De originele Betoniek volgt na deze pagina

Bijschrift door SmartCrusher bv op Betoniek november 2011

Wat is het verschil tussen SlimBreken, de ADR en Kringbouw

1. **SlimBreken** is een "breker", ofwel hoe maak je "groot betonpuin, grind, zand en cementfracties"
2. De **ADR** maakt deel uit van de "zeven of scheiders", ofwel hoe grove delen scheiden van fijne delen
3. De site www.**kringbouw**.nl is offline. Het meest recente dat via zoekmachines te raadplegen is, is deze Betoniek.

"SlimBreker en ADR zijn niet vergelijkbare machines met een verschillende functie!"

1. De **SlimBreker** van **SmartCrusher bv** is specifiek ontwikkeld om beton circulair te maken. Zeker als de CO_2 vrije grondstof route voor nieuw cement wordt gekozen is het cruciaal om het cement zo zuiver mogelijk, zonder fijn gebroken zand terug te winnen. Naast dit (gebruikte) cement hydraat zit in betonpuin globaal 40-50% ongebruikt cement, dat dus direct opnieuw bruikbaar is. Om deze reden is het belangrijk het betonpuin droog te verwerken. **De SlimBrekers werken zonder stofoverlast te veroorzaken in gesloten containers**.

   De SlimBreker kan gevoed worden met betonpuin 0-150mm. Het grote voordeel van deze relatief grove feed is het kleine specifieke oppervlak en daardoor kleine natte oppervlak. Als "bijproduct" is warmte ontwikkeling in de SlimBreker waardoor **het vrijgemaakte grind, zand, cementsteen en ongehydrateerde cement droog de SlimBreker verlaat**. In de SlimBreker 2.0 (Q4 2015) wordt reeds een scheiding gemaakt tussen nog nieuw ongebruikt cement en cement hydraat (zie ook De SmartCrusher Groeve 2020 bij de downloads op de website). In tegenstelling tot alle bekende traditionele brekers/crushers is de SlimBreker ontwikkeld om beton circulair te maken en niet ontwikkeld voor/vanuit de mijnbouw. Traditionele brekers breken van groot naar klein vaak dwars door het zand en grind heen. De SlimBreker breekt uitsluitend het cementsteen en laat het zand en grind onbeschadigd.

2. De **ADR** van **C2CA International bv** is een scheiding techniek voor moeilijk van elkaar te separeren delen. Aanvankelijk om metaalfracties uit bodemassen terug te winnen.

   De ADR is een zogenaamde ballistische/kinetische scheider opgebouwd rondom een snel draaiend schoepenrad dat aardvochtige mengsels wegslaat waardoor tijdelijk de 'kleefkracht' van het water lensje dat de verschillende delen aan elkaar plakt overwonnen wordt. Op deze manier kan een zekere scheiding worden verkregen die met zeven van dergelijke aardvochtige mengsel moeilijker is De ADR techniek is een keuze om vochtige, middels **traditionele brekers** verkregen 0 – 16 mm mengsels te scheiden.

"SlimBreken en de ADR zijn niet complementair"

BETONIEK
vakblad over technologie en uitvoering van beton

Band 15
Uitgave 19

Oud beton wordt jong beton

Over de herkomst, de productie en de toepassing van betongranulaat

november 2011

Oud beton wordt jong beton

Beton staat bekend om zijn lange technische levensduur. Dit bereiken we door zorgvuldig te zijn bij het samenstellen ervan: we selecteren alle benodigde grondstoffen op hun bijdrage aan de vereiste betoneigenschappen. Op dit moment zijn we goed in staat om beton op prestatie te ontwerpen van relatief eenvoudig tot soms uitermate complex. De uitdaging voor nu en in de toekomst is dat we hierbij steeds vaker rekening moeten houden met het milieu. Maar natuurlijk moet een milieuvriendelijk beton ook een beton zijn met een lange technische levensduur. Er mogen geen concessies gedaan worden aan welke betoneigenschap dan ook.

foto voorpagina: Betongranulaat na breken en wassen met enkele stukjes elektriciteitsdraad en andersoortig steenachtig materiaal (baksteen etc.)

Voor de betonindustrie is het sluiten van de materiaalkringloop een belangrijk en voor de hand liggend instrument om te komen tot een lagere milieubelasting. We bouw(d)en betonnen constructies van hoge kwaliteit. Als op enig moment wordt besloten tot sloop, is dat vaak om een andere reden dan dat de betonnen constructie aan het einde is van zijn technische levensduur. Het toegepaste beton presteert, in termen van sterkte en levensduur, na vele tientallen jaren nog net zo goed als aan het begin van zijn functionele periode. Waarom zouden we een materiaal in een prima conditie als ongewenst van de hand doen? Een overbodig geworden betonnen constructie kan na zijn functionele leven prima worden omgevormd tot een hoogwaardige grondstof en zo aan de wieg staan van een tweede leven. Door betonnen constructies na hun gebruiksfase 'slim' te slopen en het vrijkomende materiaal te bewerken tot betongranulaat kunnen we dit inzetten als toeslagmateriaal in nieuw beton. In deze *Betoniek* geven we een overzicht van de herkomst, de productie en de toepassing van betongranulaat.

Duurzaam(heid) en levensduur

Levensduur: de tijd waarin een betonnen constructie technisch functioneert.
Engels: durability.

Duurzaam(heid): Voorzien in de behoeften van huidige generatie zonder daarmee voor de toekomstige generaties de mogelijkheden in gevaar te brengen ook in hun behoeften te voorzien. Engels: sustainability (definitie van de VN-commissie Brundtland uit 1987).

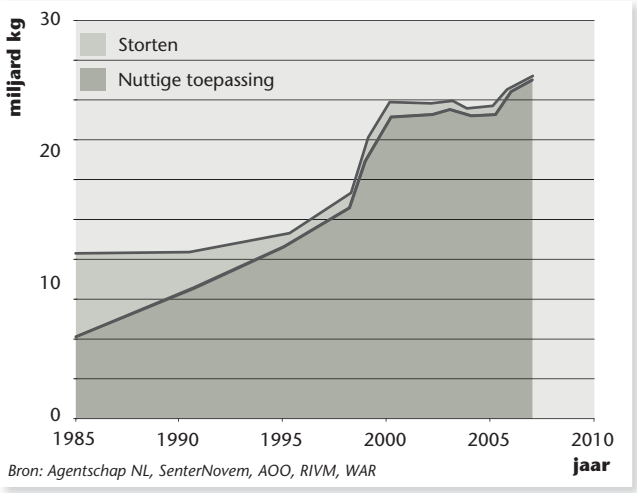
1
De nieuwbouw voor het Nederlands Instituut voor Ecologie draagt bij aan de kennisontwikkeling op het gebied van duurzaam bouwen. Hier is onder meer ook betongranulaat toegepast

Waarom hergebruik?

De wereldbevolking groeit in rap tempo en dit geeft een enorme druk op de beschikbare grondstoffen. Om voor generaties na ons nog wat na te laten, moeten we een groot aantal zaken anders aanpakken. Zo zullen we bijvoorbeeld grondstoffen terug moeten winnen uit producten die aan het einde zijn gekomen van hun gebruiksfase. Ook in de bouw is er een toenemende aandacht voor hergebruik van bij sloop vrijkomende materialen. Figuur 2 laat zien dat er op dit moment nauwelijks nog bouw- en sloopafval wordt gestort in vergelijking met 1985.

Als gevolg van het stortverbod is hergebruik de belangrijkste optie. Het verbranden van bouw- en sloopafval was altijd al verwaarloosbaar klein en vindt op dit moment helemaal niet meer plaats. Het beleid van de overheid heeft dus resultaat gehad. Het is te hopen dat de recente toename in verbrandingscapaciteit en daardoor lagere verbrandingstarieven dit beeld niet zullen verstoren.

2
Vrijkomen en verwerking bouw- en sloopafval



Bron: Agentschap NL, SenterNovem, AOO, RIVM, WAR

Omdat storten geen optie is en omdat de gangbare toepassingen van recyclinggranulaten niet meer het volume vrijkomend steenachtig afval kunnen opnemen, is het gewenst te kijken naar alternatieve toepassingsmogelijkheden, zoals in beton.

Betongranulaat als toeslagmateriaal voor beton

Voordat we de productie en het transport van betongranulaat bespreken, gaan we eerst in op de situatie in de historie en het heden.

Historie

Het gebruik van betongranulaat als toeslagmateriaal in beton is niet nieuw. Al in de jaren zeventig werd onderzoek gedaan naar deze mogelijkheid. In 1984 resulteerde dit in het verschijnen van de CUR-Aanbeveling 4 'Betonpuingranulaat' als toeslagmateriaal voor beton.

De Gemeente Rotterdam heeft in deze ontwikkeling een voortrekkersrol gespeeld. Rond het verschijnen van CUR-Aanbeveling 4 heeft zij een aantal proefprojecten aangewezen om ervaring op te doen. Het betrof hier eenvoudige toepassingen.

- Stootplaten metrobouw Rotterdam – 1982
- Fundatieplaten windschermen Callandkanaal – 1985
- Pijlers viaduct Doenkade Rotterdam – 1987

De ervaringen uit de proefprojecten gaven aanleiding op grotere schaal demonstratieprojecten uit te voeren waarbij steeds 20% (*v*/*v*) van het grind werd vervangen door betongranulaat. Het betongranulaat voldeed hierbij steeds aan CUR-Aanbeveling 4. Deze projecten werden door CUR begeleid en de ervaringen werden in projectrapporten vastgelegd. Enkele voorbeelden zijn:

- Politiebureau te Hoogvliet – 1988
- Brug Brainpark Rotterdam – 1989
- Viaduct Welplaatweg Botlek – 1991
- Woningbouw 'Ecodus' Delft – 1991

De resultaten uit de demonstratieprojecten laten zien dat er geen significante verschillen waren met grindbeton ten aanzien van de volgende eigenschappen:

- wcf;
- mogelijkheid tot verdichten;
- verpompbaarheid;
- sterkteontwikkeling;
- karakteristieke druksterkte;
- visueel (op vlekken, verkleuringen e.d.);
- duurzaamheid (kunnen voldoen aan de maximale wbf voor de betreffende milieuklasse).

Zie ook het kader Verwerkingseigenschappen.

Verwerkingseigenschappen

Uit diverse onderzoeken is gebleken dat 20% (*v*/*v*) grindvervanging door betongranulaat nauwelijks invloed heeft op verwerkbaarheid, verdichtbaarheid en verpompbaarheid van betonspecie. Dit is onder meer onderzocht bij demonstratieprojecten waarbij betonspecie met en zonder 20% betongranulaat is afgewisseld.

Geschikt betongranulaat

Geschikt betongranulaat is betongranulaat:

- dat voldoet aan NEN-EN 12620-1 / NEN 5905 (CE markering);
- dat voldoet aan CUR-Aanbeveling 112 'Beton met betongranulaat als grof toeslagmateriaal;
- dat wordt geleverd wordt onder KOMO-productcertificaat waarin de milieuhygiënische en technische specificaties zijn vastgelegd en getoetst aan de BRL 2506.

De start om betongranulaat toe te passen als toeslagmateriaal in beton was voortvarend en de eerste resultaten waren positief en veelbelovend. Een echte doorbraak in de toepassing bleef echter uit. Hiervoor is een aantal redenen aan te wijzen.

Beperkte beschikbaarheid van geschikt betongranulaat
Zowel de beschikbaarheid in volume als in continuïteit van leveren liet wel eens te wensen over. Om over betongranulaat te kunnen beschikken moet er eerst een betonnen constructie worden gesloopt. Dit is geen continu proces. Hierdoor bleek betongranulaat meer niet dan wel verkrijgbaar en nam de interesse om hier beleid op te ontwikkelen (bestekmatig voorschrijven) af. In feite was hier sprake van een kip-ei situatie. Bij uitblijvende vraag naar betongranulaat (dat geschikt is voor toepassing in beton), zijn de leveranciers en slopers niet direct genegen dit materiaal selectief te slopen, apart te houden en op te werken. We zien dat onder de huidige trend naar duurzaamheid de vraag op gang komt en daarmee ook de beschikbaarheid.

De prijs van betongranulaat
Bij de productie van betongranulaat uit betonpuin komt veel fijn materiaal vrij (ca. 50% van het oorspronkelijke volume). Deze fijne fractie is moeilijker afzetbaar: er moeten alternatieven voor worden gevonden die minder opleveren. Toepassen van de fijne fractie is overigens vanuit het oogpunt van mengselopbouw goed mogelijk. Het probleem zit vaak in de hanteerbaarheid (opslag en de verwerkbaarheid van betonspecie). Indien de fijne fractie kan worden toegepast heeft dit een gunstig effect op de kostprijs.
Verder vereist de toepassing in beton een dusdanig schoon product, dat reiniging, bijvoorbeeld door middel van wassen, meestal nodig blijkt. Hierdoor blijft de producent van betongranulaat zitten met het residu (slib) waarvoor hij geen bestemming heeft en wat hij tegen hoge kosten moet storten. Deze kosten worden in de vraagprijs doorberekend.

Voldoende beschikbaarheid van grind
In tegenstelling tot wat werd verwacht, bleef de beschikbaarheid van grind op het oude (toerijkende) niveau. Hierdoor moest granulaat tegen scherpe grindprijzen concurreren.

De grote behoefte aan funderingsmateriaal in de vorm van menggranulaat voor de wegenbouw
Menggranulaat is een mengsel van metselwerkgranulaat en betongranulaat. De aanwezigheid van betongranulaat is voor deze toepassing wenselijk omdat deze nog enige 'bindende' eigenschappen bezit die bijdragen aan de stabiliteit en draagvermogen van de wegfundatie. Afzet naar de wegenbouw is derhalve tot heden de eerste keuze gebleven.

Verontreinigingen
Hoewel het betongranulaat gereinigd werd, kon niet worden uitgesloten dat er verontreinigingen in de vorm van lichte en/of poreuze bestanddelen aanwezig waren. Deze verontreinigingen kunnen leiden tot schade aan het betonoppervlak in de vorm van putjes of tot een verminderde levensduur van de constructie. Dit laatste is het geval als poreus materiaal zich in de dekking bevindt en zo een brug (voor vocht, chloriden en CO_2) kan slaan naar de wapening.

Heden

Op dit moment staat de toepassing van betongranulaat als toeslagmateriaal in beton opnieuw in het brandpunt van de belangstelling. Dit wordt sterk gestimuleerd door initiatieven van overheden en maatschappelijke ontwikkelingen. Daarnaast is nog een aantal oorzaken voor de stijgende toepassing van betongranulaat te noemen:

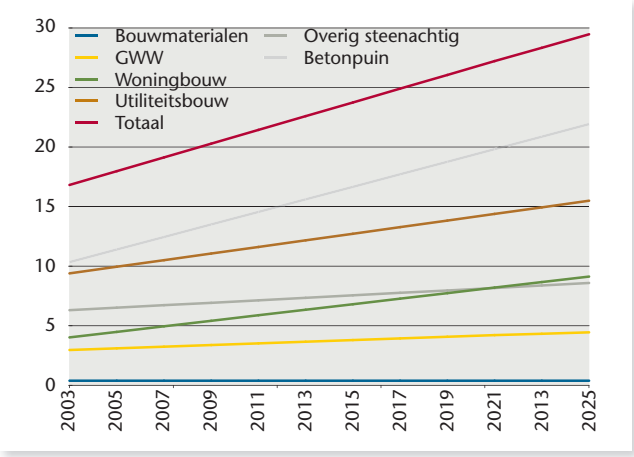
- Toenemende beschikbaarheid van geschikt betongranulaat (zie kader Geschikt betongranulaat)
- Positieve ervaringen met betongranulaat als grindvervanger
- Nieuwe, betere scheidingstechnieken (kwaliteitsimpuls)
- Verwachte afnemende vraag vanuit de wegenbouw
- Verschijning CUR-Aanbeveling 112 'Beton met betongranulaat als grof toeslagmateriaal'

Herkomst en hoeveelheden betongranulaat

In 2005 heeft er een scenariostudie plaatsgevonden die antwoord geeft op de vraag hoe het aanbod van steenachtig bouw- en sloop afval (BSA) zich in de komende twee decennia zal ontwikkelen. Figuur 3 laat zien dat er een forse groei in het totale aanbod te verwachten is tot circa 30 Mton in 2025 (t.o.v. circa 17 Mton in 2003). Dit is het gevolg van een toenemende sloopactiviteit in Nederland.

Het aandeel betonpuin hierin zal eveneens fors toenemen terwijl het aandeel overig steenachtig puin niet of nauwelijks stijgt als gevolg wijzigend materiaalgebruik in het verleden (eerst relatief veel baksteen en later steeds meer beton). Het aandeel betonpuin verdubbelt grofweg van circa 11 Mton naar 22 Mton.

3
Weergave ontwikkeling aanbod steenachtig BSA (excl. asfalt en puinfunderingen)



Het betekent niet dat alle beschikbare betonpuin wordt verwerkt in beton. Van betonpuin blijft na bewerking circa 50% over als betongranulaat. Van de 11 Mton betonpuin die in 2003 beschikbaar was is circa 0,4 Mton als betongranulaat verwerkt in beton. In 2025 zal naar verwachting circa 6,6 Mton van de beschikbare 22 Mton betonpuin als betongranulaat in beton worden verwerkt. De rest vindt, als relatief laagwaardige toepassing, zijn weg naar andere sectoren zoals de (wegen)bouwsector als funderings- en ophoogmateriaal. Ter vergelijking: voor betonmortel en betonwaren is in de periode tot 2025 jaarlijks zo'n 18 Mton grind nodig. In hoeverre de huidige economische situatie hierop van invloed zal zijn, is moeilijk te voorspellen, omdat dit zowel effect heeft op het sloopvolume als het bouwvolume.

Productie van betongranulaat

We weten nu waar het granulaat vandaan komt. Maar hoe wordt het geschikt gemaakt voor beton?

Herkomst

De herkomst van beton dat wordt verwerkt tot betongranulaat kan verschillen. Zo kan het beton afkomstig zijn uit productieverliezen van betonmortelcentrales en betonwarenfabrieken of van bouw- en sloopafval. Het eerste geval levert mooi schoon materiaal op omdat dit niet verontreinigd is met andere (steenachtige) materialen. In het andere geval is de kans aanwezig dat er verontreiniging plaatsvindt met andere (steenachtige) materialen. Bij bouw- en sloopafval is de mate van verontreiniging erg afhankelijk van de wijze waarop constructies worden gesloopt. Indien voorafgaand aan de sloop rekening wordt gehou-

den met het hergebruik van het vrijkomende materiaal en men vakkundig en selectief sloopt, wordt vermenging met andersoortige materialen voorkomen. Dit vereenvoudigt het productieproces van betongranulaat aanzienlijk doordat er minder hoeft te worden gescheiden.

Uit het geselecteerd ingezamelde betonpuin kan men op verschillende wijze geschikt betongranulaat maken. In deze *Betoniek* behandelen we er drie:

- Breken, zeven en wassen
- ADR (Advanced Dry Recovery) techniek
- Thermische behandeling (het kringbouwconcept)

Breken, zeven en wassen

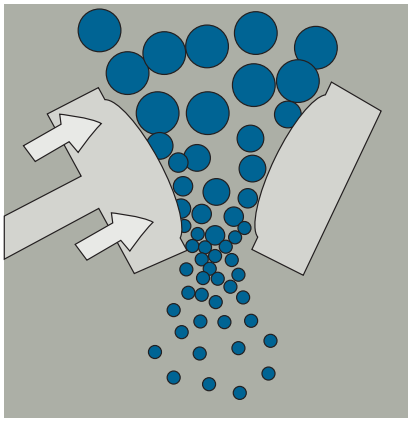
Deze productietechniek is onder te verdelen in een breek-, een zeef- en een wasproces.

Breken

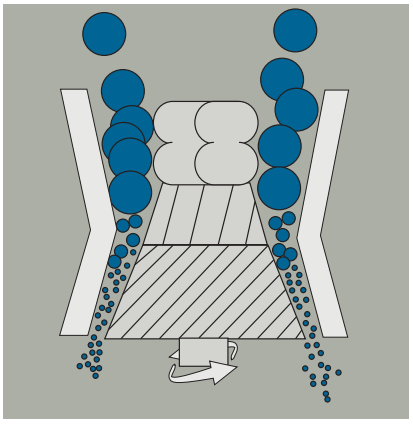
Het betonpuin wordt meestal gebroken tot een korrelgrootte van 0/32 mm. De meeste installaties beschikken over een roterende breker of een kaakbreker. Soms worden kegelbrekers ingezet.

Bij een kaakbreker geldt dat het materiaal wordt gebroken tussen twee stijve platen (fig. 4). De opstelling bestaat uit een vaste plaat die dienst doet als stationair breekoppervlak en een beweegbare kaak die de kracht uitoefent om het materiaal te breken. Het materiaal wordt gebroken door samendrukking. De diameter van de gebroken korrels is gelijk aan de opening onderaan de kaakbreker. Zolang de brokken puin niet de gewenste afmetingen hebben, blijven ze in de breker zitten. Doordat de kaakbreker geschikt is om grote brokken puin te breken, wordt hij vaak als primaire breker gebruikt. Een nadeel aan de kaakbreker is dat platte stukken toch door de opening onderaan kunnen zonder dat ze gebroken zijn. Bij een roterende breker draait een trommel met hoge snelheid rond. Daarbij worden de steenstukken tegen breekplaten geslagen waardoor deze breken. De uitvoeropening van de trommel bepaalt de maximum deeltjesgrootte. De rotatie en vulling van de trommel bepalen de verdere gradering. Deze breker levert meer kubische (vierkante) deeltjes op.

Bij een kegel- of conusbreker bevindt zich een afgeknotte kegel rondom een excentrische as binnen een mantel die de vorm heeft van een omgekeerde afgeknotte kegel, zodat de ruimte tussen beide kegels voortdurend verandert (fig. 5). Het breken wordt veroorzaakt door het openen en sluiten van de ruimte



4
Kraakbreker



5
Kegelbreker

tussen de binnenste en buitenste kegel. Tijdens dit proces vallen de brokken steeds een beetje lager waardoor ze verder worden verkleind. Dit gaat zo door totdat de gewenste diameter is bereikt. De juiste diameter wordt verkregen door de afstand te regelen tussen beide kegels. Ook deze breker levert meer kubische deeltjes op.

Zeven

Binnen het breekproces wordt met een magneet eventueel ijzer verwijderd. De lichte bestanddelen zoals hout en kunststof, worden met een windzifter afgescheiden. Na het breken wordt het granulaat afgezeefd, waardoor een fijne fractie (0/4) ontstaat en één of meer grovere fracties (meestal 4/16 en of 4/32).

Wassen

Na het breken en zeven bestaat er nog steeds een kans dat er te veel verontreinigingen in het betongranulaat aanwezig zijn, in de vorm van houtdeeltjes, kunststofdeeltjes enz. Daarom wordt het grovere toeslagmateriaal gewassen. Nadeel van wassen is dat er slib ontstaat waarvoor nog geen hoogwaardige toepassing bestaat (zoals eerder vermeld). Er zijn verscheidene wasprincipes, variërend van eenvoudige flotatietechnieken (hier wordt met een krachtige waterstraal het lichte drijvende materiaal gescheiden van het zwaardere) tot complexe wasinstallaties. Dit zijn veelal individueel ontworpen installaties.

6
Advanced Dry Recovery methode

Advanced Dry Recovery methode

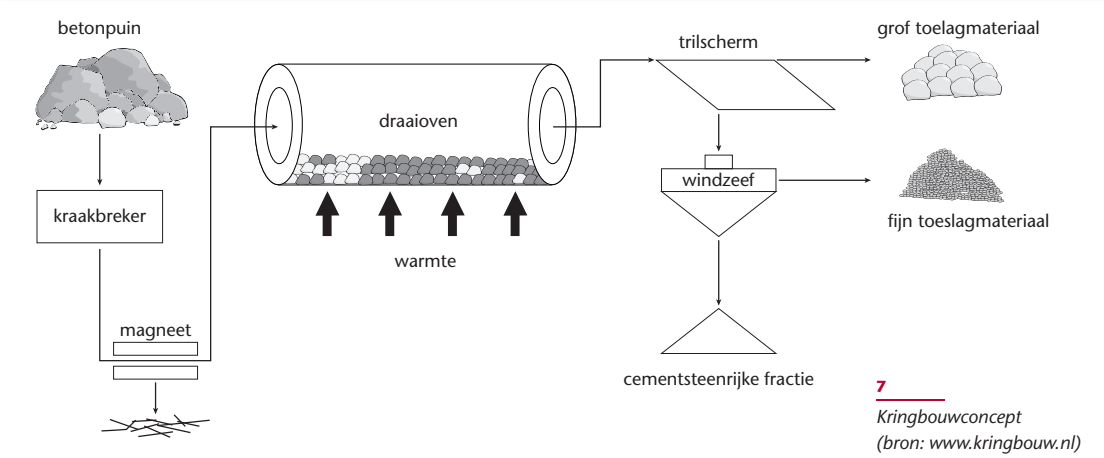
De Advanced Dry Recovery methode is een methode waarbij gebroken betonpuin droog wordt gereinigd. De installatie (foto 7) wordt gevoed met gebroken betonpuin 0/16 en dit wordt vervolgens gescheiden in een grove (2/16) en een fijne fractie (0/2). Dit geschiedt op basis van soortelijk gewicht en afmetingen van de korrels. Het systeem brengt de ongewenste (lichte) bestanddelen onder in de fijne fractie. Het resultaat is een zuivere grove fractie die uitstekend als grindvervanger in beton kan dienen. Er is op dit moment onderzoek gaande om na te gaan of de fijne fractie na bewerking (malen en branden) kan worden ingezet bij de productie van cement. Een werkende ADR-installatie wordt op dit moment in de praktijk getest. Een groot voordeel van deze methode is dat er geen slibresidu ontstaat.

Thermische behandeling (kringbouwconcept)

Bij een thermische behandeling wordt schoon betonpuin (gebroken, gezeefd en gewassen) door middel van een thermisch proces ontleed in de oorspronkelijke componenten, met als doel die hoogwaardig te hergebruiken bij de productie van nieuw beton. Hiervoor wordt het grove betonpuin opgewarmd tot een temperatuur van > 600 °C, waardoor het cementskelet wordt ontleed en het materiaal gemakkelijk mechanisch is te verkleinen. Dit levert mooi schoon grind en zand en een zeer fijne cementsteenrijke fractie. In feite is hier niet meer sprake van betongranulaat maar van uit betonpuin teruggewonnen zand en

Tabel 1 **Vergelijk productiemethode**

	gradering	waterabsorptie	beschikbaarheid	verontreinigingen	slibresidu
breken, zonder wassen	goed	hoog	goed	meer	nee
breken / wassen	goed	hoog	voldoende	minder	ja
Advanced Dry Recovery	goed	minder	beperkt	minder	nee
thermische reiniging	goed	nauwelijks	niet	nauwelijks*	nee
* praktisch schoon zand en grind zonder cementsteen					



7
Kringbouwconcept (bron: www.kringbouw.nl)

grind. Dit secundaire zand en grind kan 100% primair zand en grind vervangen. In figuur 7 is het principe van dit proces weergegeven. De cementsteenrijke fractie kan mogelijk worden ingezet als grondstof bij de productie van cement. Uit onderzoek blijkt dat de bindmiddelbijdrage vooralsnog beperkt is. Nader onderzoek door marktpartijen is nodig. Ook bij deze methode geldt het voordeel dat er geen slibresidu ontstaat.

Vergelijking methoden

Als we de drie methoden met elkaar vergelijken komen we tot het overzicht uit tabel 1.

Transport, opslag en mengen

Nadat het betongranulaat is geproduceerd moet het nog naar de betoncentrale of betonfabriek worden getransporteerd. Dit kan, afhankelijk van de situatie, per schip of per as. Tijdens het transport mag het betongranulaat niet verontreinigd raken met andere (voor beton schadelijke) stoffen, het vervoermiddel moet dan ook leeg en schoon zijn.

Het betongranulaat wordt op de centrale of fabriek apart opgeslagen. Het betekent wel dat een betonmortelcentrale of betonfabriek over de mogelijkheden moet beschikken deze extra grondstof te verwerken. Zand en grind blijven immers ook nodig. Om schommelingen in de consistentie van betonspecie tegen te gaan (betongranulaat is enigszins poreus en neemt daardoor makkelijk een deel van het aanmaakwater op) verdient het aanbeveling betongranulaat niet te droog te doseren en eventueel vóór gebruik te bevochtigen. Vanuit de opslag wordt het betongranulaat met

Betongranulaat en regelgeving

NEN-EN 12620 en NEN 5905

Betongranulaat moet voldoen aan NEN-EN 12620 en NEN 5905.

NEN-EN 206-1 en NEN 8005

Volgens de NEN-EN 206-1 en NEN 8005 mag ten hoogste 20% (*v*/*v*) van het grove harde dichte toeslagmateriaal vervangen worden door betongranulaat.

CUR-Aanbeveling 112

CUR-Aanbeveling 112 'Beton met betongranulaat als grof toeslagmateriaal' maakt het mogelijk grove harde dichte toeslagmaterialen volledig door betongranulaat te vervangen. Er gelden wel voorwaarden. Indien het betongranulaat voldoet aan de in de CUR-Aanbeveling 112 gestelde eisen en er maximaal 50% (*v*/*v*) van het harde dichte toeslagmateriaal wordt vervangen verwacht men dat de eigenschappen van beton zo weinig veranderen dat NEN-EN 1992 'Ontwerp en berekening van betonconstructies' (Eurocode 2) ongewijzigd van toepassing is. Bij vervangingspercentages tussen de 50% en 100% zijn de aangepaste rekenregels van kracht zoals die in de CUR-Aanbeveling 112 zijn opgenomen. Zo is bijvoorbeeld de krimp en kruip van beton met betongranulaat hoger dan die van grindbeton, bij een vervangingspercentage van > 50% (*v*/*v*) zijn daarom in de CUR-Aanbeveling correctiefactoren opgenomen. De CUR-Aanbeveling 112 is van toepassing op de sterkteklassen C12/15 t/m C53/65 en alle milieuklassen, indien het vervangingspercentage beperkt blijft tot maximaal 50% (*v*/*v*). Bij vervanginspercentages > 50% (*v*/*v*) worden de milieuklassen XD en XS uitgesloten.

Tabel 2 **Eisen bij verschillende vervangingspercentages**

vervanginspercentage	regelgeving
0 t/m 20% (*v*/*v*)	NEN-EN 206-1 en NEN 8005, geen toestemming van opdrachtgever nodig. Levering onder KOMO-certificaat op gebruikseisen.
21 t/m 50% (*v*/*v*)	CUR-Aanbeveling 112, geen aanpassing van rekenregels. Toestemming van opdrachtgever nodig. Levering onder KOMO-certificaat op samenstelling.
51 t/m 100% (*v*/*v*)	CUR-Aanbeveling 112, met toepassing van de aanpaste rekenregels. Toestemming van opdrachtgever nodig. Levering onder KOMO-certificaat op samenstelling.

8
Betongranulaat na breken en wassen van betonpuin afkomstig van de Eenhoorn

een kraan of shovel in een dagbunker gebracht van waaruit het kan worden afgewogen en vervolgens naar de menginstallatie kan worden getransporteerd. De opslag van de fijne fracties is problematisch omdat deze nog enig bindend vermogen bezit. Bij opslag in dagbunkers kan dit leiden tot brugvorming waardoor het materiaal moeilijk uit deze bunkers lost.

Het mengen van betonspecie waarbij (een deel van) het grind is vervangen door betongranulaat verschilt niet van het mengen

van gewoon grindbeton. Dat geldt ook voor het transport van de betoncentrale naar de bouwlocatie.

In tabel 3 staan de globale invloeden van betongranulaat op de eigenschappen van beton(specie) in vergelijking met grindbeton(specie) op basis van dezelfde uitgangspunten voor de betonsamenstelling.

Toepassingen van beton met betongranulaat

We bekijken nu twee voorbeelden van recente toeassingen van beton met betongranulaat.

De Eenhoorn in Amsterdam

Het Eenhoornterrein in Amsterdam was een gebied met voornamelijk kantoren en bedrijven. Het is gebouwd in de jaren 60 en 70, met op bepaalde plekken duplexwoningen (woningen die na de Tweede Wereldoorlog werden gesplitst in twee woningen met als doel kleine gezinnen aan woonruimte te helpen en de toen heersende woningnood te beperken). Tussen nu en 2015 zal het transformeren in een multifunctioneel gebied met een hoogwaardige combinatie van wonen en werken. Er worden nu 179 huurappartementen gebouwd met twee onderliggende parkeerkelders.

In het projectontwerp zijn verschillende duurzaamheidsaspecten aanwezig. Zo wordt er onder andere gestreefd naar een maximale inzet van secundaire bouwmaterialen. Hierbij ontstond het idee het beton dat vrij kwam bij de sloop van de bestaande bebouwing na bewerking als grindvervanger te gebruiken in nieuw beton voor de nieuwbouw op dezelfde locatie. Uit de gebouwen die worden gesloopt, komt 5.000 ton betonpuin vrij. Hiervan kan circa 2.500 ton worden hergebruikt als betongranulaat. De andere helft, de fijne fractie < 4 mm, wordt elders ingezet als fundatie-/ophoogmateriaal. In dit geval is het betongranulaat gebroken en afgezeefd tot

Tabel 3 **Invloeden van betongranulaat op de eigenschappen van beton(specie) in vergelijking met grindbeton(specie)**

eigenschap	vervangingspercentage		
	0 – 20% (v/v)	20 – 50% (v/v)	50 – 100% (v/v)
verwerkbaarheid	=	=	=
afname verwerkbaarheid [1])	↑	↑↑	↑↑↑
luchtgehalte [2])	=	=	=
waterbehoefte	↑	↑↑	↑↑↑
wbf [3])	=	=	=
volumieke massa	↓	↓↓	↓↓↓
vloeistofindringing	=	↑	↑
druksterkte	=	↓	↓↓
elasticiteitsmodulus	↓	↓↓	↓↓↓
D_{rcm} [4])	=	=	=

= gelijkwaardig; ↑ hoger; ↓ lager

[1]) bij voldoende voorbevochtiging nauwelijks afname

[2]) gemeten met de verdringsmethode conform ASTM – C173

[3]) met cementcorrectie en/of hulpstof toepassing

[4]) beperkt aantal metingen

Tabel 4 **Toepassingen betongranulaat bij De Eenhoorn**

toepassing	sterkte-klasse	milieu-klasse	granulaat
poeren, liftputten, kraanpoer	C28/35	XF3	20%
keldervloeren, monolitisch afgewerkt*	C28/35	XF4	geen
wanden, vloeren (tunnelkist warme gietbouw)	C28/35	XC1	20%

* Omdat betongranulaat verontreinigd kan zijn met lichte bestanddelen, zoals plastic en hout is het aan te bevelen het niet toe te passen in monolietvloeren. Zelfs een geringe verontreiniging kan al leiden tot een aanzienlijke schade aan het oppervlak doordat de lichte bestanddelen tijdens het storten en verdichten komen opdrijven en in de toplaag achterblijven. Nadat het beton is verhard en de vloer in gebruik wordt genomen komen deze lichte bestanddelen los en ontstaan er putjes in de vloer.

9
Storten fundering Geusseltbad met betonpomp

10
Storten Geusseltbad met de kubel

11
Betonwanden Geusseltbad op basis van 100% betongranulaat

een korrelgroep 4/16 mm. Voor de nieuwbouw is circa 14.000 m^3 beton nodig. Dit geeft de mogelijkheid gemiddeld 15 tot 20% van het benodigde grind te vervangen door betongranulaat. Om een aantal betontechnologische redenen is besloten niet voor elk constructiedeel het grind te vervangen door betongranulaat. Daar waar er geen belemmeringen waren kon daardoor de vervanging op 20% (*v*/*v*) worden gezet. Tabel 4 laat zien in welke toepassing granulaat als grindvervanger werd ingezet en waar niet.

12
Impressie Geusseltbad

Geusseltbad te Maastricht

Op dit moment wordt in Maastricht het nieuwe Geusseltbad gebouwd. Dit nieuwe zwembad zal bij oplevering het duurzaamste en milieuvriendelijkste zwembad in Nederland zijn. In het beton dat daarvoor nodig is wordt 100% van het grind vervangen door betongranulaat. Het gebruikte betongranulaat, in totaal 4.000 ton, kwam voor een groot deel vrij bij de sloop van een aantal niet meer gebruikte betonnen installaties van cementfabriek ENCI in Maastricht. Voor dit project werd betongranulaat toegepast in twee fracties: 4/16 mm voor de wanden en kolommen en 4/32 mm voor de vloeren. Vooraf werd een uitgebreid geschiktheidsonderzoek uitgevoerd om na te gaan of het beoogde betonmengsel met 100% betongranulaat aan alle gestelde eisen zou voldoen.

Eisen vanuit het ontwerp voor het Geusseltbad

Sterkteklasse	C20/25
Milieuklasse	XD3 (afwijkende wbf, max. 0,50)
Consistentieklasse	S3 of S4 (op moment van verwerken)
D_{rcm}	$\leq 5 \cdot 10^{-12}$ m^2/s
Vloeistofdichtheid	Conform BRL 1801
Uitdrogingskrimp (prisma's 100x100x40 mm)	< 0,6 mm/m (20 °C/65% RV)
Elasticiteitsmodulus	Binnen spreidingsgebied grindbeton
Druksterkteontwikkeling	Gelijkwaardig aan grindbeton

Eigenschappen van betongranulaat

Na de productie van het betongranulaat, traditioneel breken, zeven en wassen, werden hiervan de eigenschappen bepaald. Het betongranulaat moest voldoen aan de volgende normen en richtlijnen:

- BRL 2506 'Beoordelingsrichtlijn – Recyclinggranulaten voor toepassing in beton, wegenbouw, grondbouw en werken'
- NEN-EN 12620 (Toeslagmaterialen voor beton) + nationale aanvulling NEN 5905
- CUR-Aanbeveling 112 'Beton met betongranulaat als grof toeslagmateriaal'

De resultaten uit het geschiktheidsonderzoek naar de eigenschappen van het betongranulaat worden in tabel 5 weergegeven.

Eigenschappen beton

De informatie die volgde uit het geschiktheidsonderzoek met betrekking tot de betonspecie-eigenschappen en eigenschappen voor verhard beton staan respectievelijk in tabel 6 en 7.

Het betonwerk van het Geusseltbad is inmiddels gereed. Het bleek heel goed mogelijk te zijn met 100% vervanging van grind door betongranulaat aan alle randvoorwaarden (sterkte, duurzaamheid en verwerkbaarheid) te voldoen. Tijdens de leveringen is er uitgebreid gecontroleerd op de eigenschappen van betonspecie en beton (tabel 8). Uit analyse van de meetresultaten blijkt dat de spreiding beperkt is en niet afwijkt van die van een vergelijkbaar grindbeton.

Tabel 5 **Resultaten geschiktheidsonderzoek Geusseltbad**

eigenschap	waarde	opmerking
volumieke massa	2.300 kg/m^3	> 2.200 kg/m^3 volgens CUR 112
waterabsorptie	5,5% (m/m)	-
verontreiniging	nauwelijks/niet	visueel beoordeeld
korrelsterkte (LA-waarde)	27	< 40 volgens bestek
korrelgradering	zeefanalyse	voldoet aan NEN 5905 tabel 2

Tabel 6 **Resultaten geschiktheidsonderzoek betonspecie Geusseltbad (100% betongranulaat)**

eigenschap	waarde	opmerking
verwerkbaarheid zetmaat [1])	S3 en S4	S3 = 150 mm en S4 = 240 mm
afname verwerkbaarheid [1]) na 45 minuten	10% (S3) en 20% (S4)	gelijkwaardig aan grindbeton
luchtgehalte [2])	1 a 2% (*v*/*v*)	drukmethode NEN-EN 12350-7
volumieke massa	2230 kg/m^3	NEN-EN 12350-6
wbf	ca. 0,46	ontwerp 0,49

[1]) met voorbevochtigd betongranulaat en gemeten direct na aanmaak

[2]) Omdat betongranulaat enigszins poreus is zou het luchtgehalte met de verdringingsmethode (ASTM-C173) moeten worden bepaald. Om praktische redenen is hier besloten om het luchtgehalte te bepalen met de drukmethode en te koppelen aan de berekening van het luchtgehalte uit de gemeten volumieke massa.

Tabel 7 **Resultaten geschiktheidsonderzoek verhard beton Geusseltbad (100% betongranulaat)**

eigenschap	gemiddelde waarde	opmerking
druksterkte	1 dag 9,5 N/mm^2	vergelijkbaar met grindbeton van dezelfde sterkteklasse en wbf
	7 dagen 22,0 N/mm^2	
	28 dagen 39,8 N/mm^2	
elasticiteitsmodulus	28 dagen 26.600 N/mm^2	lager dan die van grindbeton (onderkant spreidingsgebied)
	56 dagen 27.850 N/mm^2	
vloeistofindringing	28 dagen 8 mm	vergelijkbaar met grindbeton van dezelfde kwaliteit
D_{rcm} waarde	28 dagen 3,1 (10^{-12} m^2/s)	ten minste vergelijkbaar met grindbeton
uitdrogingskrimp (20 °C/65% RV)	28 dagen 0,38 mm	voldoet aan het projectcriterium van < 0,60 mm
	91 dagen 0,44 mm	

Tabel 8 **Eigenschappen van de betonspecie Geusseltbad, inclusief spreiding**

eigenschap	min. waarde	max. waarde	gem. waarde
zetmaat	160 mm	190 mm	185 mm
wbf (ontw. 0,50)	0,45	0,51	0,49
volumieke massa	2220 kg/m^3	2265 kg/m^3	2251 kg/m^3
druksterkte 7 dagen	17,6 N/mm^2	26,6 N/mm^2	21,3 N/mm^2
28 dgn	37,9 N/mm^2	47,2 N/mm^2	41,6 N/mm^2

Betoniek online

Deze *Betoniek* en alle 418 vorige edities zijn online te raadplegen op www.betoniek.nl. Voor leden van *Betoniek* is dit archief gratis toegankelijk. Nog geen lid? Kijk op www.betoniek.nl voor een interessant aanbod.

De meetresultaten uit de productiecontrole tijdens de leveringen sluiten goed aan bij meetwaarden uit het geschiktheidsonderzoek.

Tot slot

Zoals in deze *Betoniek* staat beschreven is het toepassen van betongranulaat niet nieuw. Er is inmiddels ruime ervaring met in het algemeen positief resultaat. Toch is het toepassen van betongranulaat als grindvervanger in beton nog lang geen vanzelfsprekendheid, het verschijnen van de CUR-Aanbeveling 112 'Beton met betongranulaat als grof toeslagmateriaal' heeft hierin nog geen grote verandering gebracht. Door de maatschappelijke bewustwording met betrekking tot duurzaamheid en de druk van opdrachtgevers om hieraan invulling te geven, krijgt de toepassing van betongranulaat toch een nieuwe, sterke, impuls. De in deze *Betoniek* beschreven projecten laten zien dat het kan zonder concessies te doen aan de unieke eigenschappen van beton.

Literatuur

Betoniek 11/13 'Naar 100% granulaat?'
Betoniek 9/10 'Granulaten in de praktijk'
Betoniek 6/7 'Hergebruik van beton'
Scenariostudie BSA granulaten – 2006 Intron/Rigo/van Ruiten adviesbureau

In onze volgende uitgave

15/20 – Living apart together

De Eurocode 2 is een Europese norm die moet worden gebruikt bij het ontwerpen en berekenen van betonconstructies. Eurocode 2 is de afkorting/werktitel van NEN-EN 1992. In de volgende *Betoniek* lichten we toe wat de invloed van deze norm is voor de betontechnoloog en gaan we in op de samenwerking tussen constructeur, uitvoering en betontechnoloog.

Betoniek is hét vakblad over technologie en uitvoering van beton en verschijnt 10 keer per jaar. *Betoniek* wordt uitgegeven door Æneas, uitgeverij van vakinformatie bv, in opdracht van het Cement&BetonCentrum. In de redactie zijn vertegenwoordigd: BAM Infra, BAS Research & Technology, BMC Certificatie, BTE Nederland, ENCI, Mebin en TNO. Voor de jaarlijkse aflevering over het Examen Betontechnoloog BV wordt samengewerkt met de Betonvereniging.

Uitgave Æneas, uitgeverij van vakinformatie bv
Postbus 101, 5280 AC, Boxtel
T: 0411 - 65 00 85
E: info@aeneas.nl

Website www.betoniek.nl

Redactie T: 0411 65 35 84
E: betoniek@aeneas.nl

Vormgeving Inpladi bv, Cuijk

Abonnementen/adreswijzigingen
Uitgeverij Æneas
Postbus 101, 5280 AC, Boxtel
T: 0411 65 00 85
E: info@aeneas.nl

Abonnementen 2011
Jaarabonnement, inclusief toegang online archief: € 76 (excl. 6% btw)
Buiten Nederland geldt een toeslag voor extra porto. Abonnementen lopen per jaar en kunnen elk gewenst moment ingaan. Opzeggen moet altijd schriftelijk gebeuren, uiterlijk twee maanden voor vervaldatum. Kijk voor de mogelijkheden van meeleesabonnementen op www.betoniek.nl.

© Æneas, uitgeverij van vakinformatie 2011.

Niets uit deze uitgave mag worden overgenomen zonder toestemming van de uitgever. De algemene publicatievoorwaarden van de uitgever worden verondersteld bekend te zijn en zijn op aanvraag beschikbaar. Hoewel de grootst mogelijke zorg wordt besteed aan de inhoud van het blad, zijn redactie en uitgever van *Betoniek* niet aansprakelijk voor de gevolgen, van welke aard ook, van handelingen en/of beslissingen gebaseerd op de informatie in deze uitgave.

Niet altijd kunnen rechthebbenden van gebruikt beeldmateriaal worden achterhaald. Belanghebbenden kunnen contact opnemen met de uitgever.