



Delft University of Technology

Stufib-rapport 32

Rekenkundige beoordeling bestaande constructies met ASR

Rodenhuis, Albert; Burggraaf, Henco; Šavija, Branko; Tai, Ricky; Harrewijn, Thomas; Boot, Wouter

Publication date

2024

Document Version

Final published version

Citation (APA)

Rodenhuis, A., Burggraaf, H., Šavija, B., Tai, R., Harrewijn, T., & Boot, W. (2024). *Stufib-rapport 32: Rekenkundige beoordeling bestaande constructies met ASR*. Stufib. <https://stufib.nl/?gfid=552>

Important note

To cite this publication, please use the final published version (if applicable).
Please check the document version above.

Copyright

Other than for strictly personal use, it is not permitted to download, forward or distribute the text or part of it, without the consent of the author(s) and/or copyright holder(s), unless the work is under an open content license such as Creative Commons.

Takedown policy

Please contact us and provide details if you believe this document breaches copyrights.
We will remove access to the work immediately and investigate your claim.

*This work is downloaded from Delft University of Technology.
For technical reasons the number of authors shown on this cover page is limited to a maximum of 10.*

Green Open Access added to TU Delft Institutional Repository

'You share, we take care!' - Taverne project

<https://www.openaccess.nl/en/you-share-we-take-care>

Otherwise as indicated in the copyright section: the publisher is the copyright holder of this work and the author uses the Dutch legislation to make this work public.

Stufib-rapport 32

Rekenkundige beoordeling bestaande constructies met ASR

Eindrapport van *Stufib* studiecél 29

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

Een *Stufib*-rapport is compleet wanneer daaraan is toegevoegd het verslag van de discussie over dit rapport in een *Stufib*-ledenvergadering.

Copyrights *Stufib*, Nieuwegein, Nederland, 2024

Stufib heeft deze publicatie met een zo groot mogelijke zorgvuldigheid samengesteld.

Mede ten behoeve van allen die hieraan hebben meegewerkt, sluit *Stufib* elke aansprakelijkheid uit die mocht voortvloeien uit het gebruik en de toepassing van gegevens uit deze publicatie. Gehele of gedeeltelijke overname van de inhoud van dit rapport is alleen toegestaan met voorafgaande schriftelijke toestemming van de auteurs en bronvermelding.

Het rapport is te bestellen via: secretariaat@stufib.nl , zie ook www.stufib.nl

Woord vooraf

ASR (alkali-silicareactie) in betonconstructies kan resulteren in een degradatie van de materiaaleigenschappen. Uit onderzoek is gebleken dat ASR met name een negatieve invloed heeft op de treksterkte van beton en minder op de druksterkte. Dit is te verklaren doordat ASR leidt tot een geëxpandeerd gel die druk uitoefent in het interne skelet van het beton. Dit kan leiden tot scheurvorming afhankelijk van de mate waarin de expansie in één richting verhinderd wordt.

Bij een (rekenkundige) constructieve beoordeling van constructies met ASR kon teruggevallen worden op de CUR aanbeveling 102 (2005). De rekenregels in deze aanbeveling zijn echter zeer conservatief en hebben geen aansluiting met de vigerende Eurocodes. Daarom is CUR aanbeveling 102 ingetrokken, waardoor voor constructeurs een leemte is ontstaan. De Stufib studiecél 'Rekenkundige beoordeling bestaande constructies met ASR' is in het leven geroepen om handvatten te bieden aan constructeurs bij het constructief beoordelen van constructies met ASR.

Het voorliggende Stufib rapport geeft het resultaat van de Stufib studiecél 'Rekenkundige beoordeling bestaande constructies met ASR'. Hierbij wordt achtereenvolgens ingegaan op de kwalitatieve beoordeling, de rekenkundige beoordeling en mogelijke maatregelen. Wij hopen met dit rapport hulp te kunnen bieden aan constructeurs bij de beoordeling van constructies met ASR.

Bij de totstandkoming van het rapport is gebruik gemaakt 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 (tot 27-06-2022), Mohamed Grida (tot 17-03-2023) en Niels Kostense (tot 15-03-2022) die deels zitting hebben gehad in de studiecél. Tot slot onze dank aan de leden van de vaste commissie "In-situ beton" van *Stufib* voor het reviewen.

Samenvatting

Het her berekenen van bestaande constructies is een discipline die meer gespecialiseerde kennis, ervaring en gereedschappen vereist dan het ontwerpen van nieuwe constructies. Voor het beoordelen van bestaande constructies met schadelijke ASR zijn geen vigerende rekenregels voorhanden waardoor de beoordeling om expert judgement vraagt. Het invullen van enkel een rekenregel is niet mogelijk en daarom zijn in dit rapport technische handvatten gegeven. Door een beoordelingsproces van grof naar fijn is een beoordeling mogelijk waarin steeds een afweging wordt gemaakt tussen inspanning en kosten met in acht neming van de constructieve veiligheid. Ondanks dat de FIB-modelcode 2020 stelt dat ASR een verwaarloosbaar effect heeft op de dwarskrachtcapaciteit, is er in de binnen- en buitenlandse literatuur wel degelijk beïnvloeding op kritische scheurvorming en capaciteit.

Inhoudsopgave

Woord vooraf.....	3
1. Inleiding	7
1.1. Aanleiding	7
1.2. Samenstelling studiecél	7
1.3. Scope.....	8
1.4. Doel	8
1.5. Leeswijzer	8
2. Stappenplan / stroomschema	9
3. Kwalitatieve beoordeling ASR.....	11
3.1. Archiefstudie van het object	11
3.2. Inspectie	13
3.2.1. ASR in beton	13
3.2.2. Kwalitatieve beoordeling	14
3.3. Definitieve vaststelling	16
3.3.1. Algemeen	16
3.3.2. Bemonstering	16
4. Rekenkundige beoordeling	18
4.1. Inleiding.....	18
4.2. Constructieve beoordeling zonder ASR	18
4.3. Constructieve beoordeling met ASR	18
4.3.1. Effect van ASR op de weerstand van gewapend beton op constructieniveau	18
4.3.2. Effect van ASR op de mechanische eigenschappen van 'plain concrete'	19
4.3.3. Opmerkingen van de studiecél.....	20
4.4. Niet-lineaire eindige elementen methode	20
5. Maatregelen.....	24
5.1. Preventie.....	24
5.2. Reactief.....	24
5.3. Risicobeheersing	24

1. Inleiding

1.1. Aanleiding

Alkali-silicareactie (ASR) in betonconstructies is een expansieve chemische reactie met mogelijk negatieve gevolgen voor de constructieve veiligheid. Voor de Nederlandse bouwpraktijk was in de CUR aanbeveling 102 een procedure beschreven voor de inspectie en beoordeling van dergelijke constructies. De beoordelingsprocedure omvatte onder meer een rekenkundige beoordeling waarmee de weerstand van de constructie met ASR berekend kan worden. In 2017 is de CUR aanbeveling 102 ingetrokken en is in de Nederlandse bouwtechnische regelgeving een leemte ontstaan voor het rekenkundige beoordelen van constructies met ASR.

1.2. Samenstelling studiecél

ASR is een breed onderwerp met diverse aspecten: van micro- tot macroniveau en van inspecties tot herberekeningen. Studiecél 29 is daarom samengesteld uit constructeurs, onderzoekers en specialisten op het gebied van beheer van bestaande civieltechnische kunstwerken. Hiermee is beoogd kennis over ASR vanuit meerdere invalshoeken te bundelen.

Tabel 1 Samenstelling Stufib Studiecél 29

Naam	Bedrijf	Functie	Rol in studiecél
Albert Rodenhuis	Dura Vermeer	Lead engineer	Voorzitter
Henco Burggraaf	TNO	Onderzoeker betonconstructies	Mentor
Branko Šavija	TU Delft	Universitair hoofddocent	Lid, rapporteur
Ricky Tai	TNO	Onderzoeker betonconstructies	Lid, rapporteur
Thomas Harrewijn	Royal HaskoningDHV	Constructeur	Lid, rapporteur
Wouter Boot	Iv-infra b.v.	Constructeur	Lid, rapporteur

1.3. Scope

Het voorliggende rapport is geschreven voor civieltechnische kunstwerken zoals bruggen, viaducten, onderdoorgangen en sluizen met een focus op dwarskracht.

Om de omvang van het voorliggende *Stufib* rapport te beperken en om de toepasbaarheid en leesbaarheid te vergroten, wordt alleen ingegaan op de belangrijkste constructieve aspecten van ASR ontstane schade. De scope is beperkt tot de “stand van de techniek”.

1.4. Doel

Het doel van voorliggend *Stufib* rapport is om de constructeur handvatten te bieden waarmee de constructieve veiligheid van betonconstructies met vermoedelijk ASR beoordeeld kan worden. Deze handvatten zijn gebaseerd op de Nederlandse praktijkervaring en de meest recente kennis uit de literatuur. Hiermee kunnen enerzijds onnodige (kostbare) maatregelen worden voorkomen en anderzijds constructief onveilige constructies worden gesignaleerd.

De handvatten bestaan uit de volgende onderdelen:

1. Een beknopte samenvatting van de literatuurstudie naar de meest recente kennis op het gebied van rekenkundig beoordelen van constructies met ASR. Aanrijking op de beoordelingsprocedure met betrekking tot ASR zodat deze aansluit op de huidige inzichten.
2. Een stappenplan voor de constructieve beoordeling van constructies met vermoedelijk ASR, waarbij de beoordeling verloopt van lage nauwkeurigheid en relatief weinig rekenkundige inspanning naar hogere nauwkeurigheid en meer rekenkundige inspanning. Hiermee wordt onnodige inspanning van de constructeur zo veel mogelijk ingeperkt.

1.5. Leeswijzer

Dit rapport is als volgt opgebouwd:

In hoofdstuk 2 is een stappenplan gepresenteerd voor de beoordeling van constructies met ASR.

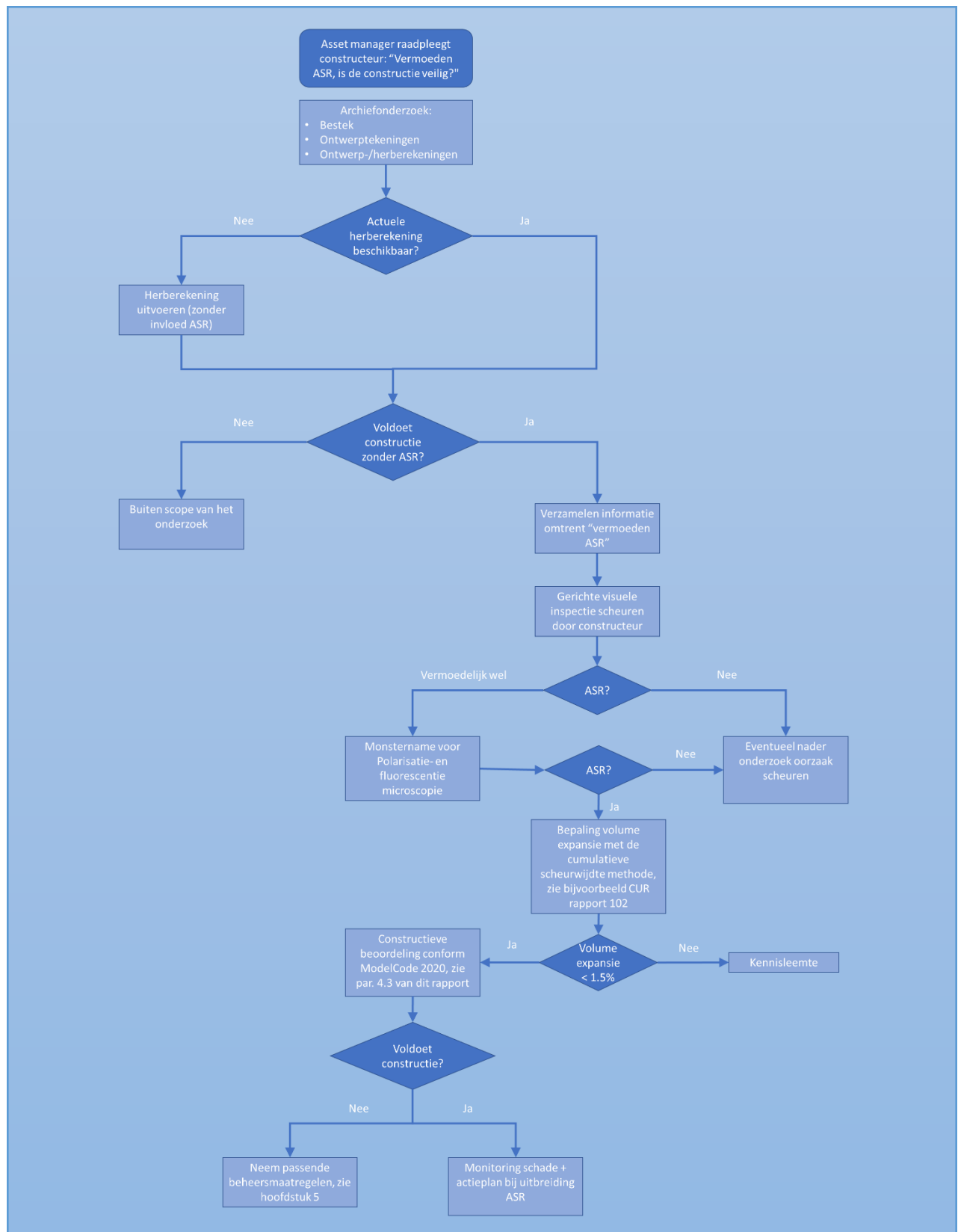
In hoofdstuk 3 wordt ingegaan op de kwalitatieve beoordeling van constructies met ASR.

In hoofdstuk 4 wordt de rekenkundige beoordeling van constructies met ASR behandeld.

In hoofdstuk 5 worden eventuele maatregelen voor constructies met ASR gegeven.

2. Stappenplan / stroomschema

Voor de rekenkundige beoordeling van een bestaande constructie met ASR is een stroomschema opgesteld. Het stroomschema geeft een praktische werkvolgorde van grof naar fijn. Een toelichting op het stroomschema is opgenomen in hoofdstuk 3 en 4.



3. Kwalitatieve beoordeling ASR

3.1. Archiefstudie van het object

Voor een kwantitatieve beoordeling en/of herberekening zijn (constructieve) gegevens nodig, zoals materiaaleigenschappen en geometrie. Deze worden in principe aangeleverd door de opdrachtgever (vaak de beheerder) uit zijn archieven. Aangeleverde gegevens worden vervolgens door de constructeur bestudeerd, beoordeeld en relevante informatie wordt eruit gehaald. Hierbij vindt de beoordeling plaats op Actualiteit, Betrouwbaarheid en Compleetheid (de zogenaamde “ABC-controle”).

Als het aangeleverde archiefmateriaal niet door de ABC-controle komt, kan op basis van expert judgement (afhankelijk van gemoeide kosten, te verwachten resultaten en de ernst van de schade/situatie) worden besloten:

- Aanvullend archiefonderzoek te doen, bijv. in de archieven van provincies, gemeenten (stadsarchieven), waterschappen, streekarchieven, Rijkswaterstaat (DISK, VPR, Westraven), ProRail, leveranciers (Spanbeton, Haitsma, etc.), ingenieursbureaus, aannemers, etc. Archiefmateriaal kan digitaal of analoog (papier/microfilm/etc.) zijn. In de praktijk blijken vaak niet alle documenten bewaard te zijn gebleven en kan de kwaliteit/leesbaarheid van de gegevens ook te wensen overlaten (bijv. onvoldoende scherpte, vlekken, onduidelijke handschriften).
- Aannames te doen. Deze kunnen worden gedaan op basis van oude normen (VOSB, GBV, etc), vergelijkbare objecten en/of op basis van NEN8702, RBK 1.1/1.2, etc.
- Nader onderzoek uit te voeren (inspecties, materiaalproeven, wapeningsscans, etc.), zie CUR 117:2020.

Er zijn diverse type archiefdocumenten. Deze kunnen worden ingedeeld in:

1. Tekeningen (bijv DO, UO, As-Built, besteks-, revisie- en/of werktekeningen)
2. Berekeningen
 - 2a. Ontwerpberekeningen (bijv. DO-, UO-, besteksberekeningen, etc.)
 - 2b. Herberekeningen
3. Bestekken
4. Beheer en onderhoud (B&O)-rapporten
 - 4a. Inspectierapporten
 - 4b. Schademeldingen
 - 4c. Hersteladviezen/uitgevoerd onderhoud/etc.
5. Onderzoeksrapporten
 - 5a. Materiaalonderzoeken
 - 5b. Deformatiemetingen
 - 5c. Verkeerstellingen
 - 5d. Asfaltdiktemetingen

- 6. Geotechnische rapporten
 - 6a. Sonderingen
 - 6b. Grondmechanische adviezen
- 7 Overige archiefdocumenten
 - 7a Mengseloverzichten/codelijsten
 - 7b Buigstaten, spanprotocollen
 - 7c. Foto's
 - 7d. Bouwverslagen

In de volgende tabel is een algemeen overzicht gegeven van belang zijnde/benodigde gegevens, gekoppeld aan type archiefdocumenten (zie bovenstaande nummering).

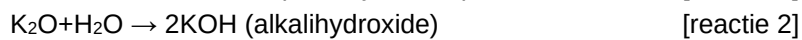
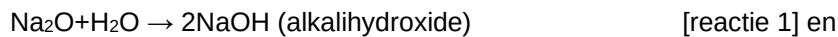
Tabel 3 Archiefstudie

Benodigde gegevens		Te vinden in voorgenoemd onderdeel:	Van belang voor:	
			Kwalitatieve beoordeling	Kwantitatieve, rekenkundige beoordeling
Materialen	Betonsterkteklasse	1,2,3,5a,7a,7d		x
	Toeslagmaterialen	3, 7a, 7d	x	
	Type cement	3, 7a, 7d	x	
Geometrie	Elementafmetingen	1	x	x
	Wapeningsconfiguratie / VSP	1, 7b	x	x
	Rijbaanindeling	1	x	x
Algemene gegevens	Bouwjaar	1,2,3,7d	x	x
	Constructieve opbouw	1,2,3	x	x
	Verkeersklasse	1,2,3	x	x
Actuele staat	Scheuren	7c	x	x
	Deformaties	7c	x	x
	Uitgevoerd onderhoud	4c	x	x
	Lekkages, vochtbelasting	4	x	x
Constructieve veiligheid	Unity Checks	2	x	x

3.2. Inspectie

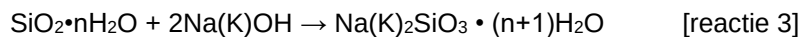
3.2.1. ASR in beton

Alkali-silicareactie (ASR) is een chemische reactie van silicium houdende mineralen zoals die in normale toeslagmaterialen (zand én grind) voorkomen. De oxiden van (voornamelijk) Natrium en Kalium-alkaliën (Na^+ , K^+ ionen), soms omgerekend naar Natriumoxide equivalenten (Na_2O_e), leveren de eerste reacties:

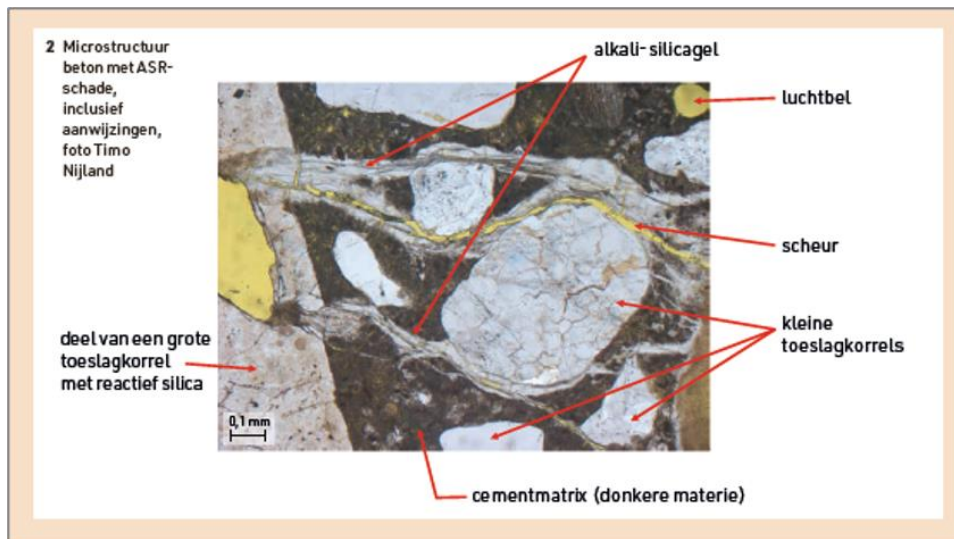


De alkaliniteit wordt aangeleverd via de oplossing van Na_2O en K_2O in het poriewater van cementbeton.

De gevolgreactie is:



De reactieve silica met de alkalien uit de eerste reactie vormen alkali-silicaathydraat, bekend als alkali-silica-gel. Deze productie is expansief waardoor scheurvorming veroorzaakt wordt in het toeslagmateriaal en uiteindelijk ook in de cementmatrix.



Figuur uit artikel "ASR-bestand" in *Betoniek* 17/05 Februari 2021

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. De alkaliniteit die Na_2O en K_2O leveren is nodig om het staal van de wapening te passiveren (corrosiebescherming). Silicium-houdende mineralen zijn aanwezig zolang natuurlijk zand en grind tot vaste bestanddelen behoren in de samenstelling van beton.

Beschikbaarheid van poriewater is enigszins te regelen door een optimale water/cement factor te bewaken en de aanvoer van hemelwaterafvoer gecontroleerd en snel af te voeren. Aanwezigheid van vrij water is echter niet helemaal te voorkomen. Porositeit en permeabiliteit van beton zijn eigenschappen die dus beperkt moeten blijven. Het belang van een goede kwaliteitsborging bij het mengselontwerp (CUR-Aanbeveling 89), de uitvoering van betonwerk en de zorg voor afwerking en nabehandeling spelen hierbij een belangrijke rol.

3.2.2. Kwalitatieve beoordeling

Constructies met Portlandcement en Nederlands toeslagmateriaal hebben altijd in een bepaald mate ASR. In Nederland is echter sinds de jaren '50 hoogovencement grootschalig toegepast in de betonindustrie. Deze constructies zijn doorgaans niet of minder gevoelig voor schadelijke ASR.

De inspecties van infrastructurele kunstwerken vinden periodiek plaats overeenkomstig een regime vastgesteld in een beheer- en onderhoudsprogramma. De frequentie is doorgaans strategisch bepaald maar kan risico gestuurd aangepast zijn. De rapportage bevat (afhankelijk van het toegepaste systeem) een decompositie van elementen met daaraan gekoppelde risico's. De meest eenvoudige inspectierapportages gaan niet verder dan een risico- en/of schade-inventarisatie. Onafhankelijk van de oorspronkelijke inspectie-uitvraag is er, in het geval dat onzekerheden (risico's) worden waargenomen, altijd een advies voor de uitvoering van een "nader onderzoek". In de daarbij opgegeven reden kan gemeld worden dat het gaat om een vermoedelijke aanwezigheid van ASR. In de oorspronkelijke CUR-Aanbeveling 102 werd dit de "oriënterende inspectie" genoemd.

Sinds het intrekken van de CUR-Aanbeveling 102, is het vervolg op een dergelijke informatie niet meer gestandaardiseerd. Verwijzingen daarin naar CUR-Aanbeveling 72 zijn ook niet meer van toepassing. In de huidige [CUR-Aanbeveling 117] zijn de inspecties en adviezen gecategoriseerd in het kader van goed beheer en onderhoud; assetmanagement in het algemeen.

De eerste stap is een doelgericht nader onderzoek ter plaatse naar de betrouwbaarheid van de geregistreerde waarneming en een specifieke beschrijving van het vermoeden. Mits dit onderzoek wordt uitgevoerd door iemand met kennis van het (schade)mechanisme en constructieve veiligheid, kan wel geregistreerd worden of de voorwaardelijke omstandigheden en/of aspecten aanwezig zijn maar een definitieve vaststelling dat er sprake is van ASR, is nog onwaarschijnlijk. In het stappenplan is deze inspectie de "gericht visuele inspectie" genoemd. In de vraagstelling dienen de volgende aandachtspunten opgenomen te worden:

- Vooraf uit te voeren archiefonderzoek (bestek informatie met ontwerpnota's, tekeningen, uitgangspunten, eerder uitgevoerde herstellingen en onderzoeken.
- Te registreren inspectieresultaten:
- Scheurvorming (craquelé, laminair, scheurwijdte en diepte, hoeveelheid en indien mogelijk gerelateerd aan de wapenings- en voorspannings-geometrie.
- Geluitbloeding (wellicht ook een monster indien ter plaatse niet vastgesteld wordt of het silicagel betreft of bijvoorbeeld kalk).

- Aanwezigheid van secundaire ettringietvorming (DEF). (ook een expansieve chemische reactie die zich in dezelfde omstandigheden ontwikkelt).
- Omschrijving van de vochthuishouding en met name de eventuele gebreken in de voorzieningen voor een snelle en gecontroleerde afvoer van het hemelwater.
- Aanwezigheid van nevenaspecten als expansie, herkenbaar aan onvoldoende dilataties, niet in lijn zittende leuningen, opgestuwde taluds of onverklaarde vervormingen grenzend aan de beschouwde betonconstructie.
- Een duidelijke omschrijving van de schadeomvang. Tenminste van de waarneembare aantasting op basis waarvan een risico-inschatting voor het gehele object kan worden gemaakt (een aantasting kan lokaal zijn).
- Een omschrijving van de mogelijkheden en benodigd materieel ten behoeve van de bereikbaarheid. Dit in verband met de eventueel later vast te stellen noodzakelijke monsternamen en onderzoeksgebied.

Na de uitvoering van de “gericht visuele inspectie” is een vervolgonderzoek uit te voeren waarbij (gematigd) destructieve inspectietechnieken noodzakelijk kunnen zijn. Uit dit onderzoek volgt de definitieve vaststelling van ASR-schade. Om de invloed van eventueel destructieve onderzoeksmethoden (kernen boren) te beperken dient de vraagstelling voor een vervolgonderzoek voorbereid te worden in overleg met:

- a) Materiaaldeskundige (betontechnologie / betononderhoudskundige) in verband met monsternamen voor de gewenste onderzoeken. Indien kernen geboord moeten worden, dienen locaties, aantal en afmetingen te worden beschreven alsmede het doel van de onderzoeken waarvoor deze bestemd zijn. Zie hiervoor [NEN 12504-], [NEN-12390-] en [NEN-13791-].
- b) Materiaaldeskundige (petrografie) in verband met het uit te voeren microscopie en polarisatie- en fluorescentieonderzoek (PFM) en
- 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 dient in overleg met genoemde teamleden te worden besproken teneinde het destructieve karakter van het onderzoek niet onnodig groot te laten worden.

Definitieve vaststelling of er sprake is van een ASR aantasting en de mate van schade die hiervan het gevolg is, wordt nu geconcludeerd waarna een besluit genomen moet worden ten aanzien van de vervolgstappen in samenwerking met beheerder/eigenaar.

3.3. Definitieve vaststelling

3.3.1. Algemeen

Het enige onbetwistbare bewijs dat ASR zich in beton heeft ontwikkeld is de aanwezigheid van ASR-gelreactieproducten. In de vroege stadia van reactiviteit, of onder omstandigheden waarin slechts kleine hoeveelheden worden geproduceerd, is ASR-gel vrijwel niet met het blote oog waarneembaar, en slechts met moeite door een vaardige waarnemer met een microscoop. ASR kan dus enige tijd, mogelijk jaren, onopgemerkt blijven in constructies, voordat zich een noodsituatie ontwikkelt die tot erkenning en herstel van de structuur vereist.

De bevestiging dat een betonnen constructie wordt aangetast door ASR omvat typisch de volgende stappen:

1. De visuele inspectie: Onderzoek het beton op tekenen van door ASR veroorzaakte schade, zoals scheuren, afbrokkeling en verkleuring. Deze tekenen kunnen op het oppervlak of op diepte verschijnen. Vaak worden fotobeelden gebruikt als herkenning van schadebeelden maar met name scheurvorming kent vele oorzaken en kan dus misleidend zijn.
2. Petrografische analyse: Een petrografische analyse houdt in dat een monster van beton onder een microscoop wordt onderzocht om de soorten aggregaten en eventuele tekenen van door ASR veroorzaakte schade te identificeren. Deze analyse kan worden uitgevoerd door een gekwalificeerde petrograaf.
3. Chemische testen: Chemische testen houden in dat betonnen monsters worden geëxtraheerd en getest op de aanwezigheid van reactieve silica mineralen en alkali's. Deze testen kunnen de aanwezigheid van ASR bevestigen en helpen de ernst van de schade te bepalen. Zo is bijvoorbeeld de uranyl (uranium)acetaatfluorescentiemethode ontwikkeld om te worden gebruikt voor de controle op mogelijke ASR.
4. Monitoring: In sommige gevallen kan het monitoren van de betonnen constructie in de loop van de tijd helpen om de aanwezigheid van ASR te bevestigen. Dit kan periodieke visuele inspecties en metingen van scheurwijdtes en dieptes omvatten.

3.3.2. Bemonstering

De plaatsen waar boorkernen kunnen worden genomen moeten worden bepaald in overleg tussen de onderzoeksteamleden. De boorkernen moeten representatief zijn voor de gebieden die op dwarskracht worden beoordeeld.

Gezien het destructieve karakter van deze monsternamen dienen aantal en afmetingen kritisch bepaald te worden door de deskundigen die ook het doel van de monsternamen bepaald hebben.

De doelen kunnen mechanische onderzoeken (druk, - en (eenassige)trek-sterkte), Chemische laboratorium onderzoeken (chromatografie, carbonatatie en chloridebepaling) en petrografische onderzoeken (Microscopie) zijn.

Markeren en boren

De plaats en de oriëntatie van de kern in het te testen constructieonderdeel moeten duidelijk worden aangegeven, zowel op de kern als op een tekening of schets van de desbetreffende constructie. Op de kern moet met een permanente marker het volgende worden aangegeven:

- Een oriëntatiekruis op het bovenzvlak, waarbij de assen overeenkomen met respectievelijk de overspanningsrichting van het onderdeel en de dwarsrichting van het onderdeel. Beide richtingen moeten herkenbaar zijn aan verschillende kleuren of lijnpatronen.
- Welke kant van de kern zat in het oorspronkelijke structurele oppervlak.
- Een eenduidige en unieke identificatie van de kern.

De boorkernen moeten zorgvuldig geboord (stabiele boorverankering) en verwijderd worden. Het optreden van ongewenste effecten zoals scheuren moet worden voorkomen. De uiterste zorgvuldigheid moet betracht worden om reden dat kernen (met name als er sprake is van delaminatie) moeilijk als één stuk te verwijderen zijn en de invloed van vocht op de chemische reactie. Het doel van de bemonstering (mechanische testen) vraagt benodigde afmetingen en het aanwezige materiaal moet (ondanks het koelwater bij het boren) niet beïnvloed worden door wisselwerking met vocht uit de omgeving.

Behandeling van boorkernen

Na het verwijderen en beoordelen van de kern moet deze als volgt worden behandeld en opgeslagen:

- Reinig de kern onmiddellijk na het verwijderen met een minimale hoeveelheid water om aangehecht materiaal te verwijderen.
- Wikkel de kern in een ongekleurde, harde doek en wikkel hem in zelfklevende folie om uitdroging en beschadiging tijdens het vervoer te voorkomen.
- De kernen moeten zodanig in het vervoermiddel of in een extra verpakking worden geplaatst dat zij niet kunnen worden beschadigd. De identificatie moet herkenbaar aanwezig blijven.

4. Rekenkundige beoordeling

4.1. Inleiding

Door de studiecél is eerst een literatuurstudie uitgevoerd naar de rekenkundige beoordeling van constructies met ASR. Het resultaat hiervan is opgenomen in bijlage A.

Voor een rekenkundige beoordeling van een constructie met ASR wordt in dit rapport geadviseerd om van grof naar fijn te werken. Als startpunt kan de constructie zonder ASR worden beoordeeld (paragraaf 4.2) op basis van de vigerende rekenregels uit de RBK1.2.1 en NEN8702. De beoordeling van een constructie met ASR is behandeld in paragraaf 4.3.

4.2. Constructieve beoordeling zonder ASR

In eerste instantie wordt een beoordeling van de constructieve veiligheid aangeraden zonder eventuele rekenregels voor ASR. Zonder effecten van ASR kan de dwarskrachtweerstand al lager zijn dan de benodigde, hiervoor zijn een viertal 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.

4.3. Constructieve beoordeling met ASR

Voor de constructieve beoordeling van constructies met ASR heeft de studiecél oude normen en richtlijnen bestudeerd, waaronder de ingetrokken CUR Aanbeveling 102. Inmiddels is april 2024 de *fib* Model Code 2020 (MC2020) gepubliceerd, die nieuwe inzichten biedt ten aanzien van het effect van ASR op de constructieve weerstand. Hierbij wordt ingegaan op het effect van ASR op de weerstand van gewapend beton op constructieniveau en de mechanische eigenschappen van 'plain concrete', waarmee boorkernen van ongewapend beton worden bedoeld. Beide aspecten worden in deze paragraaf toegelicht.

4.3.1. Effect van ASR op de weerstand van gewapend beton op constructieniveau

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 uitsluitel.

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

In MC2020 worden verder twee nadelige effecten van ASR benoemd:

1. Bij voldoende opsluiting kan het chemisch voorspannen door ASR leiden tot een verhoging van de drukspanningen en daarmee een nadelig effect hebben op de toetsing van de axiale drukweerstand. Volgens de 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 uitgegaan worden 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 wapeningstaven in bi-axiaal gewapende balken mag volgens MC2020 de reductie van de uittreksterkte door ASR worden verwaarloosd indien er wordt voldaan aan de minimum wapeningspercentage eisen volgens MC2020.

Interpretatie studiecél:

- 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 gemitigeerd indien de uitgetrokken wapeningstaaf 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 de MC2020. Daar 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.

4.3.2. Effect van ASR op de 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 indien 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).

4.3.3. Opmerkingen van de studiecél

In deze paragraaf zijn de overige opmerkingen van de studiecél beschreven.

Voor de bepaling van de volumieke expansie geeft MC2020, naast de cumulatieve scheurwijdte methode, 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 de methode uitgaat van trendlijnen die de reductie van mechanische eigenschappen overschatten (conservatief). Indien hiervan wordt uitgegaan, kan in sommige gevallen de volumieke expansie worden onderschat(niet-conservatief). Tevens is het 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 om de 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 schaaleffect nog niet grondig onderzocht. Dit is ook onderkend in het onderzoek van Martinez (2016), waarop MC2020 haar conclusies grotendeels baseert. Voor constructies met een hoogte groter dan 350 mm is de ondersteuning van de conclusies door experimentele data enigszins beperkt.

4.4. Niet-lineaire eindige elementen methode

De niet-lineaire eindige elementen methode (NL-EEM) is een behulpzame methodiek om inzicht te verkrijgen in het constructief gedrag van betonconstructies. Met deze methodiek is het onder meer mogelijk om het verbrijzelen en scheuren van het beton, het plastisch gedrag van het wapeningsstaal en de interactie tussen het beton en wapening expliciet te modelleren. Ook kan met deze methodiek multi-fysische fenomenen worden gesimuleerd. Dit leidt ertoe dat de NL-EEM de potentie heeft om te worden toegepast voor het rekenkundig beoordelen van betonconstructies met ASR.

De studiecél heeft in de literatuur gezocht naar de toepassing van NL-EEM voor het rekenkundig beoordelen van betonconstructies met ASR. De bevindingen hiervan zijn samengevat in deze paragraaf. Deze zijn samengebundeld in de volgende onderwerpen: 1) wat is de huidige stand van de techniek, 2) een aantal fundamenteel verschillende modelleringsaanpakken, en 3) de vooruitzichten.

Huidige stand van de techniek

De studiecél heeft in de literatuur geen voorschriften of richtlijnen gevonden voor de toepassing van NL-EEM voor het rekenkundig beoordelen van beton constructies met ASR. Het vermoeden is dat de huidige stand van de techniek nog niet voldoende ontwikkeld is. De oorzaken hiervan zijn:

- NL-EEM is nog onvoldoende gevalideerd voor betonconstructies met ASR. Validatie van NL-EEM wordt in MC2020 ook als expliciete voorwaarde voor toepassing van NL-EEM genoemd. Modellen moeten worden gevalideerd op representatieve proeven. Mogelijk is het dan goedkoper om de constructie te versterken of te vervangen.
- De invoer van de materiaaleigenschappen van beton met ASR in NL-EEM is niet eenvoudig vast te stellen, omdat:
 - het effect van de variabelen op de mechanische eigenschappen een grote spreiding vertoont in de experimenten.
 - de mechanische eigenschappen gevoelig zijn voor meerdere variabelen. Bijvoorbeeld, de treksterkte wordt door zowel de scheuroriëntatie als de mate van uitzetting van de ASR-gel beïnvloedt.
 - de variabelen die effect hebben op de mechanische eigenschappen afhankelijk van elkaar kunnen zijn. Bijvoorbeeld, de groei van de ASR-gel is afhankelijk van de aanwezige scheuren.
- Om de constructieve veiligheid gedurende de gewenste restlevensduur te waarborgen, is het noodzakelijk om het tijdsafhankelijke effect van ASR in de NL-EEM analyse mee te nemen. Dit betekent dat de ontwikkeling (propagatie en uitzetten) van de ASR-gel moet worden meegenomen in de analyse. Een op constructieniveau gevalideerde methode om dit effect mee te nemen ontbreekt. Andere tijdsafhankelijke relevante effecten zijn krimp, kruip en relaxatie in betonconstructies met ASR. Het is op dit moment onduidelijk of de hiervoor bekende relaties in onaangetast beton ook geldig zijn voor beton met ASR.
- Het mechanisch gedrag en materiaaleigenschappen van beton is in de Eurocode gerelateerd aan de betondruksterkte: voor de afleiding van de materiaaleigenschappen zijn vergelijkingen gegeven die afhankelijk zijn van de betondruksterkte. Daarnaast zijn er in de Eurocode vergelijkingen die semi-empirisch zijn. Deze vergelijkingen zijn gefit op basis van experimenten op proefstukken van onaangetast beton. Voorbeelden hiervan zijn de verankeringsslengte en de dwarskrachtweerstand zonder dwarskrachtwapening. Het is onduidelijk of deze vergelijkingen in de Eurocode nog geldig zijn voor beton dat is aangetast door ASR.

Verschillende modelleringsaanpakken uit de literatuur

De studiecél heeft drie fundamenteel verschillende modelleringsaanpakken in de literatuur gevonden, [1, 2, 3]. Deze zijn hieronder samengevat.

In [1] is een modelleringsaanpak ontwikkeld die de relatie legt tussen de effecten van de ASR-gel op aggregaat-niveau en het door ASR aangetaste beton op constructieniveau. Dit is bereikt door een multi-scale modelleringsaanpak op te stellen op basis van de volgende theorieën: *i*) poro-mechanics, voor de interactie tussen vloeistoffen en vaste stoffen in een poreuze medium onder invloed van een externe belasting, *ii*) micro-mechanics, voor de koppeling tussen de fenomenen die optreden op microschaal en het effect hiervan op het mechanisch gedrag op macro-schaal, en *iii*) breukmechanica, voor de formulering van scheurgroei in het beton. De ontwikkelde modelleringsaanpak is gevalideerd

op basis van experimenten met ASR. De testen die zijn uitgevoerd omvatten drukproeven op kubussen van 150 mm, uitzettingsproeven op prisma's van 75 x 75x 280 mm, E-modulus testen op prisma's van 100x100x400 mm en slijttreksterkte proeven op kubussen van 150 mm. De auteur concludeert dat met de ontwikkelde multi-scale modelleringsaanpak de relatie tussen de stijfheid en de sterkte redelijk goed voorspeld kan worden. Echter, de modelleringsaanpak overschat de degradatie van de stijfheid als functie van de uitzetting.

In [2] is een “chemo-thermal-mechanical damage” numeriek model ontwikkeld, waarbij het effect van temperatuur, vochtigheid, niet uniforme tijdsafhankelijke materiaaldegradatie en het opsluitingseffect op de spanningen is meegenomen. Het ontwikkelde model is gevalideerd op twee praktijk casussen van betonnen dammen met ASR aantasting. In de eerste praktijkcasus is het model gevalideerd op basis van waargenomen scheuren in het beton tijdens een inspectie dat 30 jaar na de bouw van de dam is uitgevoerd. Met het ontwikkelde model zijn de ontwikkelingen van het scheurenpatroon in het beton gesimuleerd. Hierbij zijn de scheuren die bij de hiervoor genoemde inspecties zijn waargenomen, ook terug te zien in de numerieke resultaten. In de tweede praktijkcasus zijn eerst ASR gerelateerde parameters gekalibreerd aan de hand van meetdata van de dam. Met het gekalibreerde model is de praktijk casus gesimuleerd. Hierbij is de verticale verplaatsing van de dam vergeleken met de meetdata. Daarnaast zijn scheurenpatronen en locaties van lekkages vergeleken. De gesimuleerde en waargenomen schadebeelden lijken goed overeen te komen.

In [3] is een modelleringsaanpak toegepast met een dubbele mesh waarbij de elementen in de twee mesh sets elkaar overlappen en dezelfde knopen delen. Eén van de mesh sets heeft een lineair-elastische stijfheid en representeert de ASR-gel. De andere mesh set heeft niet-lineaire materiaaleigenschappen en representeert het beton en de wapening. De uitzetting van de ASR-gel wordt gesimuleerd met opgelegde vervormingen in de eerstgenoemde mesh set. Doordat beide mesh sets dezelfde knopen hebben, zal de uiteindelijke vervorming van het beton afhankelijk zijn van de stijfheid van beide mesh sets. De modelleringsaanpak is toegepast op experimentele dwarskrachtproeven op balken van twee andere studies. Hierbij zijn de elementen in de mesh set van het beton voorgescheurd tot verschillende niveaus. Daarnaast zijn ter vergelijking simulaties uitgevoerd met een enkele mesh set (geen dubbele mesh set), waarbij de degradatie door ASR is meegenomen via een vermindering van de materiaaleigenschappen van het beton. Hieruit is gebleken dat de modelleringsaanpak met een dubbele mesh leidt tot betere voorspellingen van de bezwijkmechanismen. Echter, de modelleringsaanpak met de dubbele mesh leidt tot overschattingen van de dwarskrachtcapaciteit variërend van 15% tot 70%. Terwijl de hiervoor beschreven modelleringsaanpak met een enkele mesh leidt tot conservatieve voorspellingen (lager dan in het experiment) van de dwarskrachtcapaciteit.

Vooruitzichten

Bij RILEM, een internationaal onderzoekssamenwerkingsverband op het gebied van bouwmaterialen en constructies, is het technisch comité 259-ISR in het leven geroepen om de voorspelling van de degradatie en het verlies aan levensduur van betonconstructies beschadigd door ASR te onderzoeken [4]. Een van de onderzoeksactiviteiten is gericht op de ontwikkeling van richtlijnen voor de toepassing van NL-EEM voor beton met ASR. De activiteiten van het comité zijn beëindigd in 2019, waarna in 2020 een boek [5] is uitgebracht met de bevindingen van dit comité. Helaas heeft de studiecél het boek niet tot haar beschikking en is het niet mogelijk om over de inhoud van het boek te rapporteren.

Bronnen

- [1] Esposito, R. (2016). *The Deteriorating Impact of Alkali-Silica Reaction on Concrete: Expansion and Mechanical Properties*.
- [2] Pourbehi, M. S. (2018). *Numerical modelling of alkali silica reaction in concrete dams* (Doctoral dissertation, Stellenbosch: Stellenbosch University).
- [3] Chen X. (2019). *Finite Element Modelling of ASR Affected Reinforced Concrete Beams Based on Realistic Pre-damage* (Master thesis, Delft: Delft University of Technology).
- [4] RILEM. (n.d.) *259-ISR : Prognosis of deterioration and loss of serviceability in structures affected by alkali-silica reactions*. Geraadpleegd op 26 september 2022, van <https://www.rilem.net/groupe/259-isr-prognosis-of-deterioration-and-loss-of-serviceability-in-structures-affected-by-alkali-silica-reactions-323>
- [5] Saouma, V. E. (Ed.). (2020). *Diagnosis & prognosis of AAR affected structures: state-of-the-art report of the RILEM Technical Committee 259-ISR* (Vol. 31). Springer Nature.

5. Maatregelen

5.1. Preventie

Voor preventieve maatregelen ter voorkoming van ASR ontwikkeling is het gebruikelijk de CUR-Aanbeveling 89 te volgen. In het ontwerp kan verder nog rekening gehouden worden door geschikte vormkeuzen die een snelle en gecontroleerde (inspecteerbare) hemelwaterafvoer faciliteren.

5.2. Reactief

Eenmaal aanwezig en vastgesteld in bestaande constructies zijn herstelmaatregelen mogelijk voor de directe en indirecte schade ten gevolge van het expansieve karakter van de reactie. De overweging waar en wanneer reparaties mogelijk zijn, moet in overleg met de betrokken deskundigen worden vastgesteld omdat de ASR ontwikkeling een herverdeling van spanningen veroorzaakt kan hebben die bij saneringswerkzaamheden niet zonder risicovolle consequenties is. De RBK 1.2 geeft paragraaf 1.4.3 voorbeelden van risico's en uitvoerings- c.q. beheersmaatregelen.

Een verdere ontwikkeling van de chemische reactie is niet te prognosticeren maar kan wel beïnvloed worden door de aanvoer van het benodigde vocht te belemmeren. Normaliter wordt de bovenzijde van de constructie dan afgesloten door middel van een waterdichte oppervlaktebehandeling. Dit kan een coating of overlaging van beton zijn. Daarbij moet men zich wel realiseren dat de beschikbare materialen daarvoor een beperkte levensduur hebben en ook onderhevig zijn aan onderhoud.

5.3. Risicobeheersing

De grootte van het (constructieve veiligheid)risico is bepaald door oorzaak en gevolg. De oorzaak is de expansie in beton van de constructie. De invloed van de expansie is echter niet eenvoudig vast te stellen, evenmin als de reikwijdte van het effect. De onvoorspelbaarheid van een prognose van de verdere ontwikkeling (bij uitblijven van maatregelen), zorgt eveneens voor een grote mate van onzekerheid. Bekende acties ter beperking van het risico (naast de eerder genoemde herstelmaatregelen) zijn:

- 0-optie: niets doen bijvoorbeeld naar aanleiding van een beperkt en overzichtelijk schadebeeld en de wetenschap dat de resterende (rest)levensduur geen toename van het risico inhoudt. Dit gezien in de wetenschap dat een ASR-ontwikkeling zeer traag verloopt.
- Inspectiefrequentie opvoeren of een monitorings-systeem installeren. Inspectietechnieken zoals crack-mapping zijn volop in ontwikkeling. Aandachtspunt daarbij is wel dat sommige inspectietechnieken een destructief karakter hebben waarvan de invloed besproken moet worden met de betrokken deskundigen.

- Reduceren van de belasting. Verkeersbelasting beperken, herverdelen of afsluiten voor specifieke gebruikersgroepen. Voorzieningen (beperking doorgang) aanbrengen die hetzelfde effect hebben.
- Verbeteren van de constructieve veiligheid door het aanbrengen van versterkingen.
- Aanbrengen van actieve of passieve ondersteuningsconstructies.
- De gevolgen van een bezwijken kunnen tenslotte nog worden weggenomen door de constructie te slopen.

Om de constructieve veiligheid vast te stellen is de uitvoering van een proefbelasting mogelijk. Dat resulteert (mits met dat doel ontworpen) voor een momentopname op basis waarvan bovenstaande risicobeheersmaatregelen alsnog uitgevoerd kunnen worden.

Bijlage A Literatuurstudie

Inleiding

Op de volgende pagina's word het resultaat gepresenteerd van een literatuurstudie, zowel in Nederlandse literatuur als buitenlandse literatuur. Doel hiervan is op een geknopte wijze een overzicht te geven van de aanpak, methoden en ontwikkelingen per land. Hierbij worden 4 thema's onderscheiden: inspectiemethoden, kwalitatieve beschouwing, rekenkundige beoordeling en maatregelen. Het is niet bedoeld als een uitputtend overzicht, maar als ingang voor verdere studie.

Hierbij wordt opgemerkt dat de beschikbare (wetenschappelijke) literatuur zeer omvangrijk is, maar theoretisch van aard en daarmee beperkt nuttig voor de dagelijkse ingenieurspraktijk. Ook worden de meeste proeven op ASR-constructies gedaan op in het laboratorium vervaardigde (met versneld aan ASR blootgestelde proefstukken (bijv. kernen of balken) maar niet op werkelijke constructies. Zo wordt het gunstig werkende opspaneffect bijna nooit meegenomen. Verder zijn de gevonden resultaten te divers om er een algemeen beeld uit te kunnen schetsen. Zo werd uit onderzoek in de Verenigde Staten [A-15] geconcludeerd dat ASR beperkte invloed op de constructieve sterkte heeft, maar wordt dit niet breed onderschreven in overige literatuur.

Het is de verwachting dat de komende jaren nog veel zal worden gepubliceerd op het gebied van ASR. Het wordt dus aanbevolen de ontwikkelingen in de gaten te houden.

Nederland

Inleiding

In Nederland werd lange tijd gedacht dat ASR geen probleem zou zijn door het gebruik van hoogovencement en Nederlandse toeslagmaterialen. Daar kwam vanaf 1991 verandering in. Daarop volgende diverse onderzoeken.

- 1991 Onderzoek Montigny viaduct Schoonhoven (1^e ASR geval in Nederland)
- 1992 Onderzoek viaducten in A59
- 1994 CUR Aanbeveling 38: Maatregelen om schade aan beton door ASR te voorkomen
- 1998 Monitoring viaducten in A59
- 2002 CUR Aanbeveling 89: Maatregelen ter voorkoming van betonschade door ASR
- 2005 CUR Aanbeveling 102 (ingetrokken 2017)
- 2010 Start onderzoeksprogramma "Integral Solutions for Sustainable Construction"
- 2016 Promotieonderzoek Rita Esposito, TU Delft

Inspectiemethoden

Inspectiemethoden zijn te vinden in hoofdstukken 5 en 7 van de CUR Aanbeveling 102 (ingetrokken 2017), §4.4.1 Handboek Inspectie beton Conform CUR-Aanbeveling 117 en het Handboek voor oriënterende inspectie ASR inspectiemethoden.

Kwalitatieve beschouwing

De meeste ASR schade in Nederland ontstaat na 30 jaar [A-1]. Dat wijst op een relatief langzame reactiesnelheid. Voor viaducten gebouwd na 1994 (CUR Aanbeveling 38) en 2002 (CUR Aanbeveling 89) is de kans op ASR schade voor nieuwe constructies steeds kleiner geworden. Daarmee is het bouwjaar een eerste indicatie voor de kwalitatieve beschouwing. Daarnaast is het type cement een indicatie: vaak bleek portlandcement te zijn gebruikt [A-1].

Rekenkundig beoordelen

Tussen 2005 en 2017 werden (rekenkundige) beoordelingen met de CUR Aanbeveling 102 uitgevoerd.

Maatregelen

Tabel A-1 Maatregelen

Type	Object	Toelichting	Bron
Versterken	Viaduct Wolput	Verticale draadeinden	[A-12]
Proefbelasten	Viaduct Vlijmen-Oost		[A-4]
Monitoring	16 Viaducten in A59		[A-3]
Slopen		Vergaande delaminatie	
Afsluiten vocht		Coating of overlaging	

Buitenland

Inspectiemethoden

Tabel A-2 *Inspectiemethoden*

Land	Inspectiemethode	Toelichting	Bron
UK	Expansion index		[A-13]
Denemarken	Akoestisch		[A-1]
Noorwegen	LCPC cracking index method		[A-1]
VS	Akoestisch		[A-1], [A-2], [A-6]
Canada	-	<i>Geen specifieke/relevante info gevonden</i>	

Kwalitatieve beschouwing

Tabel A-3 *Kwalitatieve beschouwing*

Land	Kwalitatieve beoordeling	Toelichting	Bron
UK	"Structural severity rating"		[A-13]
Denemarken	-	<i>Geen specifieke/relevante info gevonden</i>	
Noorwegen	-	<i>Geen specifieke/relevante info gevonden</i>	
VS	-	<i>Geen specifieke/relevante info gevonden</i>	
Canada	Damage Rating Index en Stiffness Damage Test		[A-16]

Rekenkundig beoordelen

Er zijn nauwelijks rekenkundige beoordelingsmethoden beschikbaar. Nederland was rekentechnisch vooruitstrevend met de publicatie van CUR Aanbeveling 102, welke was ontwikkeld op basis van Britse richtlijn ISE 1992 en laboratoriumproeven op uitgezaagde balken van viaducten met ASR. De richtlijn werd zelfs in het Engels vertaald.

Tabel A-4 Rekenkundige beoordeling

Land	Rekenkundige beoordeling	Toelichting	Bron
UK	Reductie mechanische eigenschappen	o.b.v. gemeten zwelling	[A-13]
Denemarken	Formule dwarskrachtcapaciteit		[A-11]
Noorwegen	Niet-lineaire EEM		[A-8], [A-9]
VS	Numeriek		[A-10]
Canada	-	<i>Geen specifieke/relevante info gevonden</i>	

Maatregelen

In alle landen wordt het afsluiten van vocht middels een waterdicht membraan op het dek als belangrijke maatregel gezien. Overige maatregelen verschillen per casus en per land.

Tabel A-5 Maatregelen

Land	Maatregelen	Toelichting	Bron
UK	Scheurwijdte monitoren		[A-1]
Denemarken	-	<i>Geen specifieke/relevante info gevonden</i>	
Noorwegen	-	<i>Geen specifieke/relevante info gevonden</i>	
VS	Repareren		[A-7]
Canada	-	<i>Geen specifieke/relevante info gevonden</i>	

Normen en richtlijnen

NEN 8700-series

Voor de beoordeling van bestaande kunstwerken in Nederland dient men gebruik maken van de NEN 8700 normenseries van de commissie "Technische Grondslagen voor Bouwconstructies" (TGB). In de NEN 8700, NEN 8701 en NEN 8702 zijn bepalingen opgenomen voor respectievelijk de grondslagen van de beoordeling, de in rekening te brengen belastingen, en specifieke bepalingen voor betonconstructies. In de eerste twee genoemde normen zijn geen directe aanwijzingen gevonden voor het in rekening brengen van ASR-schade bij de beoordeling. In de NEN 8702 wordt daarentegen nadrukkelijk vermeld dat bij de beoordeling rekening gehouden moet worden met mogelijke invloeden van opgetreden materiaaldegradatie op het materiaalgedrag. Echter, er is niet beschreven hoe men om kan gaan met ASR in de beoordeling.

Richtlijnen beoordeling kunstwerken van Rijkswaterstaat

Voor kunstwerken van Rijkswaterstaat, en soms ook andere kunstwerken, zijn de richtlijnen beoordeling kunstwerken (RBK) van toepassing. In dit document is beschreven dat bij de constructieve beoordeling rekening gehouden moet worden met degradatie door ASR. Echter, ook in de RBK is niet beschreven hoe men dit effect in rekening moet brengen bij een constructieve beoordeling.

Technische richtlijnen van de ISE

De Institution of Structural Engineers (ISE) van het Verenigd Koninkrijk heeft in 1992 een rapport uitgebracht met de titel "Structural Effects of Alkali-Silica Reaction, Technical Guidance on the Appraisal of Existing Structures" [A-17]. Dit rapport geeft handvatten voor het beoordelen van kunstwerken met ASR en omvat informatie voor het kwantificeren van de schade, het uitvoeren van de constructieve beoordeling, en monitoren en beheer. Tevens bevat het een tabel waarbij de degradatie van de mechanische eigenschappen is gekoppeld aan de uitzetting in het beton, zie Tabel . Hierbij moet vermeld worden dat de tabel een conservatieve schatting is van de mechanische eigenschappen. Voor meer achtergrondinformatie over de tabel wordt verwezen naar het rapport.

Tabel A-6 Ondergrens inschatting van de mechanische eigenschappen van beton met ASR, tabel overgenomen uit [A-1].

<i>Property</i>	<i>Percentage strength as compared with unaffected concrete for various amounts of free expansion</i>				
	0.5 mm/m	1.0 mm/m	2.5 mm/m	5.0 mm/m	10.0 mm/m
Cube compression	100	85	80	75	70
Uniaxial compression	95	80	60	60	*
Tension	85	75	55	40	*
Elastic modulus	100	70	50	35	30

fib Model Code 2010 en 2020

De *fib Model Code 2010* behandelt ASR in beton summier [A-18]. De toelichting die hierop is gegeven is dat op het tijdstip van het uitbrengen van de Model Code 2010 de analytische en numerieke modellen nog ter discussie stonden. Echter, in het hoofdstuk van de hechtsterkte tussen het beton en de wapening zijn handvatten gegeven voor het inschatten van de hechtsterkte bij constructies met ASR.

fib Model Code 2020

In de conceptversie van de *fib Model Code 2020* [A-19] is een aantal bepalingen opgenomen voor het constructief beoordelen van constructies met ASR. Deze omvatten het effect van ASR op de hechtsterkte tussen het beton en de wapening, en handvatten voor het toetsen van de uiterste grenstoestand. Opgemerkt wordt dat bij laatstgenoemde de rekenregels alleen geldig zijn onder de voorwaarde dat de volumieke uitzetting door ASR kleiner is dan 1.5%. In hoofdlijnen wordt beschreven dat het degraderend effect van ASR op constructie elementen, met voldoende dwarskrachtwapening en een volumieke uitzetting kleiner dan 1.5%, een verwaarloosbare impact heeft op de weerstand (axiale trek, buiging, pons en dwarskracht). Voor meer toelichting wordt verwezen naar de rapporten die in de *fib Model Code 2020* zijn genoemd.

Bronnen

- [A-1] I. Sims en A. Poole, Alkali-Aggregate Reaction in Concrete – A World Review, 2017
- [A-2] V. Soltangharai, Evaluation of Temporal Damage Progression in Concrete Structures Affected by ASR Using Data-driven Methods, 2020
- [A-3] A.J.M. Siemes, TNO report 2002-CI-R1047 Monitoraanpak HERMES, december 2002
- [A-4] S.A.A.M. Fennis en D.A. Hordijk, Powerpoint presentatie “ASR-viaduct” Vlijmen-Oost belast en beoordeeld!, april 2013
- [A-5] Y. Takebe en T Yokoyama, Strengthening Effect of Prestressed Concrete members Affected by Alkali-Silica Reaction – 2013
- [A-6] M.D.A. Thomas, Methods for evaluation and Treating ASR-Affected Structures: Results of Field application and Demonstrative Projects – Volume 1- US Department of Transportation, november 2013
- [A-7] R. Haddad en M. Shannag, Repair of Reinforced Concrete Beams Damaged by Alkali Silica Reaction, maart 2008
- [A-8] A. Tiari, Structural Analysis of Reinforced Concrete Beams Affected by Alkali-Silica reaction, mei 2020
- [A-9] H. Furdal en J. Vevang, Assessment of Elgeseter Bridge Suffering from Alkali-Silica Reactions, 2021
- [A-10] Numerical Modeling of AAR – Saouma 2014
- [A-11] Influence of Alkali-Silica Reaction on the Shear Capacity of Reinforced Concrete Slabs Without Shear Reinforcement – Hansen 2019
- [A-12] A.J.M. Siemes en J.D. Bakker, Herstel ASR-schade – Cement oktober 1997
- [A-13] ISE, Structural effects of Alkali-silica reaction – juli 1992 (+ Addendum 2010)
- [A-14] E. Rademaker, Handboek voor oriënterende inspectie ASR, , RWS 2002
- [A-15] J. Walraven, G. Dieteren, Approach to assessment of existing structures in the fib Model Code 2020, april 2023
- [A-16] A. Allard, Performance evaluation of thick concrete slabs affected by alkali-silica reaction, 2020
- [A-17] ISE (Institution of Structural Engineers). (1992). Structural Effects of Alkali-Silica Reaction, Technical Guidance on the Appraisal of Existing Structures.
- [A-18] fib (International Federation for Structural Concrete). (2013). fib Model Code for Concrete Structures 2010
- [A-19] fib (International Federation for Structural Concrete). (2023). fib Model Code for Concrete Structures 2020 (Final draft)

B