
Hoe schadelijk is ASR in betonconstructies?

Kennisleemte (deels) opgevuld met nieuw Stufib-rapport

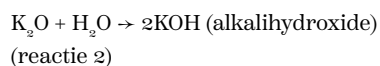
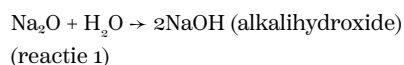


ASR (alkali-silicareactie) in betonconstructies kan leiden tot zorgwekkende scheurpatronen en de constructieve veiligheid ondermijnen. Bij een (rekenkundige) constructieve beoordeling van constructies met ASR kon lange tijd gebruik worden gemaakt van CUR-Aanbeveling 102 (2005). De rekenregels in deze aanbeveling zijn echter zeer conservatief en hebben geen aansluiting met de Eurocode. Daarom is deze Aanbeveling in 2017 ingetrokken. Om de leemte die hiermee is ontstaan in te vullen, heeft een Stufib-studiecel een rapport opgesteld met handvatten bij het constructief beoordelen van constructies met ASR. Dit mede op basis van de nieuwste inzichten uit fib Model Code 2020.

Alkali-silicareactie (ASR) is een expansieve chemische reactie in beton met mogelijk negatieve gevolgen voor de constructieve veiligheid.

Bij alkali-silicareactie reageren reactieve bestanddelen (reactief silica) uit het toeslagmateriaal met alkaliën (natrium- en kaliumverbindingen) in het beton of uit de omgeving (dooizouten, zeewater) tot een reactieproduct. Dit reactieproduct trekt water aan, waardoor het gaat zwellen en het beton kan gaan scheuren. Dit reactieproduct wordt vaak zichtbaar als een witte gel (of lichtgekleurd gelachtig product) aan het oppervlak van het beton.

De chemische reacties bestaan uit drie onderdelen. De oxiden van (voornamelijk) natrium en kaliumalkaliën (Na^+ , K^+ -ionen), soms omgerekend naar natriumoxide-equivalenten (Na_2O_e), leveren de eerste reacties met water:



Reactieve silica uit het toeslagmateriaal SiO_2 reageert met de alkaliën uit de eerste

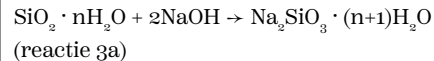
auteur



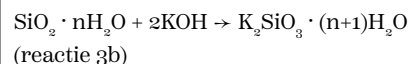
IR. THOMAS
HARREWIJN

Constructeur
Royal HaskoningDHV

reacties tot alkali-silicaathydraat (Na_2SiO_3 of K_2SiO_3), bekend als alkali-silicagel. De chemische reacties zijn:



of



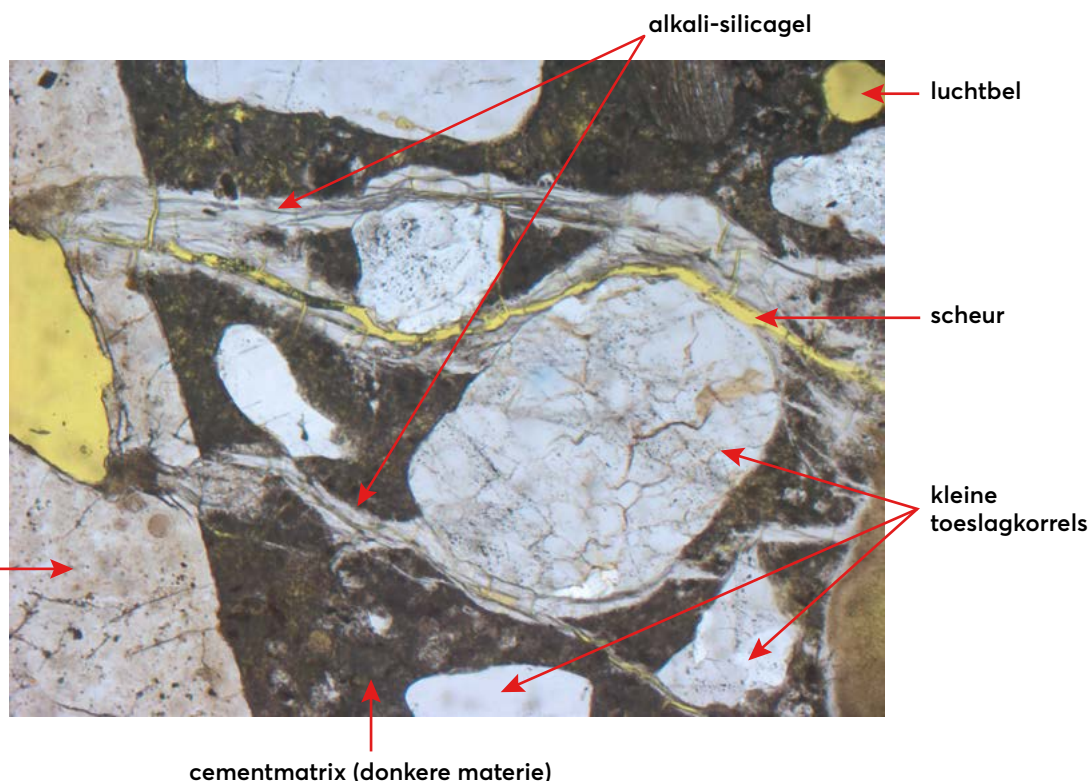
Deze productie is expansief waardoor scheurvorming wordt veroorzaakt in het toeslagmateriaal en uiteindelijk ook in de cementmatrix.

ASR in Nederlands beton

Betonconstructies met portlandcement en Nederlands toeslagmateriaal hebben altijd in een bepaalde mate ASR. Goed beschouwd zijn de omstandigheden in beton dus reeds aanwezig; reactieve mineralen in het toeslagmateriaal, alkalische omstandigheden door het cement en vrij water. In welke mate dit tot een schadelijke reactie ontwikkelt, wordt bepaald door het beschikbaar blijven van de balans in voorwaarden en omstandigheden. In Nederland is sinds de jaren 50 naast portlandcement ook hoogovencement toegepast in beton. Deze constructies zijn doorgaans minder gevoelig voor schadelijke ASR. →

Microstructuur
beton met
ASR-schade
inclusief
aanwijzingen
foto:
Timo Nijland

deel van een grote
toeslagkorrel
met reactief silica



Wel moet ASR bij periodieke inspecties van infrastructurele kunstwerken worden meegenomen.

'Handvatten' voor de constructeur

De constructieve veiligheid in een bestaande constructie waarin (vermoedelijk) sprake is van ASR, kan rekenkundig worden beoordeeld. Hiervoor is door de Stufib-studiecel een stroomschema opgesteld (fig. 3). Dit stroomschema geeft een praktische werkvolgorde van grof naar fijn.

Constructieve beoordeling zonder ASR

In eerste instantie wordt een beoordeling van de constructieve veiligheid aangeraden zonder aanvullende rekenregels voor ASR. Zonder effecten van ASR kan de (dwarskracht)weerstand al lager zijn dan de benodigde. Hiervoor zijn vier mogelijke oorzaken te bedenken:

- 1 Het gebruik van de constructie is gewijzigd ten opzichte van het ontwerp, bijvoorbeeld een hogere verkeersbelasting.
- 2 Een wijziging in normen en/of technische inzichten.

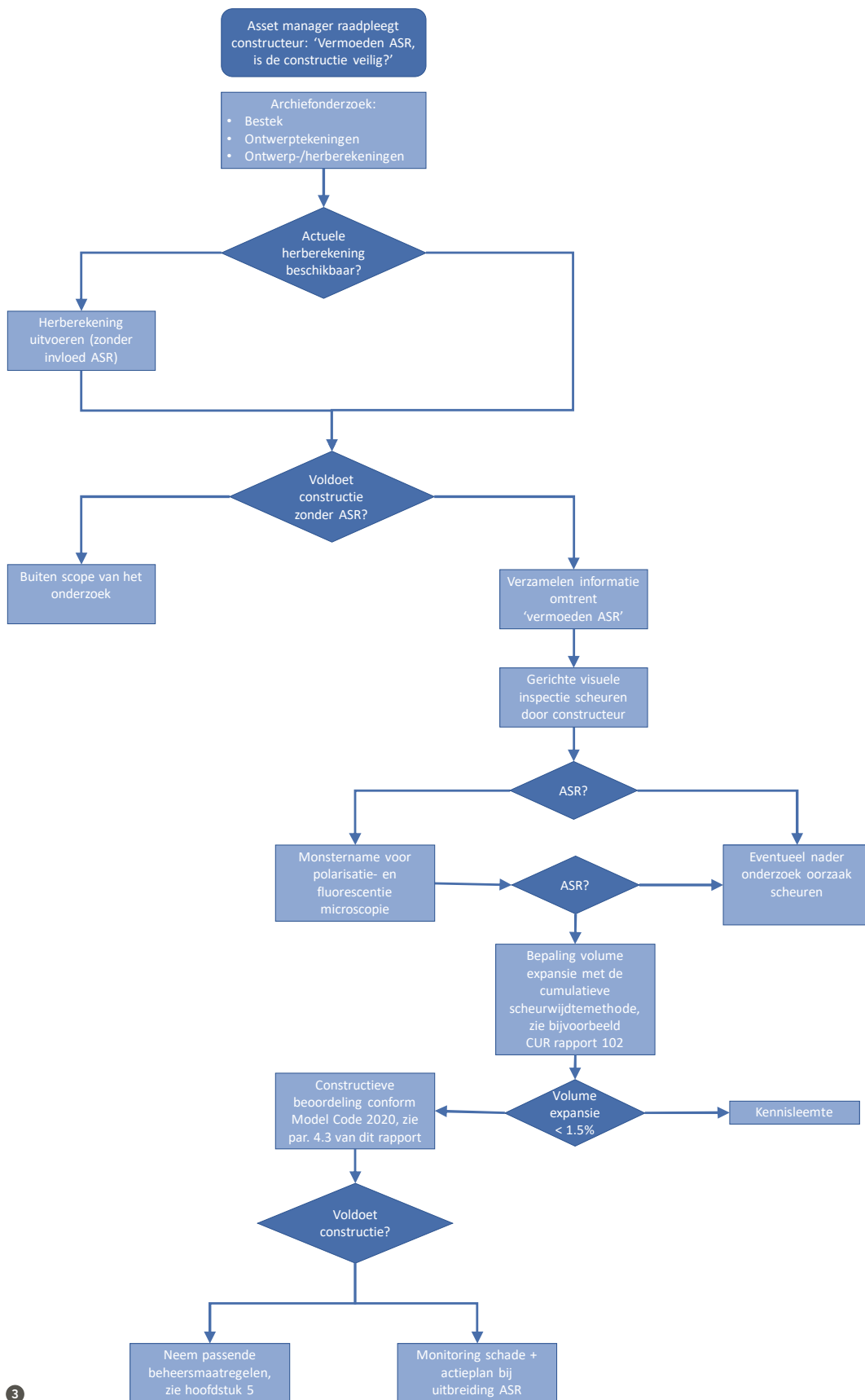
3 Schade/degradatie aan de constructie-(materialen) (anders dan ASR) kan de constructie zodanig verzwakken dat deze niet meer voldoet voor het beoogde gebruik van uit het ontwerp.

4 Een ontwerp- of uitvoeringsfout.

Mocht de constructie zonder het meerekenen van de effecten van ASR niet voldoen, dan zijn er andere maatregelen nodig. Dit valt buiten de scope van dit onderzoek.

Kwalitatieve beoordeling

Na de constructieve beoordeling zonder ASR is de volgende stap het vaststellen of er sprake is van ASR, op basis van een doelgericht nader onderzoek. Dit moet gebeuren door iemand met kennis van het (schade)mechanisme en constructieve veiligheid. Als op basis van deze 'gerichte visuele inspectie' het vermoeden bestaat dat er sprake is van ASR, moet een vervolgonderzoek worden uitgevoerd, waarbij (gematigd) destructieve inspectietechnieken noodzakelijk kunnen zijn. Uit dit onderzoek volgt de definitieve vaststelling van ASR-schade. Om de invloed van eventueel destructieve onderzoeks- →



methoden (kernen boren) te beperken, moet de vraagstelling voor een vervolgonderzoek worden voorbereid in overleg met:

- a Materiaaldeskundige (betontechnoloog/betononderhoudskundige) in verband met monsternamen voor de gewenste onderzoeken. Als er kernen moeten worden geboord, moeten locaties, aantal en afmetingen worden beschreven alsmede het doel van de onderzoeken waarvoor deze zijn bestemd.
- b Materiaaldeskundige (petrografie) in verband met het uit te voeren microscopie en polarisatie- en fluorescentieonderzoek (PFM).
- c Constructeur in verband met de invulling van de gewenste parameters ten behoeve van de uiteindelijk vast te stellen constructieve veiligheid.

Het vervolgonderzoek kan gefaseerd worden uitgevoerd. Elke fase moet in overleg met genoemde teamleden worden besproken om het destructieve karakter van het onderzoek niet onnodig groot te laten worden.

Effect van ASR op de weerstand van gewapend beton

Tijdens het onderzoek van de studiecél is *fib* Model Code 2020 (MC2020) [1] gepubliceerd, met daarin een volledig hoofdstuk gewijd aan constructies aangetast door ASR. Diverse onderzoeken en proeven liggen ten grondslag aan deze nieuwste inzichten. Volgens MC2020 is het effect van ASR op de axiale weerstand (trek en druk), momentweerstand, dwarskrachtweerstand en ponsweerstand op constructieniveau verwaarloosbaar klein, mits de volume-expansie door ASR kleiner is dan 1,5%. Dit geldt voor zowel elementen met als zonder dwarskrachtwapening. Bij een volume-expansie groter dan 1,5% geeft MC2020 geen uitsluitsel.

De studiecél verwacht dat het merendeel van de constructies met ASR in Nederland onder de 1,5% volume-expansie valt, maar beveelt aan om dit altijd te controleren. Een methode die hiervoor kan worden gebruikt is de cumulatieve scheurwijdtemethode, die beschreven is in zowel MC2020 als de ingetrokken CUR Aanbeveling 102.

INTERPRETATIE STUDIECEL

- In de hoofdttekst van MC2020 is gesteld dat ASR een verwaarloosbaar effect heeft op de axiale drukweerstand. Daarentegen is in de toelichting vermeld dat er in proeven een maximale reductie van 18% op de axiale drukweerstand is waargenomen. Naar oordeel van de studiecél is deze reductie niet verwaarloosbaar.
- Het nadelig effect van ASR op de uittreksterkte van geribde wapeningsstaven kan bijvoorbeeld rekenkundig worden vertaald naar een toename van de verankeringslengte om eenzelfde kracht in de wapeningsstaaf naar het beton over te brengen. De reductie van de uittreksterkte van geribde wapeningsstaven wordt veroorzaakt door de betonscheuren ten gevolge van ASR. Echter, dit effect lijkt te worden beperkt als de uitgetrokken wapeningsstaaf voldoende wordt omsloten door kruisende wapeningsstaven. Laatstgenoemde wordt ondersteund door de experimentele data van balken die bi-axiaal zijn gewapend en voldoen aan de minimum wapeningspercentages volgens MC2020. Omdat experimentele data van andere constructietypes ontbreekt, raadt de studiecél vanuit conservatieve overwegingen aan om in deze gevallen altijd een reductie van de uittreksterkte in rekening te brengen (bijvoorbeeld door een verhoging van de benodigde verankeringslengte), tenzij ook voor deze constructietypes voldoende opsluiting van de betreffende wapening kan worden aangetoond.

In MC2020 worden verder twee nadelige effecten van ASR benoemd, ook als de expansie kleiner is dan 1,5% (zie ook kader ‘Interpretatie studiecél’):

1 Bij voldoende opsluiting kan de chemische reactie door ASR tot een ‘chemische voorspanning’ leiden, wat een verhoging van de drukspanningen geeft en daarmee een nadelig effect heeft op de toetsing van de axiale drukweerstand. Volgens MC2020 is in de literatuur bij experimenten een nadelig effect van maximaal 18% gevonden.

2 ASR kan een significant nadelig effect hebben op de uittreksterkte van geribde wapeningsstaven. Op basis van proeven moet volgens MC2020 worden uitgegaan van 40% reductie van de uittreksterkte bij een volume-expansie van 1,5%. Hierbij mag lineair geïnterpoleerd worden tussen 40% reductie bij een volume expansie van 1,5% en 0% reductie bij een volume expansie van 0%. Op basis van onderzoek naar de verankering van geribde wapeningsstaven in bi-axiaal gewapende balken, mag volgens MC2020 de reductie van de uittreksterkte door ASR worden verwaarloosd indien er

Voor een rekenkundige beoordeling van een constructie met ASR wordt geadviseerd om van grof naar fijn te werken

wordt voldaan aan de minimum wapeningspercentage eisen volgens MC2020.

Effect van ASR op mechanische eigenschappen van 'plain concrete'

In MC2020 is aandacht besteed aan het effect van ASR op de mechanische eigenschappen van 'plain concrete', waarmee in dit geval boorkernen uit een constructie worden bedoeld. Er wordt op gewezen dat een constructieve beoordeling op basis van de materiaaleigenschappen afgeleid uit boorkernen leidt tot zeer conservatieve resultaten als het effect van chemisch voorspannen niet wordt meegenomen.

Daarnaast worden in MC2020 figuren getoond waarin het effect van ASR op de druksterkte, E-modulus en treksterkte van 'plain concrete' inzichtelijk wordt gemaakt. Hierbij zijn de voorgenoemde mechanische eigenschappen uitgezet tegen een vrije volume-expansie (ofwel geen verhinderde expansie door wapening).

OPMERKINGEN STUDIECEL

- Voor de bepaling van de volumieke expansie geeft MC2020, naast de cumulatieve scheurwijdtemethode, een alternatieve methode die is gebaseerd op proefresultaten van boorkernen en trendlijnen die een relatie geven tussen de reductie van mechanische eigenschappen en de volumieke expansie. De studiecél raadt af om met deze methode de volumieke expansie in te schatten, omdat die hiermee kan worden onderschat. De (niet-conservatieve) onderschatting met de trendlijnen komt voort uit het feit dat de trendlijnen zijn bedoeld om tot een conservatieve schatting van de sterktereductie te komen, gegeven een zekere expansie. Andersom geeft dat een (niet-conservatieve) onderschatting van de volumieke expansie, gegeven een zekere sterktereductie. Het is ook onduidelijk of in de trendlijnen rekening is gehouden met de sterkteontwikkeling ten gevolge van doorgaande hydratatie.
- Voor de betonsterkteklasse kan als uitgangspunt een sterkte worden aangehouden zoals bij een constructieve beoordeling zonder ASR. Indien de betonsterkte op basis van boorkernen wordt bepaald, wordt aanbevolen boorkernen te nemen in representatieve delen van de constructie zonder ASR-schade. Indien de boorkernen toch in een constructiedeel zijn genomen waar ASR-schade aanwezig is, dan is een constructieve beoordeling volgens de hieruit bepaalde betonsterkte waarschijnlijk conservatief.
- In de conclusies van MC2020 over het effect van ASR op de dwarskrachtweerstand is de invloed van het schaafeffect nog niet grondig onderzocht. Dit is ook onderkend in onderzoek van Martinez [1], waarop de conclusies uit MC2020 grotendeels zijn gebaseerd. Voor constructies met een hoogte groter dan 350 mm is de ondersteuning van de conclusies door experimentele data beperkt.

Niet-lineaire analyse

De niet-lineaire eindige-elementenmethode (NL-EEM) is een behulpzame methodiek om inzicht te verkrijgen in het constructief gedrag van betonconstructies. Deze methode heeft ook de potentie om te worden toegepast voor het rekenkundig beoordelen van betonconstructies met ASR. Het invoeren van materiaaleigenschappen van beton met ASR in NL-EEM is echter complex vanwege variabele effecten op mechanische eigenschappen. Deze eigenschappen zijn gevoelig voor meerdere variabelen, zoals scheuroriëntatie en ASR-geluitzetting. Variabelen die de mechanische eigenschappen beïnvloeden, kunnen onderling afhankelijk zijn. Voor de veiligheid gedurende de restlevensduur moet het tijdsafhankelijke effect van ASR in de analyse worden meegenomen.

Er zijn door de studiecél echter geen (internationale) richtlijnen gevonden voor het gebruik van NL-EEM bij betonconstructies met ASR. Dit suggereert dat de techniek nog niet voldoende ontwikkeld is. NL-EEM is nog niet gevalideerd voor beton met ASR, zoals vereist in MC2020. Er ontbreekt een gevalideerde methode om dit effect op constructieniveau te integreren.

Andere tijdsafhankelijke effecten zoals krimp, kruip en relaxatie zijn ook relevant. Het is onduidelijk of bestaande relaties voor onaangetast beton gelden voor beton met ASR. Eurocode 2 bevat vergelijkingen gebaseerd op onaangetast beton, waarvan de geldigheid voor ASR-aangetast beton onzeker is. De studiecél heeft drie fundamenteel verschillende modelleringsaanpakken in de literatuur gevonden, hiervoor wordt verwezen naar het Stufib rapport [3].

Maatregelen achteraf

Bij bestaande constructies met ASR zijn herstelmaatregelen mogelijk. Deze moeten zorgvuldig worden overwogen vanwege mogelijke spanningshervdeling. De RBK biedt voorbeelden van risico's en beheersmaatregelen. Vochttoevoer beperken kan de chemische reactie beïnvloeden, vaak door waterdichte oppervlaktebehandelingen zoals coatings. Deze materialen hebben echter een beperkte levensduur en vereisen onderhoud. →

De verwachting is dat de meeste constructies met ASR onder de voorwaarde van maximaal 1,5% volume-expansie vallen

Risicobeheersing hangt af van oorzaak en gevolg, waarbij expansie in beton de oorzaak is. De invloed van expansie is moeilijk vast te stellen en prognoses zijn onzeker. Bekende risicobeperkende acties zijn onder andere: niets doen bij beperkt schadebeeld, inspectiefrequentie verhogen, of een monitoringssysteem installeren. Inspectietechnieken zoals *crack-mapping* zijn in ontwikkeling, maar kunnen destructief zijn. Belastingreductie kan door voertuigbeperkingen op gewicht, locatie of aantallen.

De constructieve veiligheid kan worden verbeterd door versterkingen aan te brengen. Actieve of passieve ondersteuningsconstructies kunnen ook helpen. Proefbelasting kan helpen om de constructieve veiligheid vast te stellen en risicobeheersmaatregelen te bepalen. Dit biedt een momentopname voor verdere acties. In extreme gevallen is sloop van de constructie de laatste optie. Het is belangrijk om de betrokken deskundigen te raadplegen bij elke stap. De ontwikkeling van ASR is moeilijk te voorspellen, maar regelmatige inspecties en onderhoud zijn cruciaal voor het beheersen van ASR-gerelateerde risico's.

Preventie

Voor preventie van ASR wordt CUR-Aanbeveling 89 'Maatregelen ter voorkoming van betonschade door alkali-silicareactie (ASR)' gevolgd. Je kunt dus stellen dat het constructieve beton dat is ontworpen met de CUR-Aanbeveling 89 of met een minimumgehalte aan hoogovenslak 'vrij' is van ASR. Daarmee neemt de kans dat schadelijke ASR zich in de toekomst voordoet steeds verder af. Daarnaast zouden ontwerpen snelle en inspecteerbare hemelwaterafvoer moeten faciliteren zodat dooizout houdende hemelwater op de juiste manier wordt afgevoerd. ●

LEDEN STUFIB-STUDIECEL

In Stufib-studiecel 29 'Rekenkundige beoordeling bestaande constructies met ASR' hadden zitting:

- Albert Rodenhuis (voorzitter)
- Henco Burggraaf (mentor)
- Branko Šavija (rapporteur)
- Ricky Tai (rapporteur)
- Thomas Harrewijn (rapporteur)
- Wouter Boot (rapporteur)

Bij de totstandkoming van het rapport is gebruikgemaakt van de deskundige inbreng van Wim Segers van Rijkswaterstaat en Patrick Holthuizen van TU Delft, aan wie wij dank zijn verschuldigd. Tevens bedanken we Hans Kooijman (voorzitter tot 27-06-2022), Mohamed Grida (tot 17-03-2023) en Niels Kostense (tot 15-03-2022), die deels zitting hebben gehad in de studiecel. Tot slot onze dank aan de leden van de vaste commissie 'In-situ beton' van de Stufib voor het reviewen.

LITERATUUR

- 1 fib Model Code for Concrete Structures 2020 (MC2020).
- 2 Arrieta Martinez, G., Effects of alkali-silica reaction on the shear behavior of reinforced concrete beams without transverse reinforcement (Doctoral dissertation), 2016.

EINDRAPPORT

Stufib-rapport 32: 'Rekenkundige beoordeling bestaande constructies met ASR' is verkrijgbaar op www.stufib.nl/downloads/rapportenstufib.

