzakelijk gebruikt als ongebonden funderingsmateriaal in de wegebouw. Een nieuwe breektechniek, genaamd smart crushing, opent de weg naar hoogwaardiger hergebruik.*

De TU Eindhoven onderzocht de geschiktheid van het, met deze nieuwe breektechniek verkregen, gebroken materiaal voor hergebruik zonder kwaliteitsverlies. Dat geldt zowel voor de toeslagmaterialen als voor de cementsteen. Door recycling kan cementsteen opnieuw een bindmiddelfunctie vervullen in beton.

In dit artikel wordt een beschrijving gegeven van de verkregen fracties gerecycled beton en wordt de analytische controle van het materiaal uitgelegd. Vervolgens worden de druksterke-resultaten gepresenteerd bij gebruik van het gerecyclede materiaal als bindmiddel, voor de activering van hoogovenslak of als zandvervanging.

## Breken en zeven

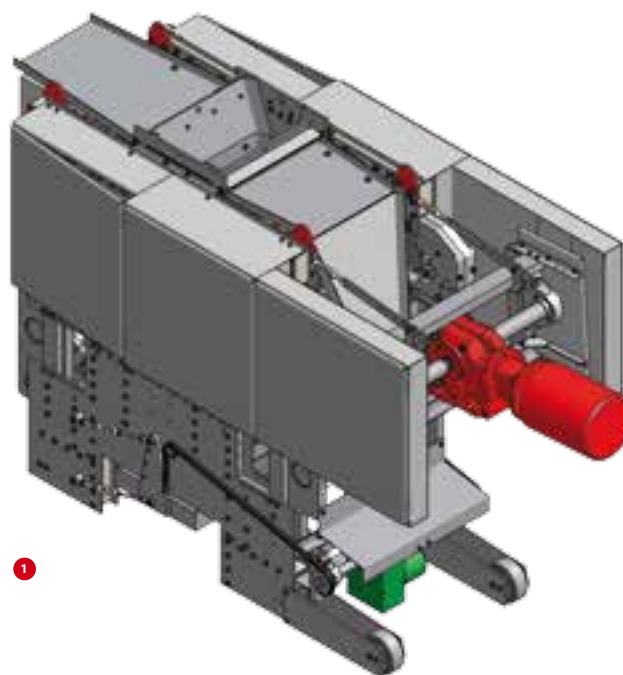
Het breken van de betonproefstukken werd uitgevoerd na 91 dagen verharding. Voor dit doel is een kaakbreker gebruikt. Het eenmalig gebroken materiaal – verder RC-1 genoemd – werd in 12 fracties drooggezeefd om de korrelgrootteverdeling te bepalen. De kleinste fractie is minder dan 150 µm en de grootste tussen 16 en 32 mm.

Daarna werd het materiaal teruggebracht naar de breker. Voor het verkrijgen van een optimaal resultaat is het materiaal in totaal tienmaal door de breker gehaald. Het zo verkregen materiaal, verder RC-2 genoemd, is daarna opnieuw gezeefd en verdeeld in dezelfde 12 fracties.

Tot slot is de nieuwe breker gebruikt, de Smart Crusher SC1. Deze innovatieve machine combineert malen en breken. De techniek is wereldwijd gepatenteerd. Conventionele brekers hebben als doel een bepaalde korrelgrootte te bereiken. De Smart Crusher echter heeft als doel beton te scheiden in zijn samenstellende materialen zand, grind en cement, met zo min mogelijk beschadiging van het granulaat. Daartoe wordt de breekkracht aangepast aan de korrelsterkte én aan de druksterkte van de cementsteen van het sloopbeton.

Gezien de beperkte grootte van het prototype Smart Crusher is het sloopbeton in eerste instantie vóórgebroken door de kaakbreker. Het verkleinde materiaal is vervolgens door de Smart Crusher gehaald. Betonbrokjes groter dan 2 mm zijn opgevangen en opnieuw toegevoegd.

Het aldus verkregen materiaal – verder RC-3 genoemd – is gezeefd in 13 fracties, de 12 oorspronkelijke plus een nog fijnere fractie 0-63  $\mu\text{m}$ .



De korrelgrootteverdelingen van zowel de oorspronkelijke betonsamenstelling als van RC-1, RC-2 en RC-3 zijn weergegeven in figuur 2. Zo kan worden vastgesteld dat de korrelverdeling van RC-3 dicht bij die van het oorspronkelijke mengsel ligt, in het bijzonder geldt dat voor het gebied groter dan 0,5 mm. Dit geeft aan dat de Smart Crusher inderdaad de toeslagmaterialen kan scheiden van de cementsteenmatrix.

### Gebruikte afkortingen

RC-1	Eenmalig gebroken beton door middel van een kaakbreker
RC-2	Tienmaal gebroken beton door middel van een kaakbreker
RC-3	Vóórgebroken beton dat vervolgens is gebroken door de Smart Crusher
TGA/DSC-methode	Thermogravimetrie (TGA) en Differentiële Scanning Calorimetrie (DSC)
XRF-test	Röntgenfluorescentiespectrometrie (methode om chemische samenstelling te bepalen)
XRD-test	Röntgendiffractie (methode om fasesamenstelling van mineralen vast te stellen)
RCF	Recycled Concrete Fines
RCF-500	Recycled Concrete Fines, thermisch bewerkt tot piektemperaturen van 500 °C
RCF-800	Recycled Concrete Fines, thermisch bewerkt tot piektemperaturen van 800 °C
PKVA	Poederkoolvliegias
OPC	Ordinary Portlandcement
RCS	Recycled Concrete Sand
SP	Superplastificeerder

### Thermische analyse

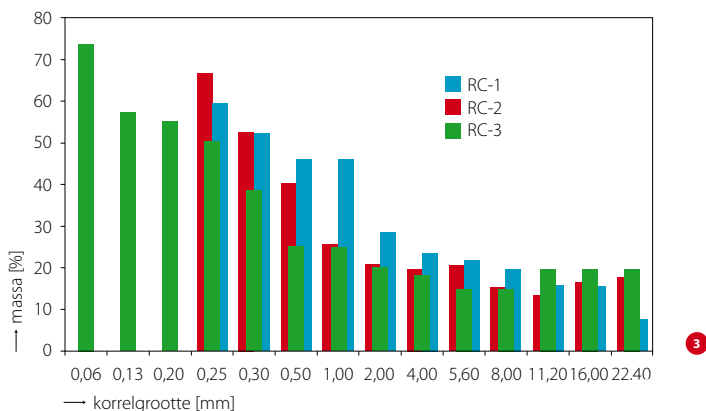
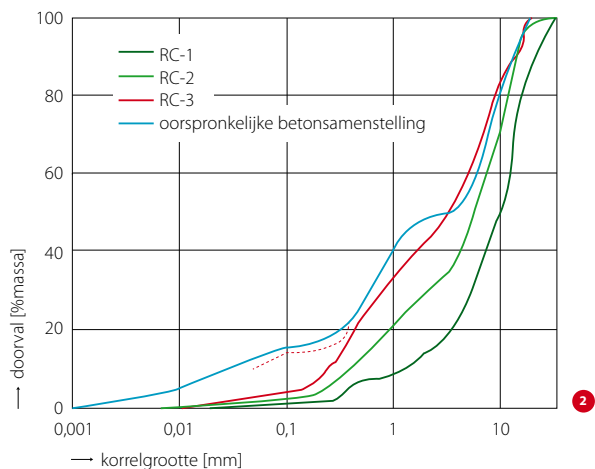
Met thermografische analyse en differentiële scanning calorimetrie (TGA/DSC) is de kwaliteit vastgelegd van de uiteindelijk verkregen fracties.

Kwaliteitscriterium is het gehalte aan  $\alpha$ -kwarts. Dit is namelijk een betrouwbare indicatie van de mate van beschadiging van zand en grindkorrels. Zand en grind bestaan immers voornamelijk uit siliciumdioxide in de vorm van  $\alpha$ -kwarts. In de fijnste fracties moet het gevonden  $\alpha$ -kwartsgehalte minimaal zijn, in de grove fracties maximaal.

De hoeveelheid  $\alpha$ -kwarts is in de test gerelateerd aan het door DSC gevonden piekgebied dat zich bevindt tussen 560 en 575 °C. Dit gebied is bepaald met zand en granulaat dat wordt toegepast in nieuw beton. Als controle is een XRF-test uitgevoerd om te bepalen uit hoeveel  $\text{SiO}_2$  het zand en granulaat bestaat en een XRD-test om te bevestigen dat de gevonden  $\text{SiO}_2$  daadwerkelijk uit  $\alpha$ -kwarts bestaat. Uit deze tests is gebleken dat zowel voor zand als granulaat 97-98% van de compositie is gerelateerd aan  $\text{SiO}_2$  in de vorm van  $\alpha$ -kwarts en dat het

2 Korrelverdeling van de drie materialen, in logaritmische schaal, de rode stippellijn geeft de verwachte korrelverdeling wanneer er geen materiaalverlies zou zijn

3 Cementsteengehalte van de gezeefde fracties RC-1, RC-2 en RC-3  
4 Prototypen van de Smart Crusher



verschil tussen de XRF- en DSC-waarden verwaarloosbaar klein is. Zo is vastgesteld dat de TGA/DSC-methode dus een goede manier is om snel en effectief de kwaliteit van het gerecyclede beton te bepalen.

Tot slot is een calibratiecurve gemaakt bestaande uit het percentage  $\alpha$ -kwarts van 0 tot 100% en het daarbij behorende piekgebied. Vervolgens zijn voor alle fracties de gevonden piekgebieden omgerekend naar het  $\alpha$ -kwartsgehalte (fig. 3).

### Resultaten thermische analyse

Bij RC-1 is een constante toename van  $\alpha$ -kwartsgehalte in oplopende korrelgrootte waarneembaar. Korrels boven 8 mm hebben een  $\alpha$ -kwartsgehalte hoger dan 80%. Het laagst geregistreerde  $\alpha$ -kwartsgehalte ligt op 40% (RC-1 0-150  $\mu$ m). Voor RC-2 ligt het  $\alpha$ -kwartsgehalte van korrels groter dan 1 mm vrijwel constant op ongeveer 80%. De kleinste fractie (0-150  $\mu$ m) heeft een  $\alpha$ -kwartsgehalte van 33%, ruim lager dan bij de RC-1 fractie.

Bij RC-3 blijken deeltjes kleiner dan 63  $\mu$ m het laagste  $\alpha$ -kwartsgehalte te hebben, namelijk 26% bij alle geanalyseerde monsters. De RC-3 fractie met het hoogste  $\alpha$ -kwartsgehalte is die tussen 5,6-8 mm, met 85,3%  $\alpha$ -kwarts. De maximale korrelgrootte in het mengsel was 8 mm. De fracties gebroken beton groter dan 8 mm bevatten dan ook nog een niet te verwaarlozen hoeveelheid cementsteen.

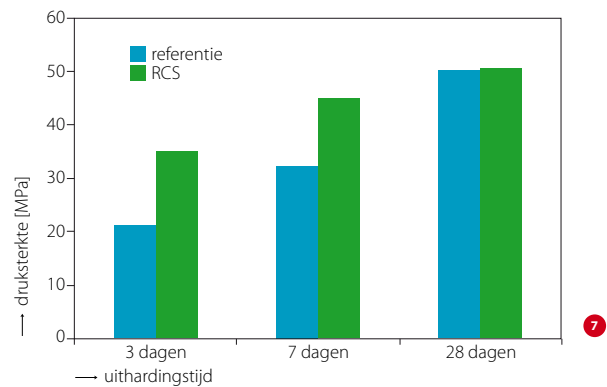
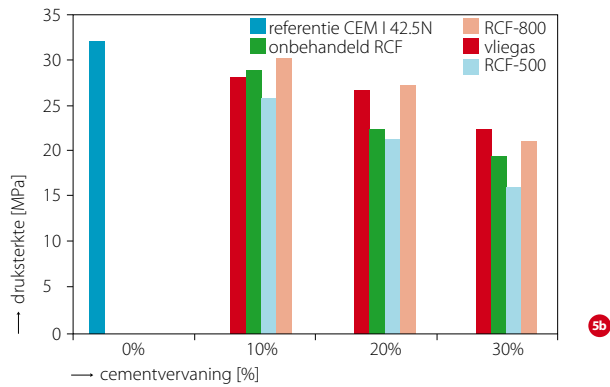
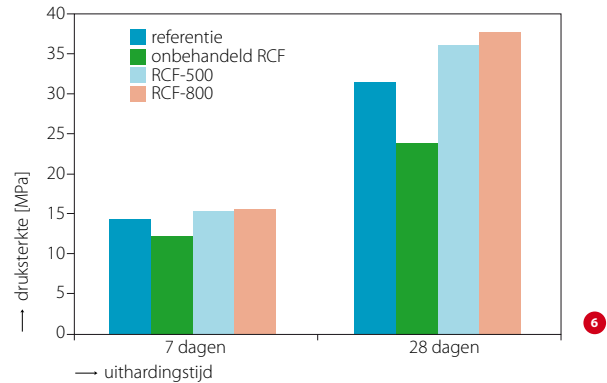
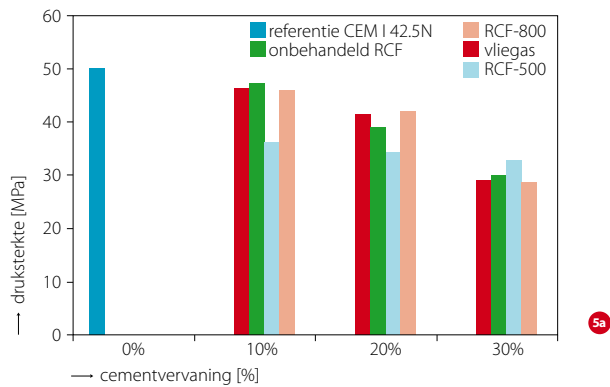
### Bindmiddelfunctie

Mortelonderzoek is uitgevoerd met een uitgezeefd deel van het RC-3 materiaal, namelijk de fractie kleiner dan 150  $\mu$ m, overeenkomend met de deeltjesgrootte van cement. Dit materiaal wordt verder RCF genoemd (Recycled Concrete Fines). Informatie over productie en eigenschappen van RCF kan worden gevonden in [2].

Voor dit onderzoek is het RCF-materiaal thermisch bewerkt, tot piektemperaturen van 500 respectievelijk 800  $^{\circ}$ C. Het verkregen materiaal wordt verder aangeduid als RCF-500 en RCF-800. Bij deze temperaturen worden belangrijke effecten waargenomen, namelijk de ontleding van  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  bij 500 en van  $\text{CaCO}_3$  bij 800  $^{\circ}$ C. Beide reacties produceren  $\text{CaO}$  en maken kleine hoeveelheden water respectievelijk  $\text{CO}_2$  vrij.



- 5 Resultaten mortelonderzoek: druksterkte na 7 (a) en 28 (b) dagen, voor mortels met gedeeltelijke vervanging van cement door RCF
- 6 Sterkteontwikkeling van de mengcementen, gemeten na 7 en 28 dagen verharding
- 7 Sterkteontwikkeling bij vervanging van normzand door RCS



De doelstelling van het mortelonderzoek was het vaststellen in welke mate de gemalen cementsteen, verkregen met de smart crushing techniek, een bindmiddelfunctie kan vervullen. Uitgangspunt was de standaardmortel volgens EN 196-1. Hierin is het portlandcement gedeeltelijk vervangen door de drie RCF-varianten, namelijk onbehandeld (RCF), behandeld bij 500 °C (RCF-500) en behandeld bij 800 °C (RCF-800). De vervangingspercentages bedragen 10%, 20% en 30%. Ter vergelijking is ook poederkoolvliegias (verder genoemd PKVA) gebruikt om dezelfde hoeveelheid cement te vervangen. Na 7 en 28 dagen verharding zijn de buigtreksterkte en druksterkte gemeten. Figuur 5 toont de druksterkteontwikkeling van alle mortels. In alle drie geteste vervangingspercentages heeft RCF-800 een vergelijkbare sterkte als vliegias, na 28 dagen verharding.

### Mengcement

In mengcementen wordt portlandcement gebruikt om latent hydraulische materialen te activeren. Onderzocht is in hoeverre RCF het portlandcement in mengcementen kan vervangen.

Als referentie is een mengsel gebruik van 70% hoogovenslak en 30% portlandcement (CEM I 42,5N).

RCF, zowel onbehandeld als thermisch behandeld, is ingezet om 33% van het portlandcement (OPC) te vervangen (dus de monsters met een samenstelling van 70% slak, 20% OPC en 10% RCF). De aangehouden water-bindmiddelratio is 0,5. Figuur 6 toont de sterkteontwikkeling van de diverse mengcementen. Daaruit blijkt dat toepassing van het onbehandelde RCF (zonder CaO) een negatief effect heeft. RCF-500 en RCF-800 hebben een positief effect, dankzij de aanwezigheid van vrije kalk ontstaan door de thermische behandeling.

### Vervanging van betonzand

Een deel van het onderzoek is gedaan op gerecycled betonzand, verkregen uit de Smart Crusher en wordt hier verder RCS (Recycled Concrete Sand) genoemd. RCS is gebruikt om 100% van het normzand te vervangen. Normzand is gebruikt als referentie. Om de hoge waterabsorptie van RCS te compenseren, is 1% (ten opzichte van de cementmassa) superplastificeerder (SP) toegevoegd om de verwerkbaarheid van de RCS-mortels te vergroten.



Figuur 7 toont de sterkteontwikkeling van mortels waarin normzand is vervangen door zand uit de Smart Crusher. Vastgesteld is dat RCS een positief effect heeft op zowel de buigtreksterkte als de druksterkte. Deze invloed is vooral te zien gedurende de eerste dagen van de verharding.

### Samenvatting en conclusies

De smart crushing techniek blijkt het sloopbeton veel beter te scheiden in de oorspronkelijke componenten dan de conventionele breker. De fijne fracties uit de Smart Crusher bezitten minder kwarts dan conventionele brekers en zijn daarom geschikter voor hergebruik dan het materiaal uit conventionele brekers.

- 1 In de fijne fracties uit de Smart Crusher is de hoeveelheid  $\alpha$ -kwarts (afkomstig uit zand en grind) aanzienlijk lager en de hoeveelheid cementsteen veel hoger (tot 50%) dan die in de fracties uit de conventionele breker.
- 2 De terugwinning van cementsteen is met de Smart Crusher ruim zeven keer beter.
- 3 Morteltesten laten zien dat de fijne fracties uit de Smart Crusher (zowel thermisch behandelde als de onbehandelde) een bindmiddelcapaciteit hebben. Tot 20% cementvervanging kunnen de mechanische eigenschappen van het eindproduct worden behouden.

### Slim breken en duurzaam bouwen met beton

Het artikel 'Slim breken sluit materiaalkringloop' van ir. Miruna Florea en prof.dr.ir. Jos Brouwers beschrijft een uitgebreid onderzoek door de TU Eindhoven, faculteit Bouwkunde, naar de kwaliteit van gerecycled betongranulaat zoals verkregen met de nieuwe smart crushing techniek. Het onderzoek is uitgevoerd in opdracht van de Theo Pouw Groep, Utrecht en Schenk Concrete Consultancy (SCC), Oss. De laatste is bedenker van het Smart Crusher concept.

Voorafgaand aan het onderzoek heeft SCC een kaakbreker (capaciteit 200 kg/h) gemodificeerd tot een prototype Smart Crusher. Met deze machine zijn de materialen geproduceerd ten behoeve van het onderzoek bij de TU Eindhoven.

De onderzoeksresultaten zijn gebruikt voor het verbeteren van de machinetechniek. Op basis daarvan is de eerste Smart Crusher 2.0 gebouwd in opdracht van recyclingbedrijf VAR bv, met een capaciteit van 40 ton/h. Deze machine zal medio 2013 operationeel zijn bij VAR te Wilp. De verwachting is dat deze installatie naast schoon zand en grind ook bijna zuivere cementsteen zal vrijmaken.

Als deze verwachting wordt waargemaakt, kan dat een nieuwe fase inluiden in de recycling en hergebruik van beton. De granulaten kunnen dan hoogwaardig worden ingezet, waardoor de materiaalkringloop kan worden gesloten. Dat zal een grote bijdrage zijn aan duurzaam bouwen met beton.

### Redactie

- 4 Thermisch behandelde, fijne fracties uit de Smart Crusher (zowel de tot 500 °C als de tot 800 °C behandelde materialen) kunnen bijdragen aan de activering van latent hydraulische hoogovenslak.
- 5 De onderzochte fijne fracties uit de Smart Crusher bevatten nog circa 30%  $\alpha$ -kwarts. Verdere vermindering van het silica-gehalte kan leiden tot betere prestaties van het gerecyclede materiaal.
- 6 De fijnste fracties uit de Smart Crusher kunnen gebruikt worden als vulstof met een bindmiddelfunctie, met een reactiviteit vergelijkbaar met commerciële vliegas.
- 7 Een andere optie is deze fracties terug te brengen naar de cementoven als CO<sub>2</sub>-vrije grondstof. ☒

### LITERATUUR

- 1 Schenk, Koos, Patent No. WO 2011/142663, 2011.
- 2 Ning, Zuokai, Thermal Treatment of Recycled Concrete Fines, Master Thesis, Eindhoven University of Technology 2012.