

ENKELE CIRCULAIRE OPLOSSINGEN ONDER DE LOEP

Niels Hulsbosch

Bram Doods, Laura Kupers & Jeroen Vrijders

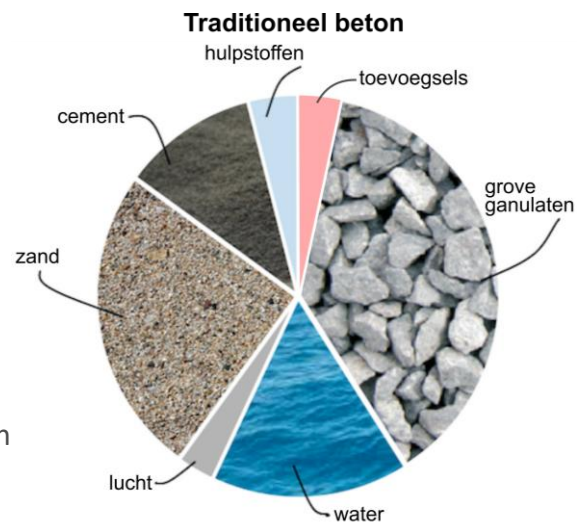
WTCB

1

CIRCULAIRE TECHNOLOGIEËN IN HET LABO

Proefprogramma's

1. Alternatieve cementen en toevoegsels
2. Alkali geactiveerde materialen (AAM's)
3. Maximaal inert skelet
4. Recyclagetechnologie
 - A. 'Slimme' breker
 - B. Carbonatatie van gerecycleerde granulaten



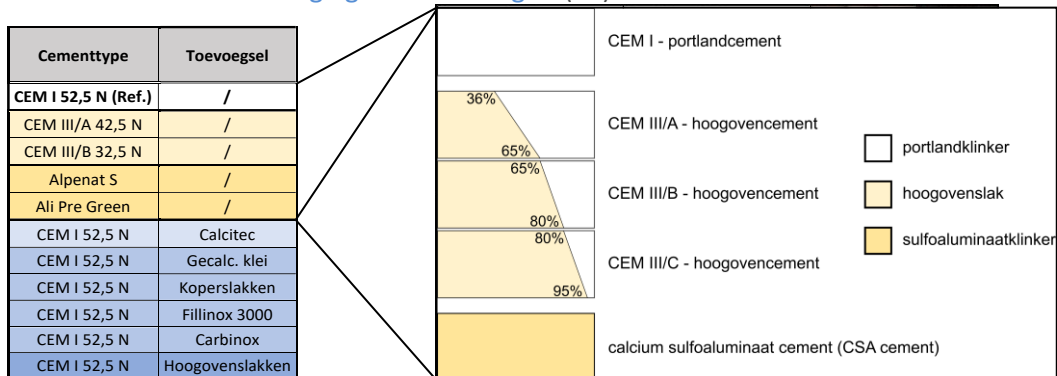
1

2

1. Alternatieve cementen en toevoegsels

■ Standaard mortelmengsels

- CEM I 52,5 N referentie cement
- 100 m% **alternatieve cementvervanging (#4)**
- 40 m% **cementvervanging door toevoegsel (#6)**

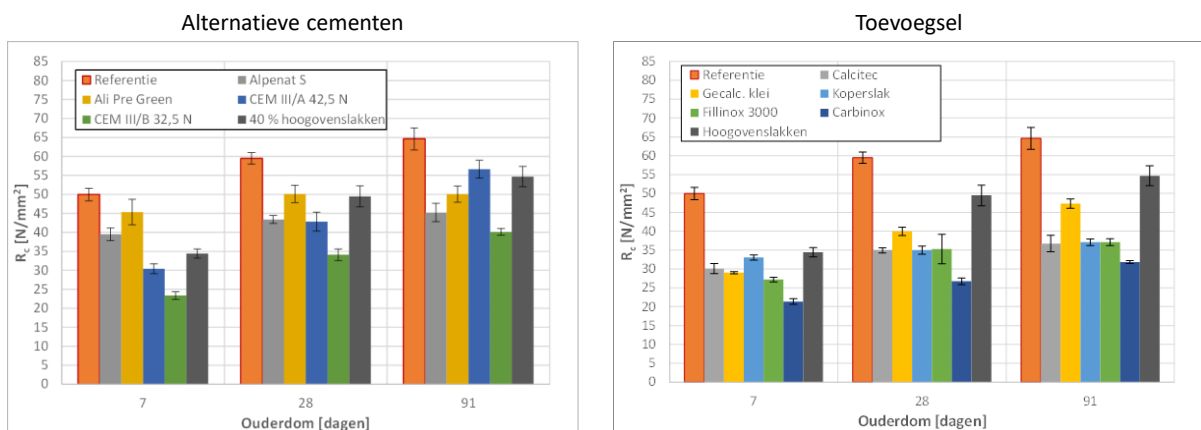


2

3

1. Alternatieve cementen en toevoegsels

■ Druksterkte verharde mortel



3

4

CIRCULAIRE TECHNOLOGIEËN IN HET LABO



1. Alternatieve cementen en toevoegsels

Conclusies:

- Alternatieve CSA cementen
 - 25% lagere klinkertemperatuur en 20% lagere CO₂-voetafdruk t.o.v. CEM I*
 - Snelle binding en zeer snelle sterkteontwikkeling (sterkteklasse 42,5)
- Toevoegsels
 - 'Belgische' alternatieve en secundaire toevoegsels
 - Inert (type I): Fillinox, Carbinox, koperslakken en CalciTec
 - Reactief (type II): gecalcineerde klei en hoogovenslak (EcoCem - LMA)
 - 40 m% vervanging door hoogovenslak (LMA; k=1) → Gelijkwaardige prestaties als CEM III/A 42,5 N en betere als CEM III/B 32,5 N

*Lea's Chemistry of Cement and Concrete. Fifth Edition

4

5

CIRCULAIRE TECHNOLOGIEËN IN HET LABO



2. Alkali geactiveerde materialen (AAM's)

Referentie-beton:

- EE2: vorst, geen regen (CEM III/A 42,5 N)
- EE4: vorst en dooizouten (CEM I 42,5 R HES)

AA-beton:

- ResourceFull
 - EE2: hoogoven- en RVS-slakken
 - EE4* (EE3): hoogovenslak, cement en kalksteenmeel
- SQAPE Technology
 - EE2*/EE4: activator en hulpstof, natronloog, waterglas



(!) Vergelijking op basis van duurzaamheid, niet op welbepaalde mechanische prestaties



AA-BETON

* Zelfverdichtend beton (ZVB)

5

6

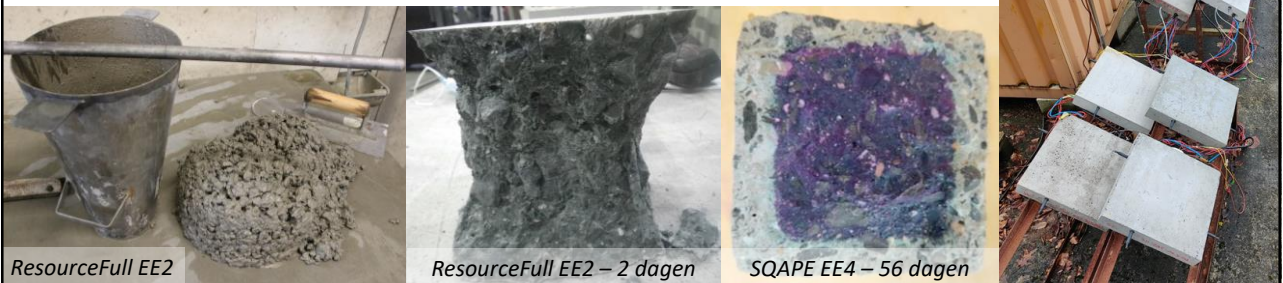
CIRCULAIRE TECHNOLOGIEËN IN HET LABO



2. Alkali geactiveerde materialen

■ Proefprogramma

- Specie (#3)
- Verhard beton (#5)
- Duurzaamheid (#5)
- Corrosiegedrag van wapening



6

7

CIRCULAIRE TECHNOLOGIEËN IN HET LABO



2. Alkali geactiveerde materialen

■ Proeven AA-specie

- Betonning en verwerkbaarheid in de tijd

*RSF-EE4 en SQAPE-EE2 → ZVB's




7

8

CIRCULAIRE TECHNOLOGIEËN IN HET LABO

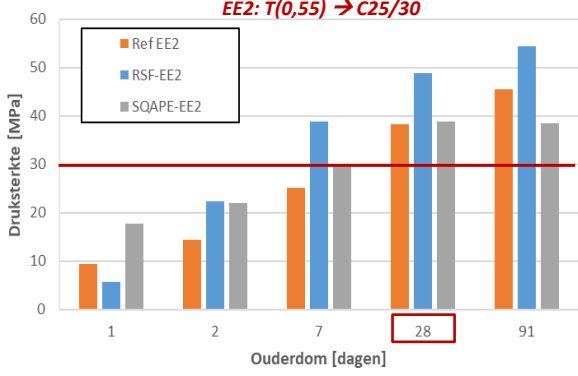
2. Alkali geactiveerde materialen

- Proeven verhard beton
 - Kubusdruksterkte



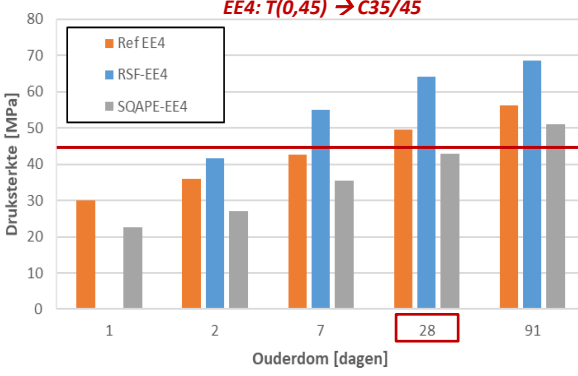
*ResourceFull EE2
2 dagen*

EE2: T(0,55) → C25/30



Ouderdom [dagen]	Ref EE2 [MPa]	RSF-EE2 [MPa]	SQAPE-EE2 [MPa]
1	10	6	18
2	15	22	22
7	25	38	30
28	38	48	38
91	45	55	38

EE4: T(0,45) → C35/45



Ouderdom [dagen]	Ref EE4 [MPa]	RSF-EE4 [MPa]	SQAPE-EE4 [MPa]
1	30	22	22
2	35	42	28
7	42	55	35
28	50	65	42
91	55	68	50

8

9




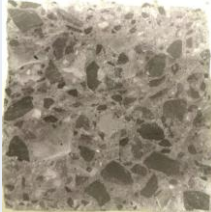
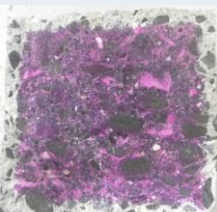

CIRCULAIRE TECHNOLOGIEËN IN HET LABO

2. Alkali geactiveerde materialen

- Duurzaamheid
 - Carbonatatie

56 dagen

CO₂-kamer:
1 % CO₂, (20 ± 2)°C en (60 ± 10) % RV

	REF	RSF	SQAPE
EE2			
EE4			

9

10

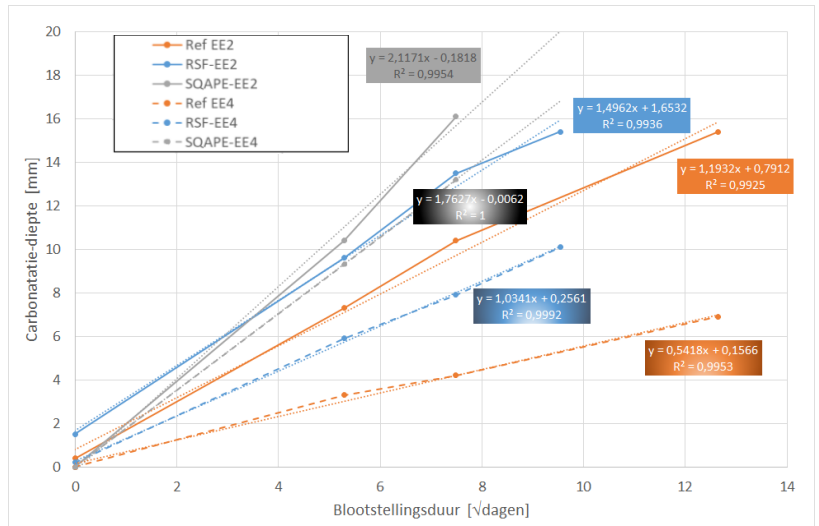
2. Alkali geactiveerde materialen

■ Duurzaamheid

- Carbonatatie

(!) Carbonatatiemechanismes in AAM's ≠ traditioneel beton +

Versnelde beproeving AAM's → foutief voorspelde kortere levensduur
(Zie ook bv. Bernal et al. (2012) en Pauhet & Cyr (2016))

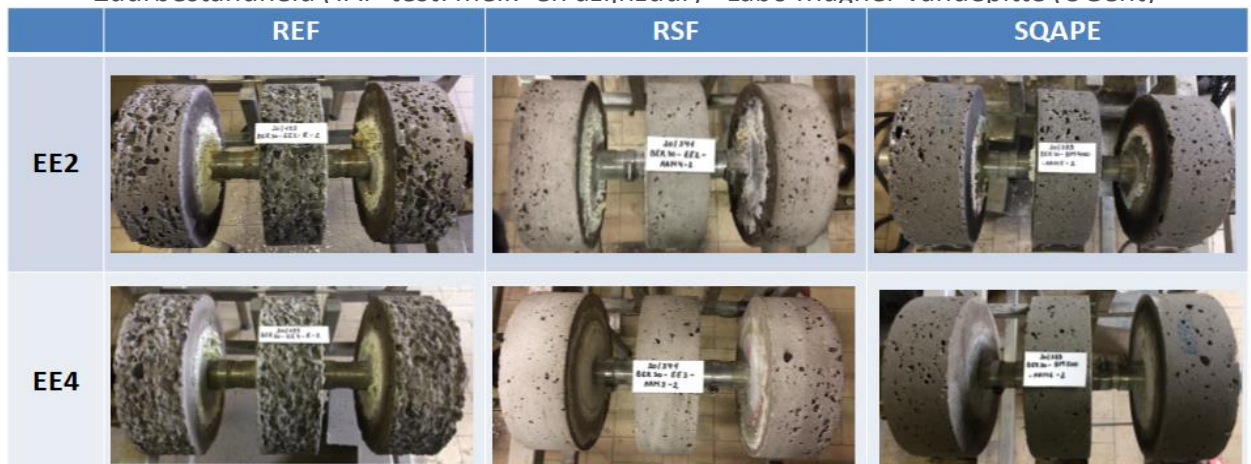


11

2. Alkali geactiveerde materialen

■ Duurzaamheid

- Zuurbestandheid (TAP-test: melk- en aziijnzuur) - Labo Magnel-Vandepitte (UGent)



12

CIRCULAIRE TECHNOLOGIEËN IN HET LABO



2. Alkali geactiveerde materialen

- Conclusies:

- Verwerkbaarheid AA-specie soortgelijk aan traditioneel beton
- Mechanische eigenschappen verharde AA-beton
 - Soortgelijk of beter t.o.v. referenties
- Hoge duurzaamheid verharde AA-beton:
 - Bv. zuurbestandheid
 - Specifieke toepassingen → agressieve omgevingen
- Uitdagingen & opvolgstudies
 - Normenkader en upscaling
 - Vlaams betonakkoord

Zitbanken (Leuven) – ResourceFull EE4



Gemaal 'Coehoorn' (NL) – SQAPE



Bron: LinkedIn

12

13

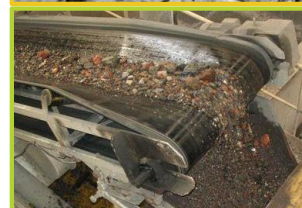
CIRCULAIRE TECHNOLOGIEËN IN HET LABO



3. Maximaal inert skelet

- Gerecycleerde en secundaire granulaten

Granulaatype	Leverancier
Breekzand 0/4	AC Materials
Breekzand 0/6,3	De Brabandere
Breekzand 0/4	Willemen infra
Betongranulaat 8/20	AC Materials
Betongranulaat 8/20	De Brabandere
Betongranulaat 4/20	Willemen infra
Fysicochemisch gereinigd zand 0/4	Bioterra
Koperslakken 0/4	Metallo
RVS-slakken 0/2	Orbix
RVS-slakken 2/10	Orbix



13

14

CIRCULAIRE TECHNOLOGIEËN IN HET LABO

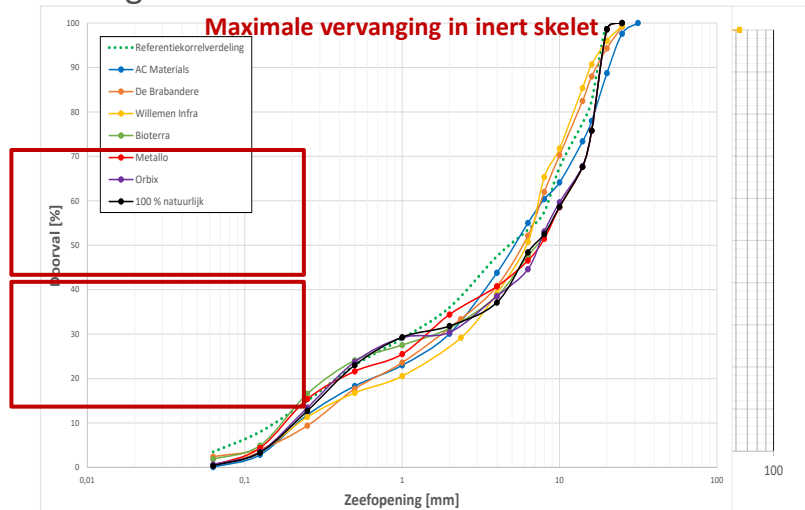


3. Maximaal inert skelet

■ Gerecycleerde en secundaire granulaten

Leverancier	
	AC Materials
	De Brabandere
	Willemen infra
	Bioterra
	Metallo
	Orbix
	100 % natuurlijk

referentiekorrelverdeling zie NBN EN 480-1



14

15

CIRCULAIRE TECHNOLOGIEËN IN HET LABO



3. Maximaal gerecycleerd inert skelet

■ Conclusies: **beton** met gerecycleerde granulaten (**90-100 % vervanging**)

- Verminderde mechanische eigenschappen
 - Bij EE2-beton is invloed eerder beperkt, bij EE4-beton significant
- Duurzaamheid
 - Verminderde weerstand tegen carbonatatie en chloridenindringing
 - Gelijkaardige vorstweerstand, behalve bij 100 % vervanging
- Belang goede waterhuishouding in kringloopbetonsamenstelling
 - Waterabsorptie granulaten ↑↑ en meer variabel (zeker brekerzandfractie)
 - Vochtgehalte granulaten ⇔ toegevoegd 'absorptiewater' ⇔ partiële absorptie tijdens mengen ⇔ verwerkbaarheid specie
 - Risico op surplus effectief water: W/C ↑ en druksterkte ↓
- Zeer hoge vervangingspercentages t.o.v. NBN B 15-001 (~20-30%)

15

16

CIRCULAIRE TECHNOLOGIEËN IN HET LABO



3. Maximaal kunstmatig inert skelet

- Conclusies: **beton** met kunstmatige granulaten
 - Gereinigd zand 0/4: 26 % vervanging
 - Koperslakken 0/4: 20 % vervanging
 - RVS-slakken 0/2 + 2/10: 49 % vervanging
 - Gelijkaardige tot verbeterde mechanische eigenschappen en duurzaamheid

Biostoom
Beringen



16

17

CIRCULAIRE TECHNOLOGIEËN IN HET LABO



4. Recyclagetechnologie

A. 'Slimme' breker' (*SmartCrusher*)

- Conclusies
 - Continue korrelverdeling met relatief veel fijn materiaal
 - Eigenschappen van gerecycleerde granulaten
 - Beperkte opwaardering: volumieke massa, waterabsorptie, Micro-Deval etc.
 - Aanwezigheid cementsteen: invloed 'Belgisch' beton met gebroken kalksteen?
 - Fijne fractie (< 0,125 mm)
 - Weinig tot geen hydraulische reactiviteit (inert)
 - Beton (EE2) met 100 % behandelde, gerecycleerde granulaten
 - In principe volledig gerecycleerd inert skelet + inerte filler
 - Goede verwerkbaarheid met laag luchtgehalte
 - Zeer grote invloed op volumieke massa, druksterkte, wateropsorping en carbonatatieweerstand



17

18

CIRCULAIRE TECHNOLOGIEËN IN HET LABO

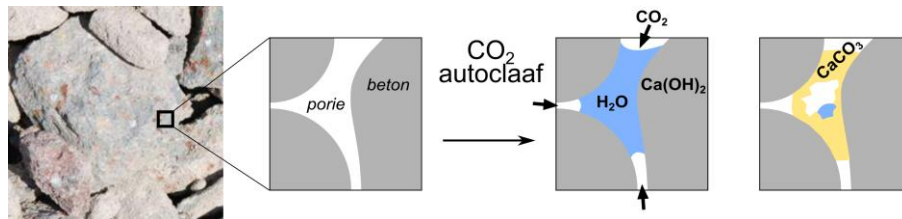


4. Recyclage-technologie

B. Carbonatatie van gerecycleerde granulaten

■ Conclusies

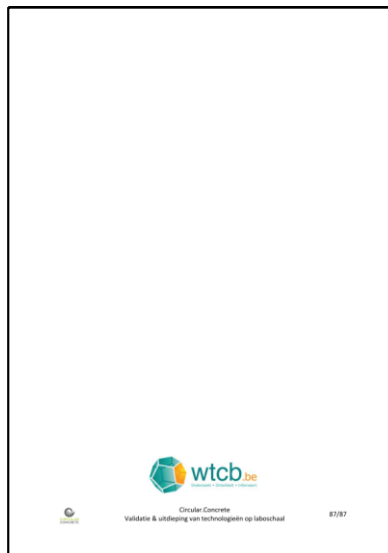
- Doel: verlagen porositeit en permeabiliteit granulaten
- Betongranulaat en breekzand → CO₂-autoclaaf (Orbix)
- Waarneembare maar beperkte verbetering fysische eigenschappen
- Uitdagingen: upscaling en CO₂-bron (industrieel of atmosferisch)



18

19

CIRCULAIRE TECHNOLOGIEËN IN HET LABO

Publiek eindrapport (www.circular-concrete.be)

19

20