

Sand2Sand

Hoogwaardige toepassingen voor gerecycleerde zanden in beton

Overzicht van de resultaten en perspectieven

Juli 2019

Samengesteld door:

- WTCB – Jeroen Vrijders & Bram Doms
- Jacobs Beton – Kurt Jacobs & Jean-Pierre Andries
- OBBC – Lodewijk Van Acker & Filip Props
- De Brabandere Wegenbouw – Pieter De Brabandere & Erwin Vanpoucke
- SIKa Belgium – Christoph Robbrecht
- KULeuven – Luc Boehme & Brecht Vandevyvere

Inleiding

Context: Zand in de circulaire economie

De circulaire economie is erop gericht om materialen en producten zo lang mogelijk hun waarde te laten behouden. Door 'urban mining', het ontginnen en recyclen van de reeds in de gebouwde omgeving beschikbare grondstoffen, worden materiaalkringlopen gesloten.

Dit geldt zeker voor beton. Beton wordt zeer veel gebruikt in de bouwsector, en is een grote verbruiker van natuurlijke grondstoffen - granulaten en zand. De enorme, wereldwijde consumptie van beton zorgt zelfs voor een dreigende "zandschaarste". Daarnaast zorgen bouw- en sloopactiviteiten ook voor veel afval, dat via recyclagetechnieken opnieuw in beton kan worden ingezet.

Opportunititeit: Productie van grove hoogwaardige gerecycleerde granulaten

De afgelopen 10 jaar is veel kennis en ervaring opgebouwd met het gebruik van grove gerecycleerde betongranulaten in nieuw beton in België [1]. Dit heeft geleid tot het gaandeweg openstellen van de Europese en Belgische normen voor beton, EN 206:2013 en NBN B15-001:2018, die intussen het gebruik van grove gerecycleerde granulaten ($d \geq 4$ mm) toelaten in een welomschreven maar voldoende ruim toepassingsgebied.

Voorloper-bedrijven hebben hierop reeds ingespeeld, en produceren vandaag de dag hoogwaardig betongranulaat, van een kaliber 4/20 of 8/20. Hiervoor zetten zij in op selectieve acceptatie van puin: om onzuiverheden te vermijden en om te starten van kwalitatief beton, wordt beton van wegenwerken, van prefab-afval, ... apart gestockeerd om tot hoogwaardig granulaat te verwerken. Vaak wordt dit betonpuin ook in aparte campagnes geproduceerd, en 2x gebroken om enkel de sterkste fractie over te houden.

Wanneer dit grove granulaat van hoge kwaliteit in beton wordt gebruikt, blijft er uiteraard een fijne fractie, de zandfractie (0/4, 0/6.3, 0/8), over, waarvan men kan veronderstellen dat deze ook van zeer goede kwaliteit is, gezien ze geproduceerd werd op basis van selectief ingezameld betonpuin. Aangezien dit materiaal momenteel nog niet in beton mag worden gebruikt, gaat een deel van de intrinsieke waarde verloren, wat ook het gebruik van het grove betongranulaat in beton economisch minder interessant maakt.

Er is reeds wetenschappelijke literatuur voorhanden die aantoont dat het gebruik van fijn gerecycleerd betongranulaat of betonbrekerzand mogelijk is – zij het met invloed op de verwerkbaarheid van het beton. Gerecycleerde zanden absorberen immers veel water en zijn hoekiger van vorm dan natuurlijke zanden. Er dient dus meer water toegevoegd te worden aan het beton, wat ook een invloed heeft op de W/C-factor, en dus ook op de druksterkte en de duurzaamheidseigenschappen van het beton. [2][3][4]

Het meeste wetenschappelijk onderzoek is echter wel uitgevoerd met ‘normaal’ betonbrekerzand, en niet met het veronderstelde ‘hoogwaardige’ betonbrekerzand zoals hierboven beschreven. Daarenboven zijn de bedrijven betrokken bij het voorliggende onderzoeksproject intussen ervaren in het produceren van beton met gerecycleerde granulaten, en in de ontwikkeling van innovatieve hulpstoffen om eventuele moeilijkheden te ondervangen. De combinatie van deze factoren doet vermoeden dat er meer potentieel ligt in het gebruik van recyclingzand dan eerder gedacht.

Voorlopers onderzoeken de mogelijkheden voor zandrecyclage in beton

Binnen het Sand2Sand-project (financieel gesteund in het MIP3-programma door de Vlaamse Overheid) hebben 4 voorloper-bedrijven en 2 onderzoeksinstituten de krachten gebundeld om de mogelijkheden voor het gebruik van ‘hoogwaardig’ zand in structureel beton voor gebouwen en wegen te onderzoeken en te testen in de praktijk: Jacobs Beton, Wegenbouw De Brabandere, OBBC, SIKa Belgium, KU Leuven-Recycon en het WTCB.

In het project werden verschillende stappen gezet: in eerste instantie werd gefocust op de kwaliteit van het brekerzand zelf, in vergelijking met andere (natuurlijke en gerecycleerde) zanden. Er werd onderzocht of het ‘hoogwaardige’ brekerzand inderdaad meer geschikt is voor gebruik in beton dan normaal brekerzand. Tevens werd een verkennend onderzoek uitgevoerd naar mogelijke innovatieve technieken om de kwaliteit van gerecycleerd zand op te werken.

In tweede instantie werden verschillende werkbare betonsamenstellingen ontwikkeld, die rekening houden met de eigenschappen van de gerecycleerde zanden. Deze samenstellingen werden vervolgens onderworpen aan een proefprogramma, om de eigenschappen van vers en verhard beton te bepalen, en deze te vergelijken met die van conventioneel beton (zonder gerecycleerd zand).

Tot slot werden in het Sand2Sand-project de eerste stappen richting verdere implementatie gezet, door een economische onderbouwing, door het uitvoeren van enkele pilootprojecten (op ware grootte) en door een aanzet voor een normenkader te geven.

Belangrijk om te benadrukken is dat dit onderzoek voor en door de praktijk is gebeurd: er is vaak in werkelijke bedrijfsomstandigheden gewerkt, en dus niet in labo-omstandigheden, voor de productie van het beton, om zo dicht mogelijk de werkelijkheid te benaderen. Deze aanpak heeft uiteraard ook enkele beperkingen (bv. een minder gecontroleerde omgeving of een minder gestandaardiseerde aanpak van bepaalde proeven).

Gerecycleerd zand: kenmerken en inzichten

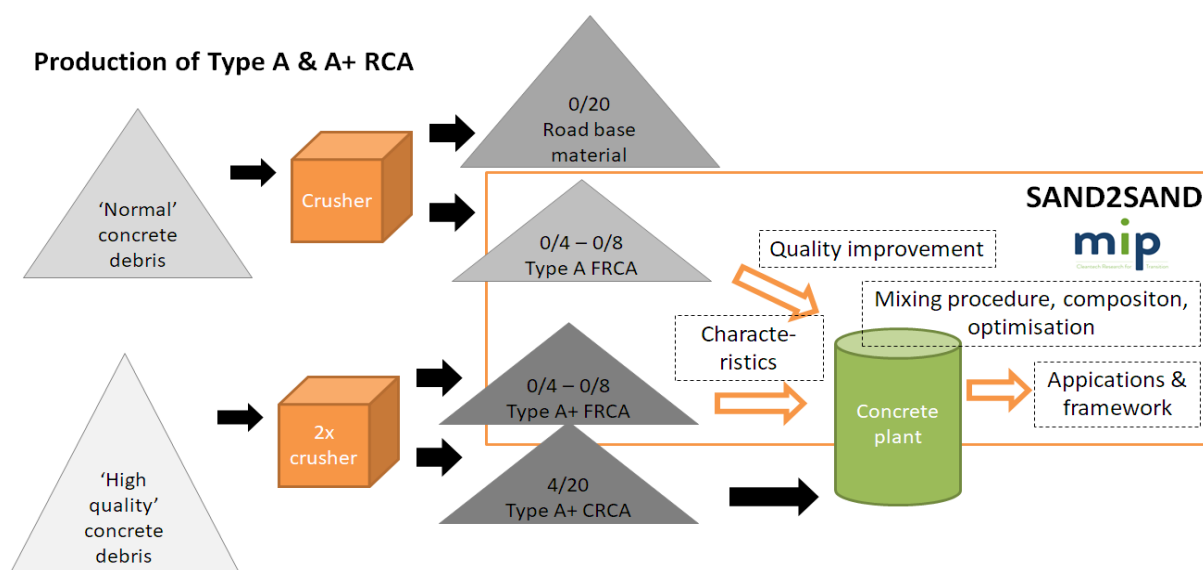
Type ‘A’ en ‘A+’

Betonbrekerzand ontstaat uit een klassiek recyclageproces waarbij betonpuin wordt gebroken tot gerecycleerde granulaten. Nadat verontreinigingen zoals staal, hout, plastics, ... verwijderd zijn, en na

het breekproces, wordt het gebroken materiaal afgezeefd in verschillende fracties. De zandfractie die hierbij ontstaat heeft een kaliber van 0/4mm of 0/6.3 mm.

In het onderzoek wordt een onderscheid gemaakt tussen brekerzand 'Type A' en brekerzand 'Type A+'. Dit is gekoppeld aan het verschil in acceptatiebeleid, waarbij zuiver en sterk beton, afkomstig van opbraak van wegen, van prefab, ... apart wordt gehouden van het 'klassieke' beton, bv. afkomstig van de afbraak van gebouwen etc. dat soms nog metselwerk of andere verontreinigingen bevat. Daarnaast bestaat het productieproces van grof betongranulaat voor beton (het type A+ volgens NBN B15-001), vaak uit een dubbel breekproces, om tot een echte hoogwaardige kwaliteit te komen. Vandaar dat we een onderscheid maken tussen type A+ (selectieve intake, vaak 2x gebroken) brekerzand en type A zand (conventioneel breekproces, geen echt selectieve intake).

Zie Figuur 1.



Figuur 1 – Schematisch overzicht van de aanpak binnen Sand2Sand

Kwaliteit van recyclingzand in de Vlaamse praktijk

Om de kwaliteiten van de verschillende zandtypes in Vlaanderen in kaart te brengen, werden stalen genomen bij verschillende bedrijven. Uiteraard in eerste instantie bij de 3 deelnemende bedrijven, om het onderscheid tussen hun Type A en Type A+-zand te onderzoeken, maar daarnaast werden ook stalen genomen bij 4 andere recyclagebedrijven in Vlaanderen. Daarenboven werden ook de zanden afkomstig van een wasinstallatie meegenomen.

Deze zanden werden gekarakteriseerd op 3 vlakken: bouwtechnisch (korrelverdeling, samenstelling, gehalte aan fijnen, volumieke massa, waterabsorptie, ...), bouwchemisch (methyleenblauw, chloriden, sulfaten, alkaligehalte...) en milieuhygiënisch (samenstelling & uitloging).

Bedrijf	Type	Kaliber
De Brabandere	BG (A)	0/6,3
	HW BG (A+)	0/6,3
	BG gewassen (A)	0/2
	HW BG gewassen (A+)	0/2
OBBC	BG (A)	0/6,3
	HW BG (A+)	0/6,3

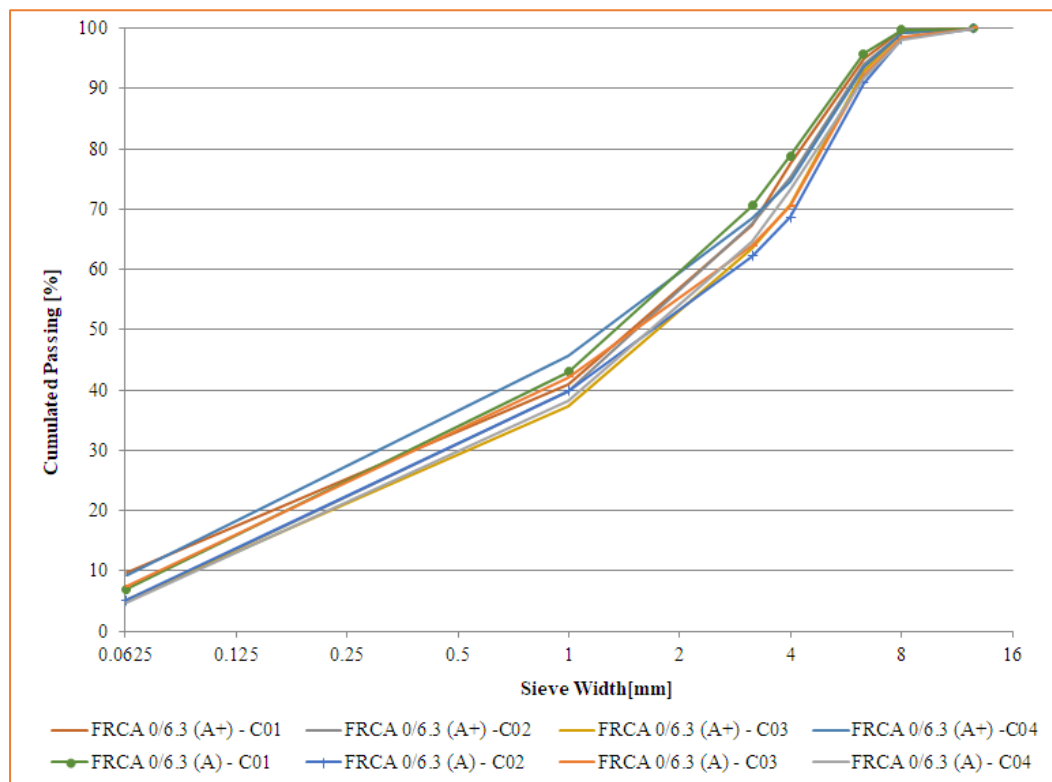
Jacobs	HW BG gewassen (A+)	0/4
Aswebo (G)	BG (A)	0/6,3
Aswebo (B)	BG (A)	0/6,3
Hegrola	BG (A)	0/6,3
BRC	BG (A)	0/8

BG = Betongranulaat, HW BG = Hoogwaardig Betongranulaat, A = 'normaal', A+ = hoogwaardig

Tot slot werd een vergelijking gemaakt met de eigenschappen van natuurlijke zanden, op basis van de gegevens die werden teruggevonden op de technische fiches.

Resultaten: Granulometrie

Een aandachtspunt bij de interpretatie van de granulometrie is of men het brekerzand als een 'zand' kan beschouwen, dan wel als een 'all-in'-granulaat? Volgens de normen, NBN EN 12620 [5] en NBN EN 13242 [6] wordt 'zand' gedefinieerd als een granulair materiaal met maximale korreldiameter resp. $D \leq 4$ mm en $D \leq 2$ mm. In de praktijk voldoet het brekerzand hier eigenlijk niet aan. Er is een beperkt aanbod van 0/4 mm brekerzand, maar doorgaans wordt een 0/6.3 mm, een 0/8 mm zand of een kaliber 0/10 mm geproduceerd.



Figuur 2 Korrelverdeling van brekerzand (A) & (A+) 0-6.3 mm van 4 bedrijven

Figuur 2 toont de resultaten van de geteste brekerzanden met kaliber 0/6.3 mm. Het is duidelijk dat alle beproefde monsters voldoen aan de gestelde eisen in de normen en in één van de categorieën onder te brengen zijn (e.g. GA85GTA10 (EN 12620) voor kaliber 0-8, GF85 voor het kaliber 0-4 mm en

GA85 voor het kaliber 0-6.3 mm). Er zijn kleine verschillen tussen de producenten onderling. Dit kan te wijten zijn aan andere installaties voor breken en zeven.

In het algemeen zien we weinig verschil tussen de curves voor A+- en A-types zand.

Het gehalte aan fijnen werd bepaald volgens NBN EN 933-1 [7], als onderdeel van de zeefproef. Tabel 2 illustreert de bekomen resultaten. Hieruit blijkt dat de brekerzanden gemiddeld 5.3 tot 5.9% fijnen bevatten, en dus in de categorie f_{11} vallen van NBN EN 12620. Er is geen significant verschil in fijnen tussen A-zand en A+-zand, al is er iets minder spreiding op de resultaten van het A+-zand.

Het wassen van het zand resulteert logischerwijze wel in een veel lager gehalte aan fijnen: 0.3% voor A+-zand en 0.5% voor A-zand.

Tabel 1 – Gehalte aan fijnen

Product			
Bedrijf + Zandtype		Doorval zeef 63 μ m (%)	Categorie volgens NBN EN 12620
A - 0/4 (A+) *		0,3	f_3
B - 0/6.3 (A+)		5,0	f_{11}
C - 0/6.3 (A+)		6,7	f_{11}
B - 0/2 gewassen (A+) **		0,3	f_3
Gemiddelde ⁽¹⁾		5,9	f_{11}
Variatie (-0,9 / + 0,8)			
D - 0/6.3 (A)		5,4	f_{11}
B - 0/6.3 (A)		6,6	f_{11}
C - 0/6.3 (A)		6,0	f_{11}
E - 0/6.3 (A)		4,5	f_{11}
F - 0/6.3 (A)		6,5	f_{11}
G - 0/8 (A)		2,7	f_3
Gemiddelde		5,3	f_{11}
Variatie (-2,6 / + 1,5)			
B - 0/2 gewassen (A)	B**	0,5	f_3

* producent wast zijn granulaat nu al - **testfase – zeven & wassen van Type A

Betonggranulaat - (1): gemiddelde exclusief gewassen zand

Waterabsorptie & volumieke massa

De waterabsorptie en volumieke massa zijn eerst apart bepaald voor de fracties 0-0.063 mm, 0.063-4 mm en 4-31.5 mm, waarna een gewogen gemiddelde waarde werd berekend. Deze waarden worden weergegeven in Tabel 3. Er werd verondersteld dat de filler-fractie (< 0.063 mm) geen water absorbeert.

Uit de eerste resultaten bleek dat er grote verschillen konden worden vastgesteld tussen de resultaten van verschillende laboratoria. Er werden bijkomende proeven uitgevoerd om de eerste resultaten te bevestigen of uit te sluiten. Enkel de betrouwbare resultaten werden in Tabel 3 opgenomen.

De afwijkingen kunnen wellicht worden toegeschreven aan het verschil in interpretatie van de testmethode, en dan vooral de beoordeling wanneer het zand ‘oppervlaktedroog’ is. Gezien de volumieke massa en de waterabsorptie twee belangrijke parameters zijn voor de betonsamenstelling,

is het relevant om deze afwijkingen verder te onderzoeken en de meetmethode te ontwikkelen of een alternatieve methode uit te werken.

Tabel 2 – Volumieke massa en waterabsorptie volgens NBN EN 1097-6

Product		Volumieke massa & waterabsorptie			
Bedrijf & product		ρ_a (Mg/m ³)	ρ_{rd} (Mg/m ³)	ρ_{ssd} (Mg/m ³)	WA ₂₄ (%)
A - 0/4 gewassen (A+)		2,61	2,19	2,35	7,5
B - 0/6.3 (A+)		2,62	2,21	2,36	6,8
C - 0/6.3 (A+)		2,62	2,22	2,37	7,1
B - 0/2 gewassen (A+)*		-	-	-	-
Gemiddelde		2,62	2,21	2,36	7,1
<i>variatie</i>			<i>(-0,02/+0,01)</i>		<i>(-0,3/+0,4)</i>
D - 0/6.3 (A)		D 2,55	2,17	2,31	7,0
B - 0/6.3 (A)		B 2,55	2,15	2,30	7,3
C - 0/6.3 (A)		C 2,54	2,19	2,33	6,5
E - 0/6.3 (A)		E 2,55	2,16	2,31	7,0
F - 0/6.3 (A)		F 2,54	2,15	2,30	7,3
G - 0/8 (A)		G 2,58	2,21	2,35	6,4
Gemiddelde		2,55	2,17	2,32	6,9
<i>variatie</i>			<i>(-0,02/+0,04)</i>		<i>(-0,5/+0,4)</i>

Chemische kenmerken & milieuhygiëne

De proeven op vlak van chloridegehalte, oplosbare sulfaten, alkali-equivalent, ... resulteerden in lage waarden, zowel voor het A-zand als het A+-zand. Er konden geen significante verschillen tussen de zanden worden vastgesteld. Specifiek werd wel vastgesteld dat het chloridegehalte verhoogd is bij brekers die meer aan de kust gelegen zijn, en dat het alkaligehalte verhoogd is bij brekers die meer productieafval van stortklaar beton verwerken.

Ook op vlak van milieuhygiënische kwaliteit en aanwezigheid van bv. asbest werden geen niet-conformiteiten vastgesteld bij de beproefde stalen.

Conclusies uit het zandkarakterisatieonderzoek

In tegenstelling tot de oorspronkelijke verwachtingen, werd vastgesteld dat de verschillen tussen Type A brekerzand en Type A+ brekerzand (afkomstig van selectieve intake en productie van hoogwaardig grof granulaat) niet significant zijn. In feite zijn beide types geschikt voor het gebruik in beton, uitgaande van de geteste eigenschappen.

Voor het mengselontwerp in de volgende fase van het onderzoek werd uitgegaan van een WA₂₄ van 7.0% met een volume massa van 2.25 Mg/m³.

Beton met gerecycleerd zand – mengselontwerp

Toepassingsdomein en vervangingspercentages

Het hoofddoel van Sand2Sand was de vervanging van natuurlijk zand door gerecycleerd brekerzand in betonsamenstellingen die in de praktijk (door de bedrijven) gebruikt worden. Er is beslist dat elk van

de 3 deelnemende productiebedrijven een beton voor hetzelfde toepassingsdomein zou ontwikkelen, met name een EE2-beton, voor de milieuklassen XC3, XF1, dus blootgesteld aan vorst, zonder direct contact met regen. Dit betekent een W/C-factor van 0.55 en een minimaal cementgehalte van 300 kg/m³. Er werd gemikt op een slump S4 en een druksterkte $f_{c,k} \geq 30$ MPa. Deze aanpak laat toe de resultaten tussen de drie bedrijven onderling te vergelijken.

Daarnaast heeft elk bedrijf ook een beton voor een ander toepassingsdomein uitgewerkt:

- EE1-beton (geen vorst)
- EE3-beton (regen en vorst, geen dooizouten)
- Wegenbeton (hoger cementgehalte, lagere W/C)

Voor elk betontype werd in principe een vervangingspercentage van 10% en 20% (in volume) getest. Zoals reeds aangegeven, kan het brekerzand niet als 'zand' met een $D \leq 4$ mm worden beschouwd. Dit betekent dat het vervangingspercentage is uitgedrukt ten opzichte van het volledig inert skelet (zand + granulaat), en dat dus ook een fractie van het grove granulaat werd vervangen. Daarnaast werd voor elk beton ook een referentiemengsel zonder gerecycleerd brekerzand aangemaakt. Eventuele verschillen in verwerkbaarheid worden gecompenseerd door superplastificeerder toe te voegen, om zo dezelfde effectieve W/C-factor te kunnen behouden.

Een typesamenstelling voor het EE2-beton met en zonder 20% vervanging wordt in onderstaande tabel weergegeven.

Tabel 3 – Voorbeeld van een typische samenstelling voor EE2-beton

Product	Samenstelling (volume)		Kenmerken grondstoffen	
	0% (REF)	20% A+	p_{rd}	WA_{24} (%)
Zeezand 0/2	16.0%	18.5%	2.65	0.5
Rivierzand 0/4	30.0%	15.5%	2.65	0.5
Brekerzand A+ 0/6.3	0.0%	20.0%	2.25	7.0
Porfier 2/6.3	13.0%	5.0%	2.71	0.5
Kalksteen 6.3/20	41.0%	41.0%	2.68	0.5
Absorptie	9 l/m ³	29 l/m ³		
Superplast	1.5 kg/m ³	2.0 kg/m ³		
CEM III/A 42.5 N LA	310 kg/m ³	310 kg/m ³		
Vliegas ($k=0.2$)	25 kg/m ³	25 kg/m ³		

Eerste inzichten mengselontwerp & verwerkbaarheid

Uit de eerste verkennende proeven bleek dat het mogelijk is een goede betonsamenstelling te bekomen op basis van recyclagezand. Om de verwerkbaarheid op peil te houden, moet wel extra superplastificeerder worden toegevoegd. De hoeveelheid extra superplast blijft echter wel binnen de perken. Om met de extra absorptie van het brekerzand rekening te houden, werd door de bedrijven extra water toegevoegd in het mengproces, uiteraard rekening houdend met het vochtgehalte van het zand zoals gemeten op de stock.

In deze verkennende fase werden ook een aantal testen uitgevoerd met krachtige, innovatieve superplasten van SIKA. Deze producten zijn specifiek ontwikkeld voor beton waarin sterk absorberende materialen (lees: gerecycleerde granulaten) worden gebruikt. Hieruit bleek dat dit

product eigenlijk te krachtig is bij beperkte vervangingspercentages. Daarom werd beslist om in een volgende fase van het onderzoek met een hoger vervangingspercentage nog een proef uit te voeren.

Resultaten proefprogramma

Uiteindelijk werden volgende betontypes door de 3 bedrijven aangemaakt. De gebruikte termen in de tabel en de figuren spreken enigszins voor zich: A en A+ geven aan of het beton met gewoon of hoogwaardig betongranulaat is aangemaakt. REF geeft aan dat het beton geen recyclagezand bevat. 0%, 10% en 20% zijn de vervangingspercentages.

BETON 1 - CONSTRUCTIEBETON - omgevingsklasse EE1 - betontype T(0,65)									
BETONTYPE								PARAMETERS	
Klasse	W/C max	Cmin	Cx/y min	Eis lucht	Consist.	Vervang.	Zandtype	Bedrijf	Identificatie
EE1	0.60	280	C20/25	-	S4	0%	Ref	OBBC	2100-EE1-00%R
						10%	A	OBBC	2131-EE1-10%A
						20%		OBBC	2132-EE1-20%A
BETON 2 - CONSTRUCTIEBETON - omgevingsklasse EE2 - betontype T(0,55)									
BETONTYPE								PARAMETERS	
Klasse	W/C max	Cmin	Cx/y min	Eis lucht	Consist.	Vervang.	Zandtype	Bedrijf	Identificatie
EE2	0.55	300	C25/30	-	S4	0%	Ref	BRAB	1200-EE2-00%R
								OBBC	2200-EE2-00%R
								JACO	3200-EE2-00%R
						10%	A+	OBBC	2221-EE2-10%A+
								JACO	3221-EE2-10%A+
							A	OBBC	2231-EE2-10%A
						20%	Kalksteen	BRAB	1212-EE2-20%K
							A+	BRAB	1222-EE2-20%A+
								OBBC	2222-EE2-20%A+
								JACO	3222-EE2-20%A+
							A	OBBC	2232-EE2-20%A
						30%	A	OBBC	2233-EE2-30%A
BETON 3 - CONSTRUCTIEBETON - omgevingsklasse EE3 - betontype T(0,50)									
BETONTYPE								PARAMETERS	
Klasse	W/C max	Cmin	Cx/y min	Eis lucht	Consist.	Vervang.	Zandtype	Bedrijf	Identificatie
EE3	0.50	320	C30/37	-	S4	0%	Ref	JACO	3300-EE3-00%R
						10%	A+	JACO	3321-EE3-10%A+
						20%	A+	JACO	3322-EE3-20%A+
BETON 4 - WEGENBETON - bouwklasse B8-B10,BF - betontype Wm,min 42,5 MPa									
BETONTYPE								PARAMETERS	
Klasse	W/C max	Cmin	Wm,min	Eis lucht	Consist.	Vervang.	Zandtype	Bedrijf	Identificatie
WEG	0.50	375	42,5 Mpa	3%	S1-2	0%	Ref	BRAB	1400-WEG-00%R
						20%	Kalksteen	BRAB	1412-WEG-20%K
							A+	BRAB	1422-WEG-20%A+

Opmerking:

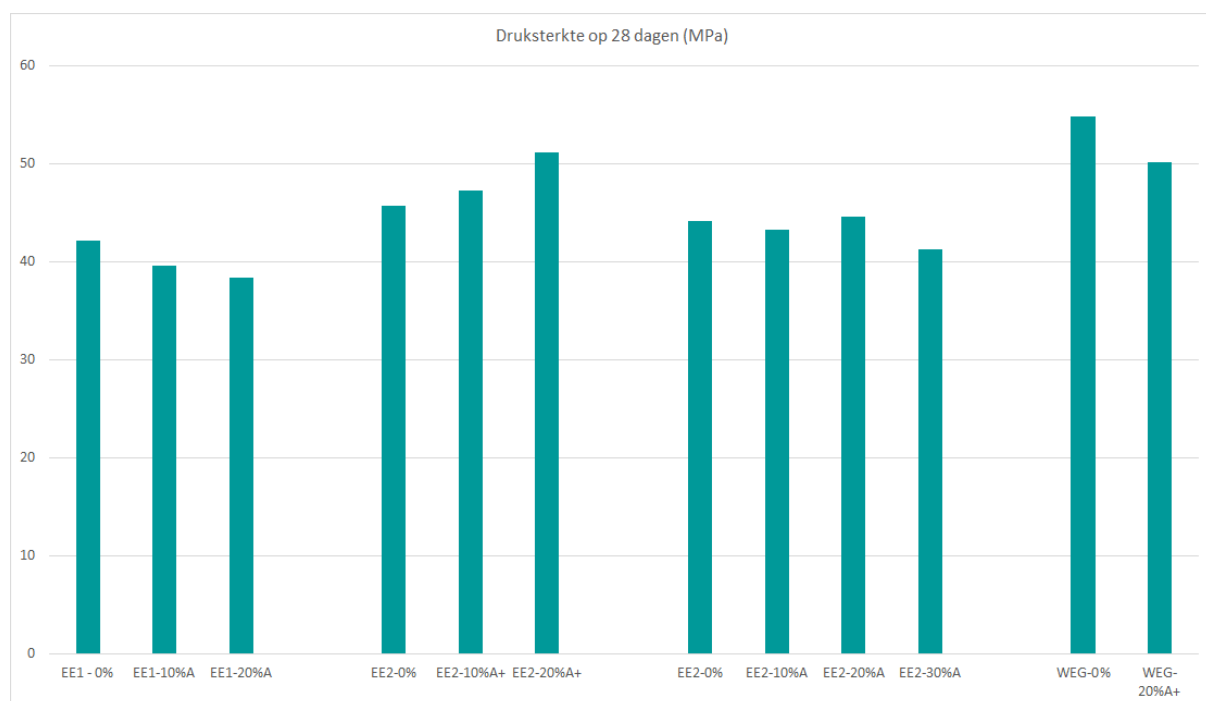
Door de verschillen in aanpak tussen de verschillende bedrijven (aanmaakprocedure, mengprocedure, nabehandeling, periode waarin de mengsels zijn aangemaakt, ...) en de uiteindelijke beproevingsmethode (verschillen tussen de betrokken labo's en bedrijven), werd uiteindelijk beslist om niet alle resultaten samen te bespreken, maar enkel vergelijkbare mengsels (vaak van hetzelfde bedrijf uit dezelfde periode) naast elkaar te zetten voor de evaluatie.

Druksterkte

De druksterkte werd in principe bepaald door de bedrijven zelf, op een leeftijd van 7 en 28 dagen.

Uit de grafieken kan worden afgeleid dat het brekerzand een invloed kan hebben op de druksterkte (bv. daling bij EE1-beton neemt toe van 0% naar 10% en 20%), maar dat deze in het algemeen vrij beperkt is. We zien te weinig verschillen in de resultaten tussen gebruik van A- en A+-zand om een duidelijk onderscheid in conclusies tussen beiden te kunnen maken.

We merken wel dat er verschillen zijn in de resultaten tussen de bedrijven onderling. Mogelijk heeft dit te maken met bijkomende optimalisatiestappen in bepaalde bedrijven, of het beter onder controle hebben van de waterhuishouding en de effectieve W/C-factor.

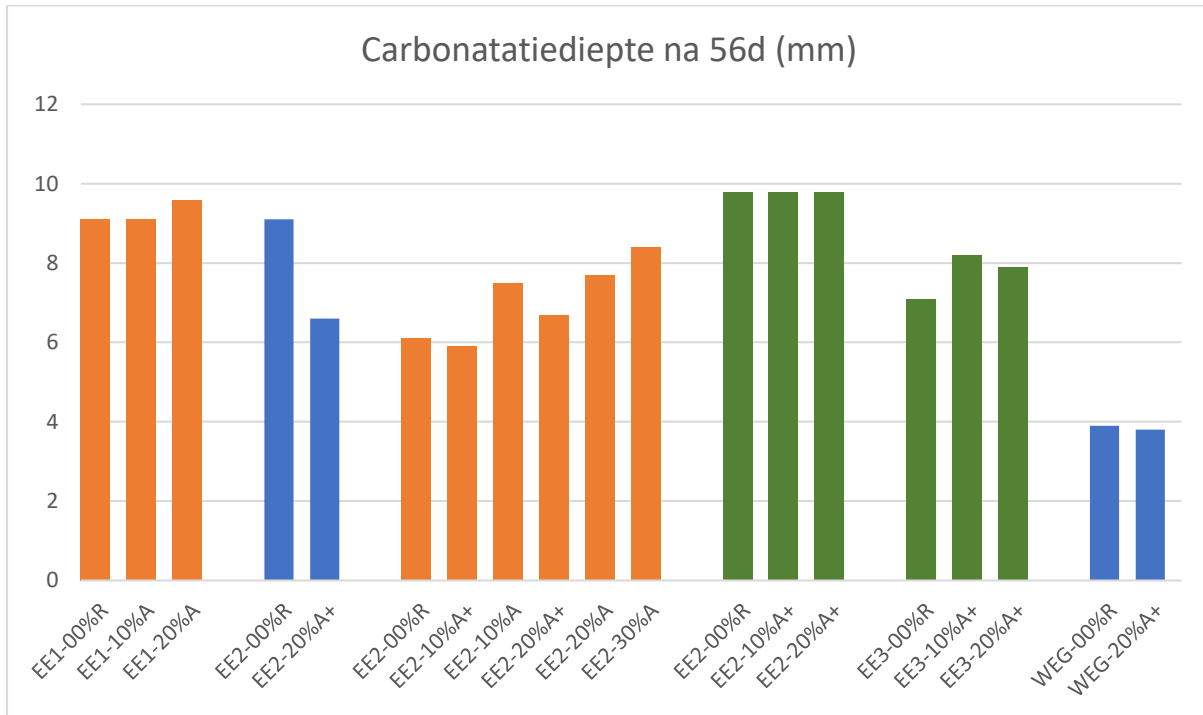


Carbonatatie

Wanneer we de resultaten op vlak van carbonatatie bekijken, stellen we volgende zaken vast:

- Reeks 1 – EE1 OBBC : zeer beperkte invloed van het gebruik van A-brekerzand
- Reeks 2 – EE2 De Brabandere : minder carbonatatie bij gebruik van A+-brekerzand tov referentie

- Reeks 3 – EE2 OBBC : De mengsels met A+-zand scoren beter dan de mengsels met A-zand. De carbonatatiediepte neemt toe met het vervangingspercentage. Bij 20% vervanging blijft de toename beperkt tot 25% ten opzichte van de referentie.
- Reeks 4 – EE2 Jacobs: Geen verschil gemeten tussen de verschillende samenstellingen.
- Reeks 5 – EE3 Jacobs : Beperkte toename van carbonatatiediepte bij gebruik recyclagezand.
- Reeks 6 – Wegenbeton De Brabandere : geen invloed van gebruik van A+-zand

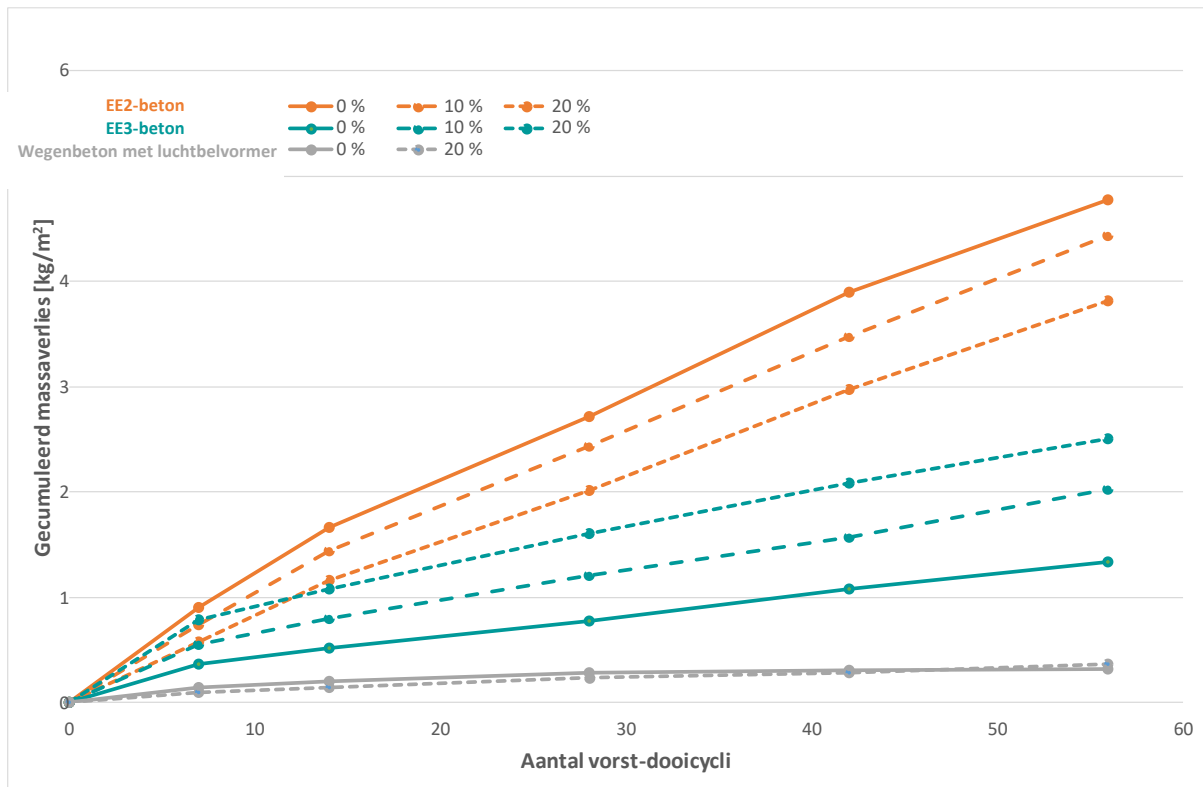


Resultaten Carbonatatie na 56 dagen blootstelling, in mm. Oranje = OBBC, Blauw = De Brabandere, Groen = Jacobs

Vorst-dooi-weerstand

Op vlak van vorst-dooi-weerstand (slabtest mét dooizouten) stellen we een aantal zaken vast:

- Het gebruik van recyclagezand kan zowel een positieve (in dit geval bij het EE2-beton) als een negatieve invloed (in dit geval bij het EE3-beton) hebben op de vorstdooiweerstand. Het effect wordt versterkt bij een hoger vervangingspercentage.
- In het geval van het wegenbeton, dat specifiek ontworpen is om bestand te zijn tegen vorst en dooizouten, zien we geen invloed van het gebruik van brekerzand.



Wanneer we dit nader bekijken, stellen we vast dat naast het gebruik van recyclingzand, vooral de luchtgehalten van de betontypes een invloed hebben op de vorstdooiweerstand.

	0% REF		10% verv.		20% verv.	
	Lucht	Massaverlies 56 cycli (kg/m ²)	Lucht	Massaverlies 56 cycli (kg/m ²)	Lucht	Massaverlies 56 cycli (kg/m ²)
EE1 - OBBC	1.4%	3.24	1.2%	4.28	2.8%	1.78
EE2 - BRAB	2.9%	1.29	-	-	1.4%	2.87
EE2 – OBBC R1	0.7%	3.38	1.3%	3.2	2.4%	2.31
EE2 – OBBC R2	1.4%	4.78	1.1%	4.44	2.1%	3.82
EE2 - Jacobs	2.5%	2.60	2.4%	2.50	2.5%	3.48
EE3 - Jacobs	2.3%	1.33	2.2%	2.02	2.3%	2.51
WEG - BRAB	3.2%	0.32	-	-	2.8%	0.37

De effecten van het gebruik van recyclagezanden op het luchtgehalte en de vorst-dooi-weerstand dienen verder onderzocht te worden. Het luchtgehalte zou specifiek beïnvloed kunnen worden door het gebruik van bijkomende hulpstoffen, die meer lucht in het beton induceren, of door het feit dat brekerzand lichter is, en meer poriën bevat, waardoor meer lucht in het beton terecht komt.

Case study's

Nadat de mengsels gevalideerd werden, werd het beton met brekerzand door 2 bedrijven in praktijkprojecten gebruikt.

Kantoorgebouw De Brabandere

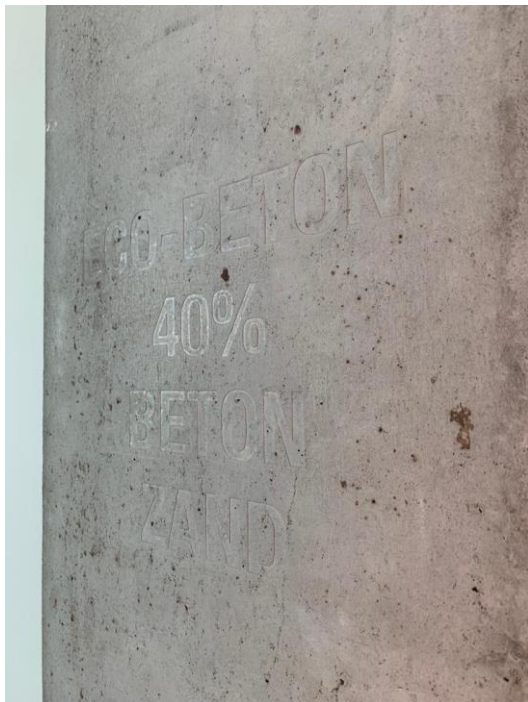
Zoals zichtbaar op de foto werd in het nieuwe kantoorgebouw van De Brabandere een betonsamenstelling gebruikt met 40% vervanging door brekerzand A+.

Hierbij werd vastgesteld dat het mengsel vrij veel lucht bevatte (3.7%) en dat de druksterkte iets lager lag dan de voordien geteste EE2-mengsels in labo-omstandigheden.

In vergelijking met de andere EE2-mengsels uit de validatieproeven is het mengsel beter bestand tegen vorst-dooi-cycli (wellicht wegens het hogere luchtgehalte), en vertoont het een vergelijkbare weerstand tegen carbonatatie.



© GUS



Betonvloer loods Oosterzele

In Oosterzele werd in december 2018 door OBBC een EE3-beton geleverd voor een loods van een hangar. Het betreft 1800 m² vloer in binnen- en buitenomgeving. Specifiek binnen werd de betonvloer hoogwaardig afgewerkt.

Er werden 2 mengsels aangemaakt. Een referentiemengsel voor C35/45 EE3 EA2 Dmax20 S4, met 375 kg cement (340 kg CEM I en 35 kg CEM III/A) en 182 liter effectief water (W/C = 0.49) en een

gelijkaardig mengsel (EE3) met 20% A+-zand (+- 300 kg). In dit mengsel werd ook de superplast van SIKa, Viscocrete 1068, toegepast.



De resultaten worden in onderstaande figuur, opgemaakt door OBBC samengevat. Deze proeven zijn uitgevoerd onder toezicht van de controle-instelling SECO. We leren hieruit dat het luchtgehalte van het beton met recyclingzand iets hoger ligt. Ook de W/Ceff is iets hoger. Dit vertaalt zich echter niet in een lagere druksterkte na 28 dagen. Ook op vlak van carbonatatie is er weinig tot geen verschil merkbaar tussen de 2 mengsels. Het massaverlies bij de vorst-dooi-proef ligt iets hoger bij het recycleage-beton, maar blijft beperkt tot 10%.

RICHT- WAARDE	PARAMETER	zand A+ in EE3		VERSCHIL	
		0 vol%	20 vol%		
1,5 %	Luchtgehalte	1,2 %	1,8 %	+ 0,6 %	
1000 liter	Rendement	998 liter	1008 liter	+ 10 liter	
375 kg/m3	Bindmiddel	375 kg/m3	372 kg/m3	- 3 kg/m3	
0,49	W/C effectief	0,46	0,50	+ 0,04	
0 kg/m3	Waterverschil	- 8 kg/m3	+ 5 kg/m3	+ 13 kg/m3	
19 cm	Consistentie	18 cm	17 cm	- 1 cm	
0	Ic-factor	-6	+ 10	+ 16	
 OPSTELLING VAN DE BODEMTOEGANG	Druksterkte 28 dagen	OBBC	58,0 MPa	58,4 MPa	+ 0,4 MPa
		SECO	60,8 MPa	61,1 MPa	+ 0,3 MPa
		WTCB	60,4 MPa	62,5 MPa	+ 2,1 MPa
		GEM	59,7 MPa	60,7 MPa	+ 1,0 MPa
 Water- en Toegangs- en					

Besluiten en aanbevelingen

De resultaten van het Sand2Sand-project zijn veelbelovend. In eerste instantie werd aangetoond dat het gerecycleerde zand dat in Vlaanderen beschikbaar is, van voldoende kwaliteit is om toepassingen in beton te beogen.

Wanneer dit wordt vertaald in betonsamenstellingen, is gebleken dat er voor verschillende toepassingsgebieden beton kan worden gemaakt met 10 en 20% vervanging van het zand-granulaat-skelet dat voldoet aan de geldende eisen. Uiteraard dient er voldoende voorstudie in acht genomen te worden, onder meer naar de waterhuishouding toe, maar mits gebruik van bv. superplastificeerder kan een verwerkbaar en voldoende sterk beton worden geproduceerd.

Wel stellen we vast dat niet alle resultaten bij alle bedrijven in dezelfde richting gaan. Dit heeft uiteraard te maken met de verschillen in aanmaakprocedure en handeling bij de productie van het beton tussen de bedrijven onderling, en mogelijks ook met een aantal effecten die het brekerzand op beton heeft die we nog niet helemaal in kaart hebben gebracht. In het algemeen is er wel een (negatieve) impact van het gebruik van brekerzand zichtbaar, doch deze blijft binnen aanvaardbare grenzen. In een aantal gevallen werd zelfs een positieve impact vastgesteld.

Ter afsluiting worden hieronder een aantal aanbevelingen voor vervolgacties meegegeven.

Onderzoek

Tijdens het Sand2Sand-project werden een aantal aspecten vastgesteld die verder onderzoek noodzaken. In eerste instantie denken we aan het bepalen van de waterabsorptie en de volumieke massa van gerecycleerde zanden. Dit blijkt in praktijk een moeilijke proef, of althans voor interpretatie vatbaar. Een duidelijker criterium, of een alternatieve bepalingsmethode zouden kunnen bijdragen aan een juistere omgang met de waterabsorptie van brekerzand in beton.

Normalisatie & certificatie

Bij het normenkader en certificatie denken we in eerste instantie dat de definitie van het begrip 'zand' voor verwarring kan zorgen, wanneer recyclagematerialen worden gebruikt. Immers gaat het vaak om een fractie 0/8 of 0/6.3, en dient het vervangingspercentage dus niet te worden uitgedrukt relatief ten opzichte van het aandeel zand ($D < 4\text{mm}$) of grof granulaat, maar ten opzichte van het hele inerte skelet.

In tweede instantie lijkt het op basis van de bekomen resultaten nog te vroeg om het bestaande normenkader al open te trekken naar het gebruik van gerecycleerde zanden. Het lijkt verstandiger om eerst verder ervaring op te doen. We merkten ook verschillen in de resultaten tussen de verschillende partijen; deze afweging leidt eerder tot een certificatie-spoor op product- of productent-basis, waarbij voorlopers nu al de kwaliteit die ze behalen kunnen (laten) onderbouwen, eerder dan via de norm iedereen al de mogelijkheid te geven beton met brekerzanden te produceren.

Beleid ter ondersteuning van de praktijk

Het is duidelijk dat voorloper-bedrijven in dit domein in staat zijn om een volgende stap in hun ontwikkeling te zetten. Het is ook aan de overheid om dit soort initiatieven te blijven ondersteunen, enerzijds door voldoende middelen te voorzien, anderzijds ook door een voortrekker-rol te spelen als opdrachtgever en grote bouwheer.

Dankwoord – Betrokken partners

Sand2Sand is een samenwerking tussen volgende partners:



Sand2Sand werd financieel ondersteund door :



Sand2Sand werd opgevolgd door volgende stakeholders:



Referenties

- [1] Vrijders, J., Dooms, B. and Van Itterbeeck, P., 'Putting recycled concrete into practice in Belgium: From case studies over chain management to standards and quality assurance', in 'International HISER Conference on Advances in Recycling and Management of Construction and Demolition Waste', 21-23 June 2017, Delft University of Technology, Delft, The Netherlands
- [2] Evangelista, L., & de Brito, J. (2014). Concrete with fine recycled aggregates: a review. *European Journal of Environmental and Civil Engineering*, 18(2), 129-172.
- [3] Feys, C., Joseph, M., Boehme, L., & Zhang, Y. (2016). Assessment of fine recycled aggregates in mortar. *CESB 2016 - Central Europe Towards Sustainable Building 2016: Innovations for Sustainable Future*. Prague.
- [4] Joseph, M., Boehme, L., Sierens, Z., & Vandewalle, L. (2015). Water absorption variability of recycled concrete aggregates. *Magazine of Concrete Research*, 11(67), 592-597.
- [5] Bureau voor Normalisatie. (2013). *NBN EN 12620: Aggregates for concrete*. Brussel: Bureau voor Normalisatie.
- [6] Bureau voor Normalisatie. (2013). *NBN EN 13242: Aggregates for unbound and hydraulically bound materials for use in civil engineering work and road construction*. Brussel: Bureau voor Standardisatie.
- [7] Bureau voor Normalisatie. (2012). *NBN EN 933-1 Tests for geometrical properties of aggregates - Part 1: Determination of particle size distribution - Sieving method*. Brussel: Bureau voor Normalisatie.