



Evaluatie van de geschiktheid voor gebruik van ternaire cementen met alternatieve grondstoffen

Betonsamenstellingen onderworpen aan vorst-dooicycli in aanwezigheid van dooizouten

Inleiding

In het kader van het prenormatieve project NEOCEM beoordelen de Belgische collectieve onderzoekscentra voor de cementindustrie (CRIC-OCCN) en de (wegen)bouwsector (OCW en Buildwise) sinds 2020 de geschiktheid voor gebruik van nieuwe, alternatieve ternaire cementsoorten.

De Europese norm NBN EN 197-5 (Bureau voor Normalisatie, [NBN], 2021) heeft onlangs nieuwe soorten ternair cement (CEM II/C-M en CEM VI) opgenomen die tot 20% van hun massa aan kalksteen- of dolomitische vulstof bevatten. Gecalceerde klei is ook bestudeerd als nieuw mineraal vervangingsmateriaal (MVM) in CEM II/B-, CEM II/C-M- en CEM V-cementen.

In overeenstemming met de Belgische normalisatieregels moet de specifieke geschiktheid voor gebruik van deze nieuwe cementen worden aangetoond in overeenstemming met de voorschriften van de Belgische norm NBN B15-100 (NBN, 2018a). Dat is de belangrijkste doelstelling van het prenormatieve onderzoeksproject NEOCEM. Binnen het kader van dit project is een ambitieus beproevingsprogramma uitgevoerd op verschillende betonsamenstellingen overeenkomstig verschillende milieu- of omgevingsklassen.

Hoewel de samenstelling van wegenbeton in België niet volledig overeenstemt met de specificaties van de normen voor beton (NBN EN 206 [NBN, 2013+2021] en nationale bijlage NBN B15-001 [NBN, 2022]), is het interessant om de resultaten te bekijken die werden verkregen op samenstellingen van omgevingsklasse EE4, met en zonder luchtbelvormer. Klasse EE4 houdt ook de weerstand in van het beton tegen vorst-dooicycli in aanwezigheid van dooizouten, dus de weerstand tegen afschilfering.

Ook al zijn er geen specifieke wegenbetonsamenstellingen getest, toch kunnen de resultaten van het NEOCEM-onderzoeksproject dienen als uitgangspunt voor verdere studies naar het mogelijke gebruik van ternaire cementen en andere minerale vervangingsmaterialen in wegenbeton.

Onderzoeksvraagstukken

De koolstofvoetafdruk van cementproductie kan aanzienlijk worden verminderd door een deel van de Portlandklinker te vervangen door MVM's zoals vliegashoestof, hoogovenslak of gecalcineerde klei.

Deze materialen dragen bij aan milieuvriendelijkere bouwpraktijken en aan het verminderen van de milieu-impact van de bouwindustrie.

In deze context is hoogovencement CEM III/A 42,5 LA al vele jaren de referentie voor de meeste betonverhardingen in de Belgische wegenbouwsector.

In de toekomst kan de bouwsector echter worden geconfronteerd met de tijdelijke onbeschikbaarheid van bepaalde cementsoorten, waaronder CEM III/A, en zal hij wellicht zijn toevlucht moeten nemen tot andere cementsoorten die alternatieve MVM's bevatten. Daarom is het nodig om ons begrip van het gedrag van alternatieve bindmiddelen in betonsamenstellingen te verbeteren.

Algemene beschrijving van het NEOCEM-project

Als onderdeel van het NEOCEM-project werden aanvankelijk 25 verschillende cementsoorten geproduceerd in het laboratorium met een combinatie van klinker, twee soorten slak, drie soorten gecalcineerde klei, vier kalksteenvulstoffen en gips als bindingsregelaar.

Er werden proeven uitgevoerd op mortelsamenstellingen en vervolgens werden 16 cementsoorten geselecteerd om te worden beproefd in zes verschillende betonsamenstellingen, die overeenkomen met de meest representatieve omgevingsklassen in België.

Het hoofddoel van het onderzoeksproject was het beoordelen van de algemene en specifieke geschiktheid voor gebruik van de nieuwe cementsoorten in betonsamenstellingen die tot specifieke omgevingsklassen behoren. De proeven vereist in de referentienorm voor de beoordeling van de geschiktheid voor gebruik van alternatieve cementen (NBN, 2018a) werden uitgevoerd.

Om het aantal proeven te beperken kwam het klinkergehalte van elke cementsoort meestal overeen met de laagst mogelijke waarde volgens de norm (als "worst-case" scenario).

In dit document analyseren we de verkregen resultaten voor de betonsamenstellingen die het dichtst in de buurt komen van de wegenbetonsamenstellingen die in België klassiek worden gebruikt, dus klasse EE4-samenstellingen met een water/cementverhouding van 0,45 en een minimaal cementgehalte van 340 kg/m³, met en zonder luchtbelvormer.

Bestanddelen van het cement

De bestanddelen gebruikt in EE4-betonsamenstellingen (combinatie van milieuklassen XC4, XD3 en XF4) worden vermeld in tabel 1.

Bestanddeel	Code	Opmerking
Klinker	K	CEM I 52,5 N cement
Hoogovenslak	S	
Gecalcineerde klei	Q1	Lokale oorsprong
	Q2	Lokale oorsprong
	Q3	Buiten België
Vulstof van calciumcarbonaat	L	Totaal organisch koolstof (TOC) ≤ 0,5 %
	LL	TOC ≤ 0,2% - CaCO ₃ ≥ 99%
	L''	TOC ≥ 0,5% - CaCO ₃ ≥ 75%
	Ld	(MgCO ₃ +CaCO ₃) ≥ 75% - Dolomitische kalksteen

Tabel 1 - Bestanddelen van de cementsoorten gebruikt in EE4-samenstellingen.

Geselecteerde cementen

Er werden vijf verschillende cementsoorten geproduceerd, die behoren tot de familie van de nieuwe ternaire cementen zoals gedefinieerd in de norm NBN EN 197-5 (NBN, 2021): CEM II/B-M (Q-L), CEM II/C-M (S-L), CEM II/C-M (Q-L), CEM VI (S-L) en een andere variant, CEM V/A (Q-S), geproduceerd uit slak en gecalcineerde klei.

Verschiedende combinaties van MVM's werden gekozen voor de vervaardiging van 14 cementen en 2 referentiecementen, en dit dus voor de validatie van EE4-betonsamenstellingen (tabel 2).

Zoals eerder aangegeven, was het klinkergehalte van elke cementsoort laag, rekening houdend met de eisen van de norm voor deze cementsoort. Daarom zijn de resultaten verkregen met verschillende cementsoorten niet direct vergelijkbaar.

De cementsoorten CEM II/B-M (1 en 2) hebben het hoogste klinkergehalte, met een CEM I-gehalte van 65 %.

CEM VI-cementen (11 tot 14) hebben het laagste klinkergehalte, met een CEM I-gehalte van 35 %.

De andere cementsamenstellingen hebben CEM I-gehaltes van 45 of 50 %.

N°	Cement	CEM I 52,5 N	Gecalci- neerde klei Q1	Gecalci- neerde klei Q2	Gecalci- neerde klei Q3	Slak S	Kalksteen- vulstof L	Kalksteen- vulstof L"	Kalksteen- vulstof Ld	Kalksteen- vulstof LL	Gips
1	CEM II/B-M (Q1-L) ; Q125/L10	65	25				10				(1)
2	CEM II/B-M (Q3-L) ; Q3 25/L10	65			25		10				(1)
3	CEM II/C-M (S-LL) ; S30/L20	50				30				20	(1)
4	CEM II/C-M (S-L) ; S30/L20	50				30	20				(1)
5	CEM II/C-M (S-L") ; S30/L20	50				30		20			(1)
6	CEM II/C-M (S-Ld) ; S30/L20	50				30			20		(1)
7	CEM V/A (S-Q1) ; S30/Q1 25	45	25			30					(1)
8	CEM V/A (S-Q2) ; S30/Q2 25	45		25		30					(1)
9	CEM II/C-M (Q1-L) ; Q1 40/L10	50	40				10				(1)
10	CEM II/C-M (Q3-L) ; Q3 40/L10	50			40		10				(1)
11	CEM VI (S-LL) ; S45/L20	35				45				20	(1)
12	CEM VI (S-L) ; S45/L20	35				45	20				(1)
13	CEM VI (S-L") ; S45/L20	35				45		20			(1)
14	CEM VI (S-Ld) ; S45/L20	35				45			20		(1)
15	CEM I 52,5 N	100									(1)
16	CEM III/A met (15) ; K45/S55	45				55					(1)

(1) Hoeveelheid die nodig is om te zorgen dat het totale sulfaatgehalte van het cement gelijk is aan 3,5 %.

Tabel 2 - Vervaardigde cementsoorten en hun samenstelling in %

Betonsamenstellingen

Alle betonsamenstellingen (voorbeeld in tabel 3) zijn ontworpen in overeenstemming met de eisen van de betonnorm NBN EN 206 (NBN, 2013+2021) en de Belgische nationale bijlage NBN B15-001 (NBN, 2022).

De beoogde slumpwaarde bedroeg 150 mm en bij gebruik van een luchtbelvormer (LBV) was het beoogde luchtgehalte (6±2) %.

Wat betreft de consistentie van de betonmengsels werd al snel duidelijk dat de beoogde slumpwaarde moeilijk te bereiken was met samenstellingen die gecalcineerde klei bevatten. Er moest dus een andere versie van de superplastificeerder (SP) worden gebruikt (Sika Viscocrete 1560 in plaats van Sika Viscocrete 1020x).

Deze EE4-betonsamenstellingen uit het NEOCEM-project komen het dichtst in de buurt van Belgische wegenbetonsamenstellingen, ontworpen om zware verkeersbelastingen, Belgische weersomstandigheden en temperatuurschommelingen te weerstaan.

Er zijn echter aanzienlijke verschillen tussen samenstellingen die voldoen aan de norm en samenstellingen van wegenbeton zoals gespecificeerd in de gewestelijke standaardbestekken voor de wegenbouw. Ten eerste is het cementgehalte van wegenbetonsamenstellingen hoger, tot 400 kg/m³. Ten tweede is het beoogde inerte skelet anders.

Bestanddeel	Geen LBV (kg/m ³)	Met LBV (kg/m ³)
Cement	340	340
Kalksteen 4/6,3	169	159
Kalksteen 6,3/14	416	391
Kalksteen 14/20	446	419
Zand 0/2	195	184
Zand 0/4 (rond)	654	617
Water	153	153
Geabsorbeerd water	9	8
Superplastificeerder Sika Viscocrete (1020x of 1560)	2,0 tot 4,0	1,6 tot 3,0
LBV Sika LPSA-94	-	0,07 tot 0,26

Tabel 3 – Voorbeeld van geteste EE4-betonsamenstellingen, met en zonder luchtbelvormer (LBV)

Bovendien moet in wegenbeton de slumpwaarde laag genoeg worden gehouden om de aanbrenging met een glijbekistingsmachine mogelijk te maken. In wegenbeton wordt meestal gebruik gemaakt van een plastificeerder en een luchtbelvormer. Het luchtgehalte bedraagt meestal 3 tot 4 % om de weerstand tegen afschilfering van het beton te garanderen, zonder al te veel verlies in mechanische sterkte te hebben.

Eisen van het Vlaamse standaardbestek SB 250

Het Vlaamse standaardbestek SB 250 (Vlaamse Overheid, Agentschap Wegen en Verkeer [AWV], 2021) geeft gedetailleerde specificaties voor de uitvoering van een voorstudie op wegenbeton.

De eisen van de voorstudie op het gebied van druksterkte, waterabsorptie door onderdomping en weerstand tegen afschilfering (*Slab test*) worden gepresenteerd in Tabel 4.

Proef	Eenheid	Monster	Bouwklasse					
			B1 tot B5 (zwaar)		B6 tot B10 (matig/laag)		BF (fietspaden)	
			A<3,0	A≥3,0	A<3,0	A≥3,0	A<3,0	A≥3,0
Rc 7 dagen	MPa	Kubussen (15x15x15) cm ³	35	30	30	25	25	20
Rc 28 dagen	MPa		55	50	45	40	40	35
WAI	%	Kubussen (10x10x10) cm ³	6,0	TBR	6,0	TBR	6,0	TBR
Afschilfering op 28 dagen	kg/m ²	Boorkernen uit het bekiste oppervlak van kubussen	1,5		3,0		3,0	

A = Luchtgehalte van de betonsamenstelling in %
TBR = *To Be Reported*
Rc = druksterkte
WAI = waterabsorptie door onderdompeling

Tabel 4 – Eisen van de voorstudie volgens Vlaams standaardbestek SB 250 (Vlaamse Overheid, AWW, 2021)

Beproevingresultaten

Vers beton

De resultaten voor het verse beton worden getoond in tabel 5. Het dient te worden opgemerkt dat verschillende betonsamenstellingen zonder luchtbelvormer relatief hoge luchtgehalten hebben, met negen samenstellingen die een luchtgehalte van 3 % of meer vertonen.

In het bijzonder vertoonden samenstellingen met cement met gecalcineerde klei (nr. 1, 2, 9, 10) de hoogste luchtgehaltenes (> 3,5 %).

De dosering van hulpstoffen varieerde aanzienlijk tussen de verschillende cementen, zelfs binnen hetzelfde type maar met verschillende MVM's. Door de grote verscheidenheid aan samenstellingen met verschillende bestanddelen en het brede scala aan slumpwaarden, is het moeilijk om de specifieke invloed van de bestanddelen op de dosering van de hulpstof te bepalen.

De variatie in de dosering van de hulpstof bij het gebruik van verschillende MVM's is een grote uitdaging bij het gebruik van alternatieve cementen.

N°	Cement	Geen LBV			Met LBV			
		SP (%)	Slump (mm)	Luchtgehalte (%)	SP (%)	LV (%)	Slump (mm)	Luchtgehalte (%)
1	CEM II/B-M (Q1-L); Q125/L10	1,03	190	3,6	0,74	0,02	150	5,1
2	CEM II/B-M (Q3-L); Q3 25/L10	1,03	150	4,8	0,88	0,02	160	7,0
3	CEM II/C-M (S-LL); S30/L20	0,59	150	3,0	0,53	0,03	120	6,0
4	CEM II/C-M (S-L); S30/L20	1,09	160	3,0	0,74	0,09	160	7,5
5	CEM II/C-M (S-L'); S30/L20	1,00	110	3,0	0,74	0,10	190	4,2
6	CEM II/C-M (S-Ld); S30/L20	0,88	160	2,7	0,79	0,02	190	5,2
7	CEM V/A (S-Q1); S30/Q1 25	0,74	180	2,3	0,59	0,04	220	4,1
8	CEM V/A (S-Q2); S30/Q2 25	1,03	150	3,2	0,76	0,03	150	5,6
9	CEM II/C-M (Q1-L); Q1 40/L10	0,88	120	3,6	0,59	0,03	150	4,8
10	CEM II/C-M (Q3-L); Q3 40/L10	1,18	150	3,8	0,94	0,02	150	6,0
11	CEM VI (S-LL); S45/L20	0,79	200	1,3	0,47	0,02	160	4,2
12	CEM VI (S-L); S45/L20	0,79	150	1,7	0,74	0,08	190	4,0
13	CEM VI (S-L'); S45/L20	0,88	140	3,0	0,59	0,07	200	4,6
14	CEM VI (S-Ld); S45/L20	0,88	180	2,2	0,47	0,05	130	8,0
15	CEM I 52,5 N	1,18	180	2,6	0,79	0,02	150	5,4
16	CEM III/A; K45/S55	0,88	180	2,5	0,59	0,03	170	5,5

Tabel 5 – Consistentie en luchtgehalte van betonsamenstellingen

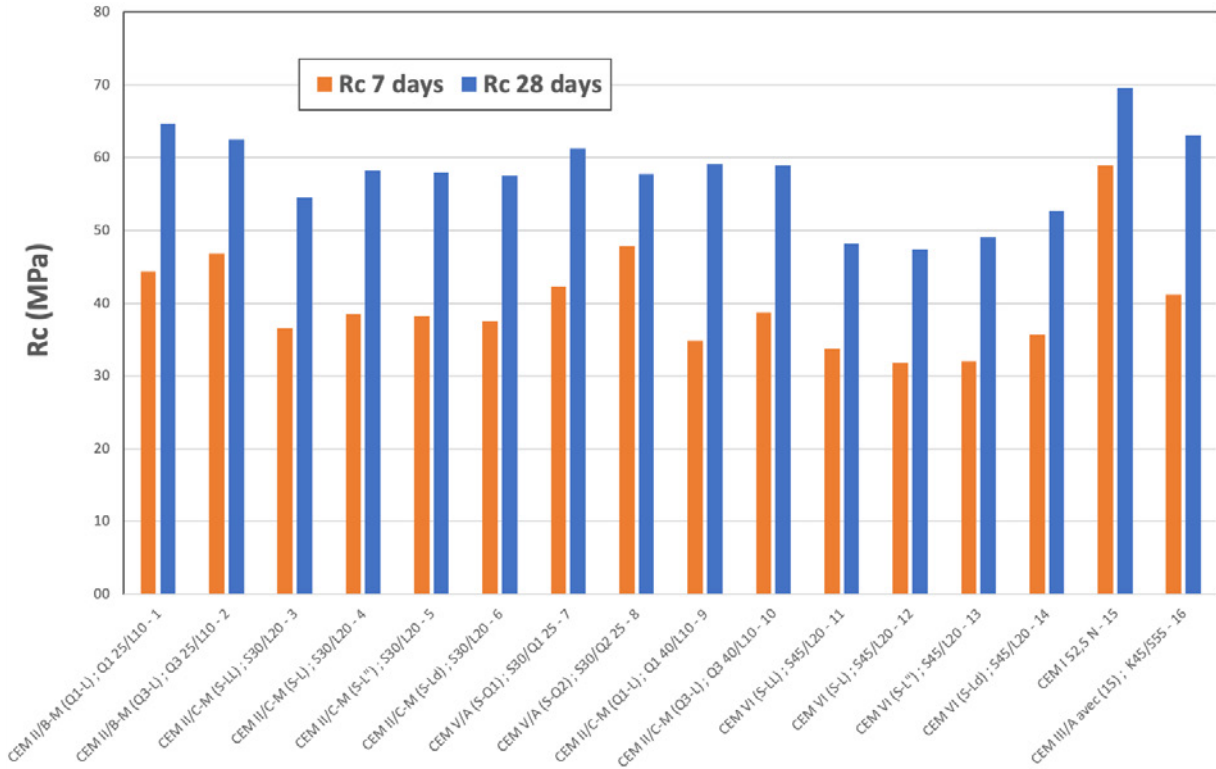
Druksterkte

De druksterkte werd gemeten op kubussen (15x15x15) cm³ in overeenstemming met NBN EN 12390-3 (NBN, 2016).

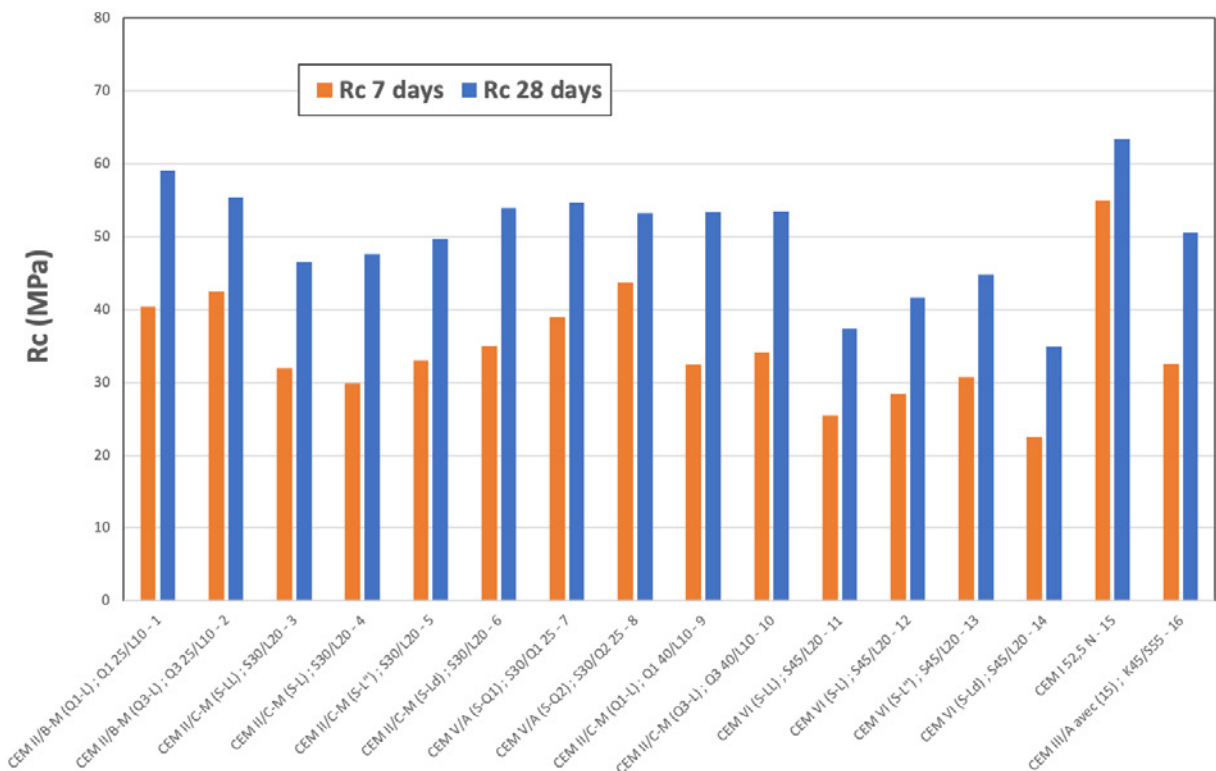
De resultaten na 7 en 28 dagen worden getoond in figuur 1 (zonder LBV) en in figuur 2 (met LBV).

Als we kijken naar SB 250 (Vlaamse Overheid, AWW, 2021) voor de vereisten van de voorstudie, zien we dat veel resultaten voldoen aan een van de drie verkeerscategorieën. Slechts één samenstelling met CEM VI cement (cement 14, met LBV) bereikte de laagste minimumwaarde niet. Zoals hierboven vermeld, is het klinkergehalte van dit cement, net als voor alle CEM VI-cementsamenstellingen (nr. 11 tot 14), het laagst van alle beproefde samenstellingen.

Zoals hierboven vermeld, hebben de beproefde samenstellingen een cementgehalte van 340 kg/m^3 , terwijl wegebeton in België doorgaans een cementgehalte heeft dat varieert van 350 tot 400 kg/m^3 , afhankelijk van de verkeerscategorie.



Figuur 1 - Druksterkte van de EE4-samenstellingen zonder luchtbelvormer



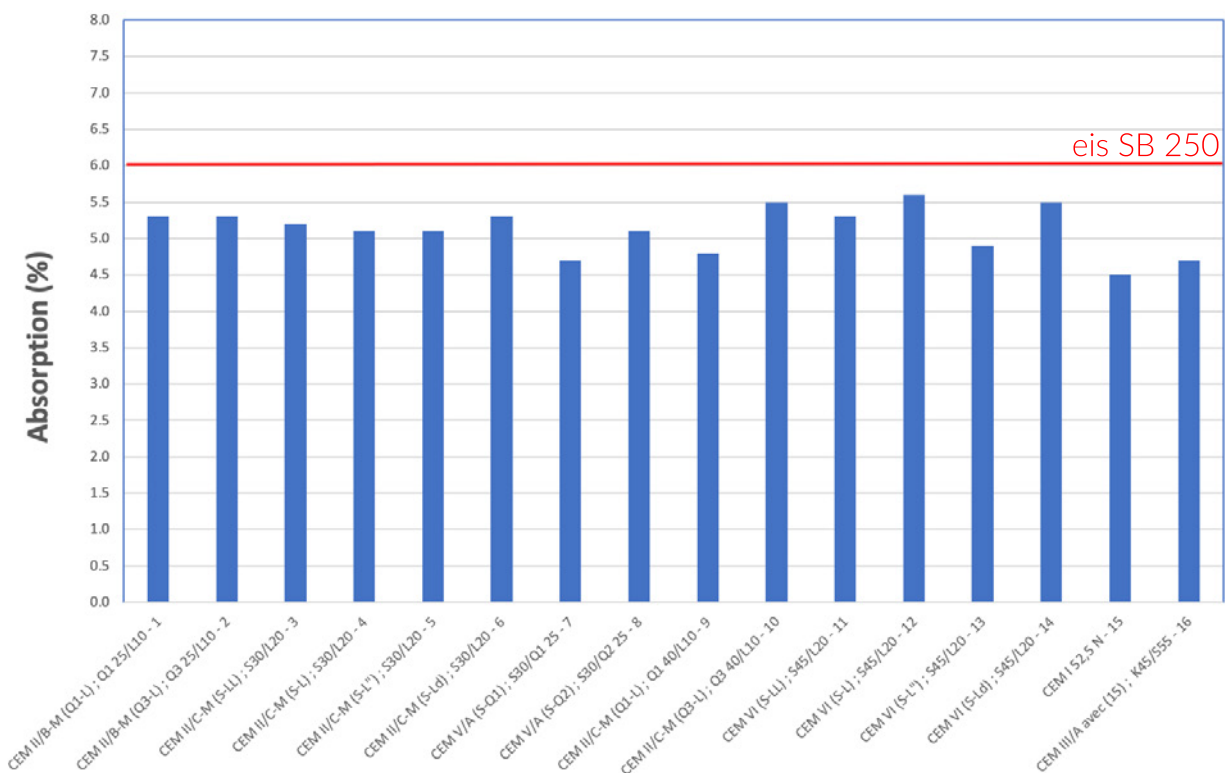
Figuur 2 - Druksterkte van EE4-samenstellingen met luchtbelvormer

Waterabsorptie

De waterabsorptieproeven (door onderdompeling) werden uitgevoerd op kubussen (10x10x10) cm³ in overeenstemming met de Belgische norm NBN B15-215 (NBN, 2018b).

De resultaten worden hieronder gepresenteerd in figuur 3 (voor de samenstellingen zonder LBV).

Alle resultaten liggen onder de maximale grenswaarde van 6 % die vereist is in het Vlaamse standaardbestek voor de voorstudie (voor luchtgehaltes < 3%).



Figuur 3 – Resultaten voor waterabsorptie (door onderdompeling) voor EE4-samenstellingen zonder luchtbelvormer

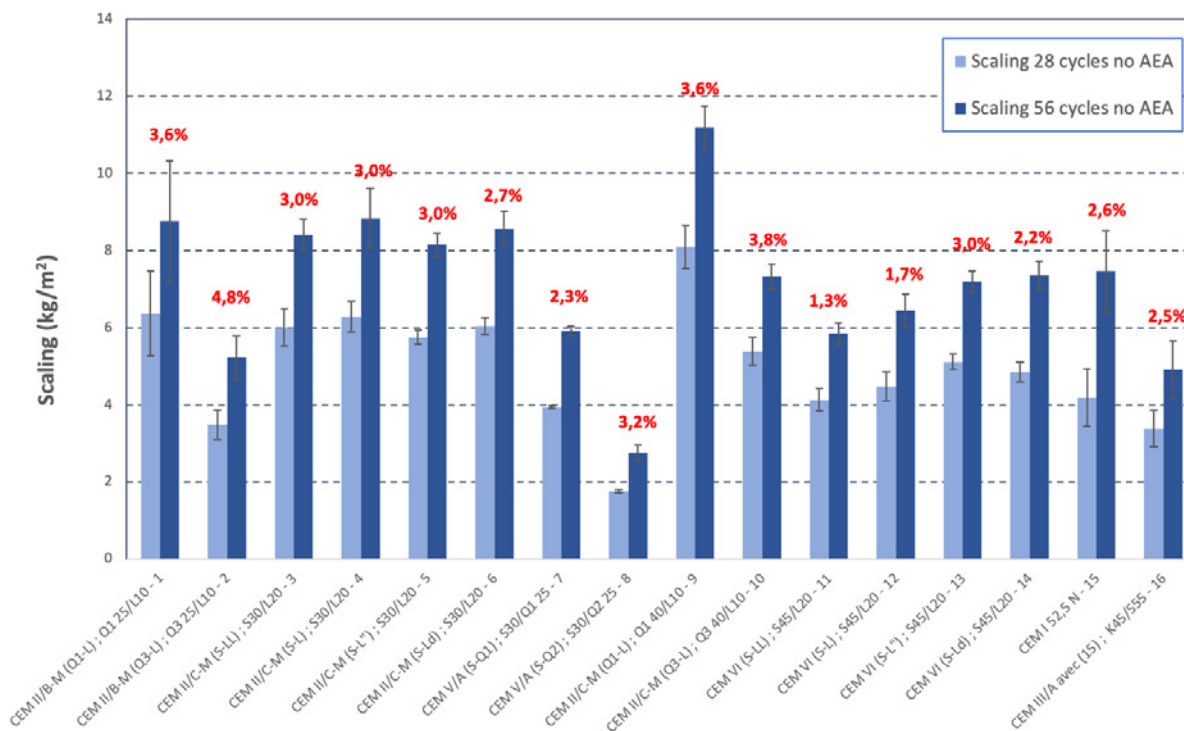
Resultaten van de Slab test

De weerstand van beton tegen afschilfering wordt beoordeeld met een methode die is afgeleid van de referentiespecificatie CEN/TS 12390-9 (NBN, 2016), algemeen bekend als de *Slab test*.

De beproevingsmethode bestaat uit het onderwerpen van betonmonsters aan herhaalde vorst-dooicycli (telkens 24 uur), waarbij het bovenste oppervlak bedekt wordt met een dooizoutoplossing. De weerstand van het beton tegen dooizouten wordt daarbij geëvalueerd door de hoeveelheid afgeschilferd materiaal na een bepaald aantal cycli te bepalen (bv. na 28 of 56 vries-dooicycli).

De resultaten van de *Slab test* in combinatie met het luchtgehalte gemeten op het verse beton worden gepresenteerd in figuur 4 en figuur 5.

Voor samenstellingen zonder luchtbelvormer is te zien dat hogere luchtgehaltenes niet noodzakelijk leiden tot lagere waarden voor de afschilfering. Het netwerk van holle ruimtes dat ontstaat zonder het gebruik van een luchtbelvormer draagt mogelijk niet altijd bij aan een effectieve weerstand tegen dooizouten.

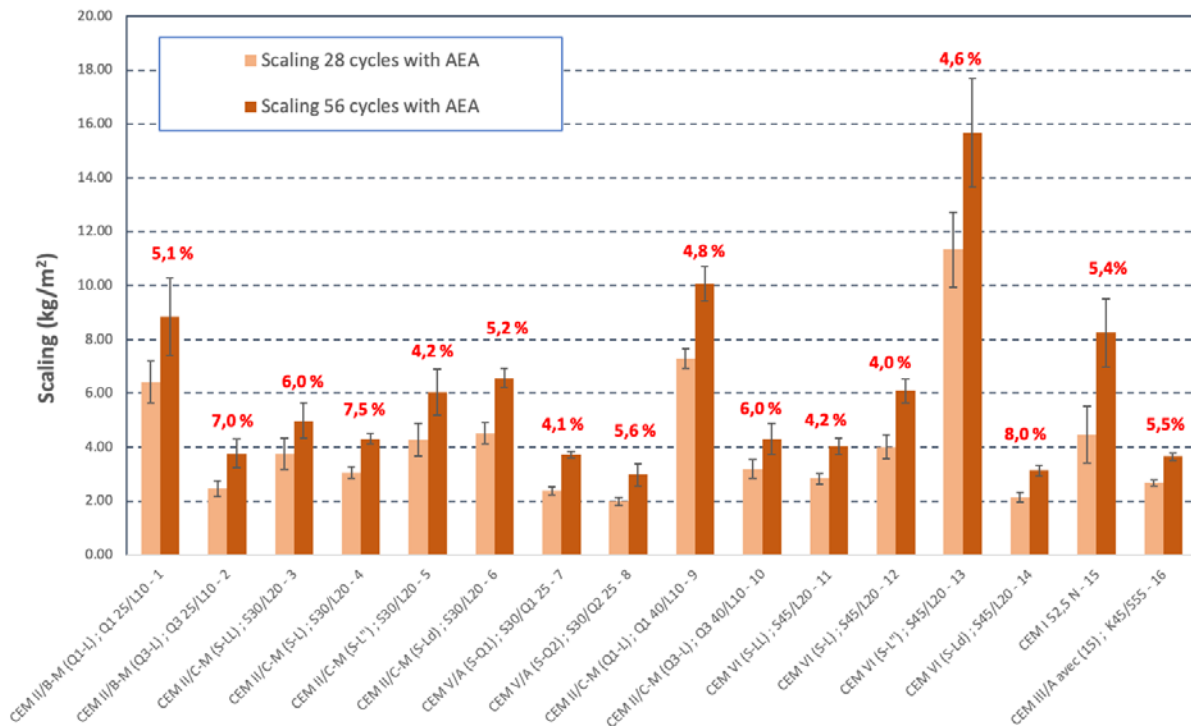


Figuur 4 – Resultaten van de Slab test voor EE4-samenstellingen zonder luchtbelvormer; het luchtgehalte van het verse beton wordt in het rood weergegeven boven de staven

Zoals verwacht hebben samenstellingen met luchtbelvormer een betere weerstand tegen afschilfering (figuur 5). Deze weerstand is echter matig en het criterium dat overeenkomt met een hoge verkeersbelasting (Bouwklasse B1-B5: 1,5 kg/m²) wordt voor geen enkele samenstelling gehaald, zelfs niet voor die met de referentiecement CEM III/A. Slechts zes samenstellingen (met cement nr. 2, 7, 8, 11, 14 en 16) voldeden aan het criterium voor matige en lage verkeersbelasting en fietspaden (B6-B10, BF: 3,0 kg/m²).

Een andere opmerkelijke vaststelling is dat het gebruik van een luchtbelvormer niet noodzakelijk leidt tot een verbetering van de weerstand tegen afschilfering. Dat is het geval voor samenstellingen die cementen nr. 1, 8, 13 en 15 bevatten.

Hoewel de beproevingsresultaten waarschijnlijk zullen verbeteren met een hoger cementgehalte in de betonsamenstellingen, is de effectiviteit van de verdeling van microscopische luchtbelletjes tegen afschilfering niet duidelijk aangetoond in deze gevallen.



Figuur 5 – Resultaten van de Slab test voor EE4-samenstellingen met luchtbelvormer; het luchtgehalte van het verse beton wordt boven de staven in het rood weergegeven

Duurzaamheidsresultaten voor andere betonsamenstellingen

Vanwege het grote totale aantal betonsamenstellingen dat in het NEOCEM-project moest worden beproefd, werden alleen de betonsamenstellingen T(0,50) en T(0,60), die overeenkomen met een water/cementverhouding van respectievelijk 0,5 en 0,6, onderzocht op weerstand tegen carbonatatie, vorstbestendigheid, chloridemigratie, krimp en weerstand tegen alkali-silicareactie.

Op het moment van schrijven zijn sommige proeven nog lopend of in de interpretatiefase, maar de eerste resultaten zijn bemoedigend.

Bespreking van de resultaten per cementsoort

CEM II B/M met gecalcineerde klei en kalksteenvulstof

Deze cementen (nr. 1 en 2) bevatten 65 % CEM I 52,5, 25 % gecalcineerde klei van verschillende bronnen en 10 % kalksteenvulstof L. Ze hebben het hoogste klinkergehalte van alle beproefde cementen.

Vanuit het oogpunt van duurzame ontwikkeling zijn deze cementen niet de meest interessante als we kijken naar de CO₂-uitstoot als gevolg van het klinkerproductieproces.

De druksterkte van betonsamenstellingen met deze cementen voldoet aan de eisen voor hoge verkeersbelastingen (categorie B1 tot B5).

Het luchtgehalte in de betonsamenstelling zonder luchtbelvormer is vrij hoog (3,6 en 4,8 %). Ondanks deze hoge luchtgehalten is de afschilferingswaarde niet lager dan de waarde van de betonsamenstelling met CEM III/A cement.

CEM II C/M met slak en kalksteenvulstof

Deze cementen (nr. 3 tot 6) bevatten 50 % CEM I 52,5, 30 % slak en 20 % kalksteenvulstof met verschillende eigenschappen.

Zonder het gebruik van een luchtbelvormer voldoet de druksterkte van betonsamenstellingen met deze cementen aan de eisen voor hoge verkeersbelastingen (categorie B1 tot B5). Samenstellingen met luchtbelvormer voldoen aan de eisen voor matige of lage verkeersbelasting (B6-B10), met uitzondering van één samenstelling (cement nr. 6), die nog steeds voldoet aan de eisen voor hoge verkeersbelasting.

Betonsamenstellingen gemaakt met deze cementen hebben hoge afschilferingswaarden vergeleken met de samenstelling met CEM III/A, met of zonder luchtbelvormer.

CEM II C/M met gecalcineerde klei en kalksteenvulstof

Deze cementen (nr. 9 en 10) bevatten 50 % CEM I 52,5, 40 % gecalcineerde klei van verschillende bronnen en 10 % kalksteenvulstof L.

De druksterkte van betonsamenstellingen met deze cementen voldoet aan de eisen voor hoge verkeersbelastingen (categorie B1 tot B5).

Betonsamenstellingen gemaakt met deze cementen hebben hoge afschilferingswaarden vergeleken met de samenstelling met CEM III/A, met of zonder luchtbelvormer.

CEM V/A met slak en gecalcineerde klei

Deze cementen (nr. 7 en 8) bevatten 45 % CEM I 52,5, 30 % slak en 25 % gecalcineerde klei van verschillende oorsprong.

De druksterkte van betonsamenstellingen met deze cementen voldoet aan de eisen voor hoge verkeersbelastingen (categorie B1 tot B5).

Betonsamenstellingen gemaakt met deze cementen hebben afschilferingswaarden die vergelijkbaar zijn aan de samenstelling met CEM III/A, met of zonder luchtbelvormer.

Rekening houdend met het matige klinkergehalte van deze cementen (45 % CEM I 52,5) hebben ze een goed potentieel om CEM III/A te vervangen als er op de lokale markt gecalcineerde klei beschikbaar is.

Er zullen verdere proeven moeten worden uitgevoerd om dat te bevestigen.

CEM VI met slak en kalksteenvulstof

Deze cementen (nr. 11 tot 14) bevatten 35 % CEM I 52,5, 45 % slak en 20 % kalksteenvulstof met verschillende eigenschappen. Ze hebben het laagste klinkergehalte van alle beproefde cementen.

De druksterkte van betonsamenstellingen met deze cementen voldoet niet aan de eisen voor hoge verkeersbelastingen (categorie B1 tot B5). De meeste voldoen wel aan de eisen voor matige of lage verkeersbelasting (B6-B10), met uitzondering van de samenstellingen met cement nr. 11 (voldoet wel aan verkeerscategorie BF, fietspaden) en 14 (de criteria werden nooit bereikt).

De betonsamenstellingen gemaakt met deze cementen hebben hogere afschilferingswaarden dan de samenstelling met CEM III/A, maar vergelijkbaar of lager dan de samenstellingen met CEM II/C-M met hogere klinkergehaltes. De samenstelling die cement nr. 13 en luchtbelvormer bevat, vertoont echter abnormaal hoge afschilferingswaarden. Helaas kon dit laatste resultaat niet worden geverifieerd, omdat dit cement volledig was gebruikt voor andere proeven.

Het zou interessant zijn om een onderzoek uit te voeren naar een **CEM VI-cement dat meer klinker bevat om het potentiële gebruik ervan in wegenbetonsamenstellingen te beoordelen.**

Conclusie

Rekening houdend met de specificaties van het Vlaamse standaardbestek SB 250 voor de voorstudie van wegenbetonsamenstellingen, lijkt het mogelijk om andere cementsoorten te gebruiken dan het over het algemeen in België gebruikte hoogovencement CEM III/A.

Er moeten aanvullende proeven worden uitgevoerd op “echte” wegenbetonsamenstellingen met deze alternatieve cementsoorten of cementen met nieuwe minerale vervangingsmaterialen (MVM's) om hun geschiktheid voor verschillende verkeers- en klimaatbelastingen te valideren.

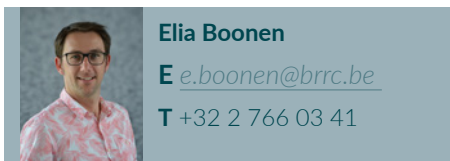
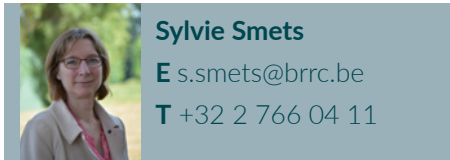
Het gebruik van alternatieve cementen met gecalcineerde klei heeft het gebruik van een specifieke superplastificeerder noodzakelijk gemaakt, waarvan het effect op het gehalte aan luchtbellen is gemeten, maar niet volledig begrepen. Het is niet zeker dat de door deze hulpstof (en mogelijk door de aanwezigheid van gecalcineerde klei) veroorzaakte luchtinluitsels een rol kunnen spelen bij de bescherming van het beton tegen afschilfering door dooizouten.

Een beter begrip van de kenmerken van het netwerk van luchtbellen, zoals de afstandsfactor of het specifieke oppervlak van de luchtbellen, zou een beter inzicht geven in de invloed van specifieke hulpstoffen op de ontwikkeling van het netwerk van luchtbellen.

Het gebruik van andere cementsoorten in wegenbeton vereist een betere beheersing van de dosering van hulpstoffen en een beter begrip van de interactie tussen plastificeerders en luchtbelvormers in combinatie met deze alternatieve cementen.

Dankbetuiging

De auteurs willen graag de FOD Economie (Federale Overheidsdienst) en het Belgisch Instituut voor Normalisatie (NBN) bedanken voor hun (financiële) steun aan het project.



Literatuur

- Bureau voor Normalisatie (NBN). (2016). *Testen van uitgehard beton. Deel 9: Vorst-dooi-bestendigheid met dooizouten: Schaalvorming* (CEN/TS 12390-9). https://app.nbn.be/data/r/platform/frontend/detail?p40_id=212805&p40_language_code=nl&p40_detail_id=79363&session=11970424815855
- Bureau voor Normalisatie (NBN). (2018a). *Beton: Methodologie voor de evaluatie en attestering van de gebruiksgeschiktheid van cementen en van toevoegsels bestemd voor beton* (NBN B 15-100). https://app.nbn.be/data/r/platform/frontend/detail?p40_id=350216&p40_language_code=nl&p40_detail_id=113221&session=11970424815855
- Bureau voor Normalisatie (NBN). (2018b). *Beproeving van verhard beton: Wateropsorping door onderdompeling* (NBN B 15-215). https://app.nbn.be/data/r/platform/frontend/detail?p40_id=350206&p40_language_code=nl&p40_detail_id=113244&session=11970424815855
- Bureau voor Normalisatie (NBN). (2013+2021). *Beton: Specificatie, prestaties, productie en conformiteit* (NBN EN 206+A2). https://app.nbn.be/data/r/platform/frontend/detail?p40_id=204035&p40_language_code=nl&p40_detail_id=120794&session=11970424815855
- Bureau voor Normalisatie (NBN). (2021). *Cement. Deel 5: Portland-composietcement CEM II/C-M en composietcement CEM VI* (NBN EN 197-5). https://app.nbn.be/data/r/platform/frontend/detail?p40_id=204821&p40_language_code=nl&p40_detail_id=96059&session=11970424815855
- Bureau voor Normalisatie (NBN). (2022). *Beton: Specificatie, eigenschappen, vervaardiging en conformiteit: Nationale aanvulling bij NBN EN 206:2013+A2:2021* (NBN B 15-001). https://app.nbn.be/data/r/platform/frontend/detail?p40_id=354020&p40_language_code=nl&p40_detail_id=117609&session=11970424815855
- Vlaamse Overheid, Agentschap Wegen en Verkeer (AWV). (2021). *Standaardbestek 250 voor de wegenbouw* (Versie 4.1a). <https://wegenenverkeer.be/zakelijk/documenten/standaardbestek>