



Volgens CONREPNET (*Thematic network on performance-based rehabilitation of reinforced concrete structures*) is vorstschade na wapeningscorrosie de tweede meest voorkomende vorm van betonschade in Europa. Vooral in onze contreien, waar de temperatuur tijdens de winterperiode sterk kan schommelen rond het vriespunt, is de vorstweerstand van beton een belangrijke eigenschap.

# Vorstschade aan betonnen buitenverhardingen: rol van het cement

## 1 Oppervlakkige vorstschade aan beton

Bij beevriezing ondergaat water een volumetoename van ongeveer 9%. Indien dit gebeurt in de capillaire poriën (grootteorde: 10 tot 1000 nm) van een met water verzadigd betonoppervlak, zal het poriënwater dieper in het materiaal geduwd worden (zie afbeelding 1, A1 → B1), zonder noodzakelijk tot oppervlakkige schade te leiden.

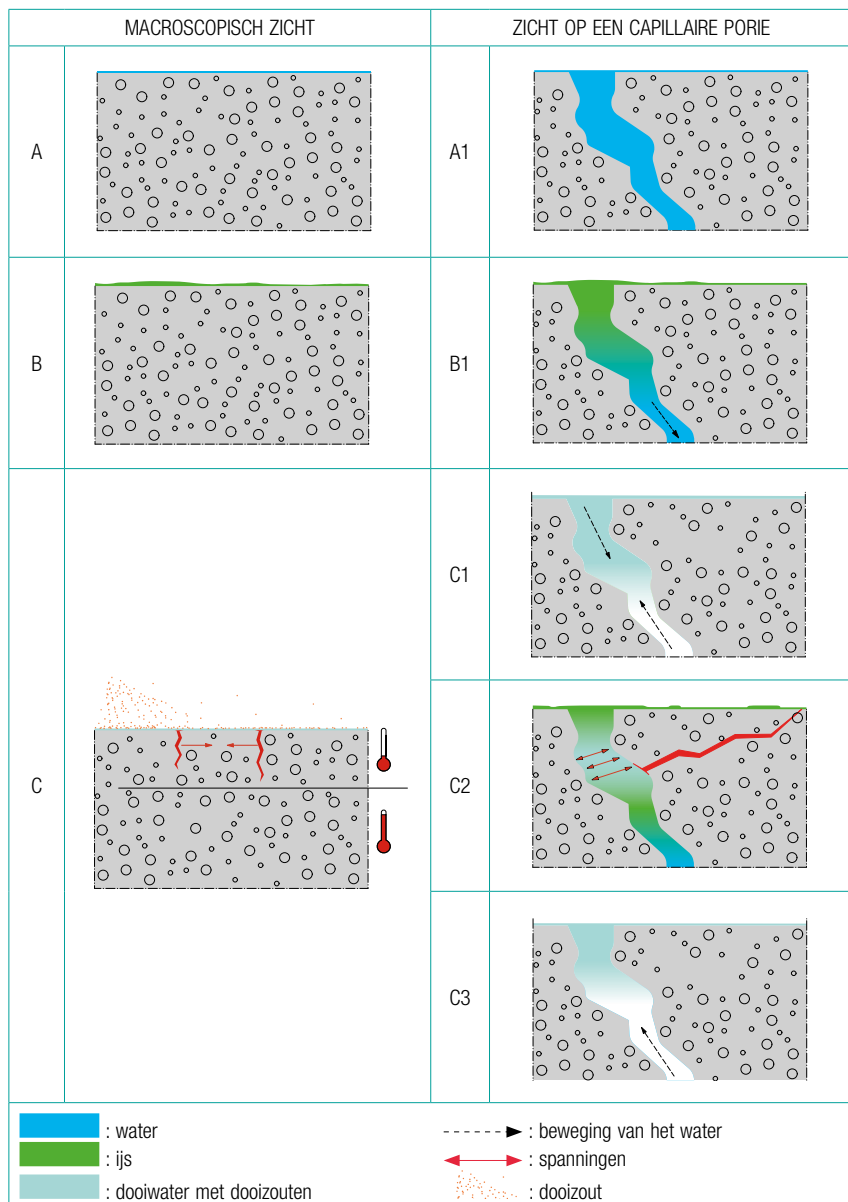
Door het aanwenden van dooizouten wordt het smeltpunt van het ijs plaatselijk verlaagd. Van zodra zijn smeltpunt tot onder zijn temperatuur zakt, begint het ijs te smelten doordat het warmte aan zijn omgeving – waaronder het betonoppervlak – onttrekt. Dit leidt tot een sterke temperatuurgradiënt in de oppervlaktezone van het beton (temperatuurschok), tot trekspanningen en mogelijk ook tot kleine scheurtjes en afschilferingen (zie afbeelding 1, C).

Op iets grotere diepte is de zoutconcentratie onvoldoende hoog om het ijs te laten smelten en kunnen er 'ijslenzen' ontstaan. Als gevolg van hun chemische potentiaal trekken deze laatste water aan, waardoor het betonoppervlak nog meer verzadigd raakt en er dieper in het element onderdrukken veroorzaakt worden (zie afbeelding 1, C1).

Wanneer het in de poriën aanwezige dooiwater ter hoogte van het betonoppervlak opnieuw beevriest (bv. als gevolg van een vermindering van de dooizoutconcentratie), kan er daaronder water ingesloten raken, dat bij een verdere beevriezing tegen de porieënwallen zal beginnen te drukken en aanleiding kan geven tot afschilferingen aan het betonoppervlak (zie afbeelding 1, C2).

Daarnaast kunnen ook de osmotische

## 1 | Oppervlakkige vorstschade aan beton (afschilfering) in aanwezigheid van dooizouten.



drukken, die tot stand komen door verschillen in zoutconcentratie in de poriën, aan de grondslag liggen van spanningen en scheurtjes (zie afbeelding 1, C3).

Als gevolg van deze spanningen, scheurtjes en afschilferingen kunnen de granulaten aan het betonoppervlak bloot komen te liggen (zie afbeelding 2, p. 2).

## 2 Invloedsparameters en bestaande richtlijnen

Rekening houdend met de hiervoor beschreven schademechanismen, kan de weerstand tegen oppervlakkige vorstschade van beton bevorderd worden door:

- de hoeveelheid en de grootte van de capillaire poriën te beperken
- te zorgen voor een hoge (trek)sterkte
- een netwerk van kleine luchtbelletjes te voorzien waarin het bevroren water kan uitzetten.

Deze parameters vindt men onrechtstreeks terug in de duurzaamheidseisen uit de norm NBN B 15-001 [1] (de Belgische nationale aanvulling bij de norm NBN EN 206 [2]) voor beton dat blootgesteld wordt aan vorst (milieuklassen XF of omgevingsklassen EE2, EE3, EE4 en ES2). Deze eisen hebben betrekking op de betonsamenstelling (het gebruik van vorstbestendige granulaten, een maximale water-cementfactor, een minimaal cementgehalte en een maximaal gehalte aan vliegassen). Indien er een grotere weerstand tegen dooizouten gewenst wordt, dient men tevens een minimaal luchtgehalte te respecteren, dat behaald kan worden door de toevoeging van luchtbelvormers.

De norm prNBN B 15-400 [3] bevat op zijn beurt richtlijnen voor de nabehandeling van beton (zie hiervoor ook [WTCB-Dossier 2011/2.4](#) [4]). Betonvloeren met een gladde oppervlakteafwerking (mechanisch gepolierd) zijn over het algemeen gevoeliger voor vorst (zie 'Handleiding voor industriële buitenverhardingen in beton' van het OCW [8]). Omwille van het grote sliprisico dat ermee gepaard gaat, is dit afwerkingstype overigens ten stelligste afgeraden voor buitenoppervlakken.

Naast de bovenstaande parameters oefent ook de gebruikte cementsoort een grote invloed uit op de uiteindelijke vorstweerstand van het beton. In tegenstelling tot bepaalde andere Europese landen, bestaan er hierover momenteel echter nog geen officiële richtlijnen in België.

Zo zijn er in de Luxemburgse nationale bijlage bij de norm EN 206 [7] niet alleen eisen opgenomen inzake de betonsamenstelling, maar wordt er voor elke milieuklasse ook melding gemaakt van de cementsoorten (conform de norm EN 197-1 [6]) die hierin toegelaten zijn. Wat de aantasting door vorst-dooicycli in aanwezigheid van dooizouten (milieuklassen XF2 en 4) betreft,



2 | Oppervlakkige afschilferingen door vorst in combinatie met dooizouten.

worden enkel de cementsoorten CEM I, CEM II/A-S en CEM II/B-S toegelaten. Zonder dooizouten (milieuklassen XF1 en 3) worden er bijkomend nog enkele andere cementsoorten geaccepteerd: bepaalde types CEM II (met kleine klinkervervangingspercentages), evenals CEM III/A en B.

De Duitse nationale bijlage laat op haar beurt meer cementsoorten toe in vorstomstandigheden (o.a. CEM III/A en B met bijkomende eisen inzake de betonsamenstelling en bepaalde soorten CEM II met hogere klinkervervangingspercentages in de milieuklassen XF2 en 4).

## 3 Resultaten van het onderzoeksproject

In het kader van een lopend prenormatief onderzoeksproject dat in 2010 opgestart werd in samenwerking met het OCW en het CRIC-OCCN, wordt de invloed van de cementsoort op de oppervlakkige vorstweerstand van betonvloeren nagegaan volgens de Europese technische specificatie CEN/TS 12390-9 [5] (*Slab-test*). Deze proef bestaat erin om een gezaagd oppervlak, bedekt met een NaCl-oplossing van 3 %, bloot te stellen aan 56 vorst-dooicycli en om de aldus afgeschilferde massa op bepaalde tijdstippen te recupereren en droog te wegen.

Hiertoe werden er 16 cementsoorten geselecteerd, waarmee vervolgens betonmengsels aangemaakt werden conform de in de norm NBN B 15-001 [1] geformuleerde minimale duurzaamheidseisen voor de omge-

vingsklasse EE4 (blootstelling aan vorst en dooizouten):

- een maximale water-cementfactor van 0,45
- een minimaal cementgehalte van 340 kg/m<sup>3</sup>
- gebruik van vorstbestendige kalksteengranulaten ( $D_{max}$  van 20 mm).

Aan deze mengsels werden hulpstoffen toegevoegd teneinde een consistentieklasse S3 te verkrijgen.

**Opmerking:** de in het kader van dit onderzoek geteste samenstellingen zijn niet representatief voor *alle* mogelijke toepassingen in de omgevingsklasse EE4. In de wegebouw bijvoorbeeld dienen er strengere eisen gevolgd te worden om de nodige duurzaamheid, vooropgesteld in de typebestekken, te verkrijgen:

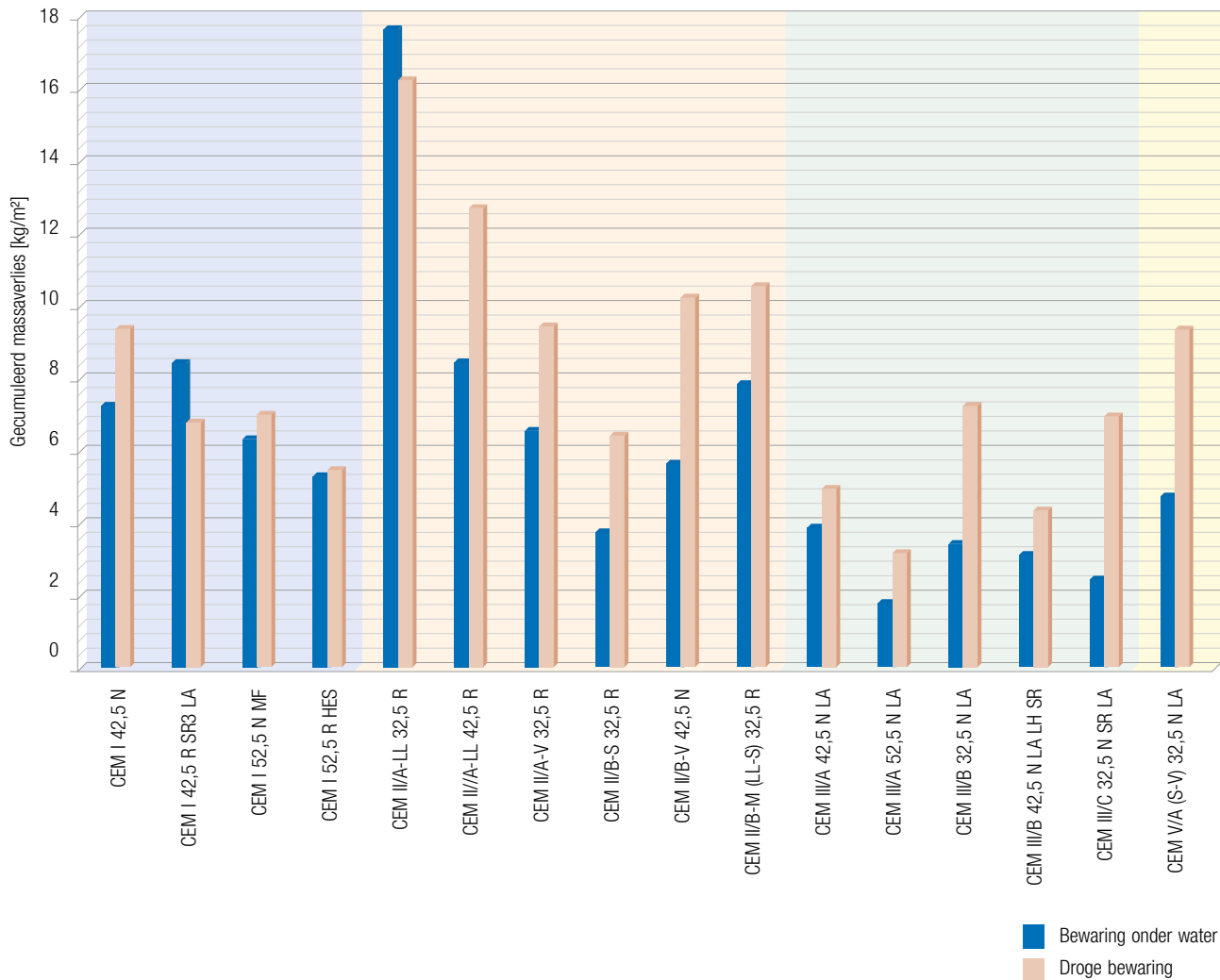
- verplicht gebruik van luchtbelvormers bij granulaten met een  $D_{max} \leq 20$  mm
- een minimaal cementgehalte van 375 à 400 kg/m<sup>3</sup>.

Met de aldus geformuleerde betonmengsels werden betonplaten aangemaakt, die na twee dagen ontkist werden en tot op een ouderdom van 7 dagen ondergedompeld werden in water bij een temperatuur van  $20 \pm 2$  °C. Vervolgens werden de proefstukken uitgeboord (diameter: 113 mm), op maat gezaagd (hoogte: 50 mm) en tot op een ouderdom van 56 dagen bewaard onder twee verschillende omstandigheden:

- onder water, bij een temperatuur van  $20 \pm 2$  °C
- droog, bij een temperatuur van  $20 \pm 2$  °C en een relatieve vochtigheid van  $60 \pm 5$  %.



3 | Gecumuleerde massaverliezen na 56 vorst-dooicycli (met zout) volgens CEN/TS 12390-9 voor een bewaring onder water en een droge bewaring.



Aan de hand van de voorlopige onderzoeksresultaten (zie afbeelding 3) kunnen de volgende vaststellingen gedaan worden met betrekking tot de weerstand tegen oppervlakkige afschilfering van beton, aangemaakt volgens de minimale duurzaamheidseisen uit de norm NBN B 15-001 [1]:

- het gebruik van eenzelfde cementsoort met een hogere sterkteklasse leidt algemeen tot een betere vorstweerstand
- de nabehandeling heeft een grote invloed op de vorstweerstand. Bij betonsoorten met Portlandcement (CEM I) is deze invloed minder uitgesproken. Dit is het gevolg van de snellere uitharding ervan
- bij de bewaring onder water scoren de cementsoorten met hoogovenslak (CEM III, CEM II/B-S en CEM V) het best. Hoe hoger het gehalte aan hoogovenslak, hoe beter het resultaat (al blijft de sterkteklasse nog bepalender). Cementsoorten met kalk-

steen ('LL') scoren het slechtst, terwijl Portlandcement (CEM I) en cement met vliegassen ('V') gemiddeld scoren

- bij een verdere droge bewaring behalen de composietcementen (CEM II, CEM V) met kalksteen ('LL') of vliegassen ('V') in de regel de slechtste resultaten, terwijl cementsoorten met hoogovenslak (CEM III) – vooral met een hogere sterkteklasse (42,5 en 52,5) – het best scoren.

#### 4 Besluiten

Daar waar cement met hoogovenslak tijdens het onderzoek de beste resultaten opleverde, wordt er in de praktijk toch geregeld vorstschade vastgesteld bij beton met deze cementsoort. Deze discrepantie valt te verklaren door het verschil in nabehandeling: het beton dat gebruikt werd tijdens

het onderzoek genoot gedurende de eerste zeven dagen na het storten immers een 'ideale' vochtige nabehandeling, terwijl dit in de praktijk bij betonnen buitenverhardingen vaak niet het geval is.

**Opmerking:** de hier voorgestelde resultaten zijn enkel geldig voor de in het kader van dit onderzoek beschouwde betonsamenstellingen (d.w.z. aangemaakt conform de minimale duurzaamheidseisen voor de omgevingsklasse EE4). De standaardbestekken kunnen voor bepaalde toepassingen in deze omgevingsklasse (bv. betonnen wegen of industriële toepassingen) echter strengere eisen opleggen inzake de samenstelling, die mogelijk tot andere resultaten kunnen leiden.

Hoewel de cementsoort een belangrijke impact heeft op de vorstweerstand van beton,



is de invloed van de nabehandeling nog groter. Vooral bij betonmengsels met een tragere sterkteontwikkeling (bv. met cementsoorten met hoogovenslak of vliegassen) is de nabehandeling bepalend. Indien men de cementsoorten wenst te klasseren volgens hun invloed op de vorstweerstand, dient men dus ook steeds de nabehandeling in aanmerking te nemen. ■

*B. Dooms, ir., adjunct-laboratoriumhoofd,  
laboratorium Betontechnologie, WTCB*

*G. Mosselmans, dr. ir., projectleider CRIC-OCCN  
A. Beeldens, dr. ir., senior onderzoeker OCW*

*Dit artikel werd opgesteld in het kader van de  
Normen-Antenne Beton-mortel-granulaten, met de  
financiële steun van de FOD Economie*

## LITERATUURLIJST

1. Bureau voor Normalisatie  
NBN B 15-001 Beton. Specificatie, eigenschappen, vervaardiging en conformiteit. Nationale aanvulling bij NBN EN 206-1:2001. Brussel, NBN, 2012.
2. Bureau voor Normalisatie  
NBN EN 206 Beton. Deel 1: specificatie, eigenschappen, vervaardiging en conformiteit. Brussel, NBN, 2014.
3. Bureau voor Normalisatie  
prNBN B 15-400 Uitvoering van betonconstructies. Nationale aanvulling bij NBN EN 13670:2010. Brussel, NBN, 2012.
4. Dieryck V., Pollet V., Parmentier B. en Denoël J.-F.  
Uitvoeringsklassen, ontkisting en nabehandeling van beton : nieuwe regels. Brussel, WTCB, WTCB-Dossiers, nr. 2, Katern 4, 2011.
5. Europees Comité voor Normalisatie  
CEN/TS 12390-9 Testing hardened concrete. Part 9: freeze-thaw resistance. Scaling. Brussel, CEN, 2006.
6. Europees Comité voor Normalisatie  
EN 197-1 Cement. Part 1: composition, specifications and conformity criteria for common cements. Brussel, CEN, 2011.
7. Europees Comité voor Normalisatie  
EN 206 Concrete. Specification, performance, production and conformity. Brussel, CEN, 2013
8. Opzoekingscentrum voor de Wegenbouw  
Handleiding voor industriële buitenverhardingen in beton. Brussel, OCW, OCW-Aanbevelingen A 82/11, 2011.