



Vlaams Ministerie van Mobiliteit en Openbare Werken
Departement Mobiliteit en Openbare Werken
Technisch Ondersteunende Diensten
Expertise Beton en Staal (EBS)

Graaf de Ferrarisgebouw, verdieping 6
Koning Albert II-laan 20 bus 6
1000 Brussel

tel. 02 553 73 56 fax 02 553 73 55
expertise.betonenstaal@vlaanderen.be

Cursus bruginspecteur

Hoofdstuk 1.6

Betonschade

Versie	Cursus 2012
--------	-------------

INHOUDSTAFEL

1	Inleiding.....	2
2	Schade aan beton door directe aantasting	3
2.1	Algemeen.....	3
2.2	Inwendige oorzaken / de alkali-silicareactie	3
2.2.1	Algemeen - situering.....	3
2.2.2	De alkali-silicareactie	4
2.2.2.1	Algemeen reactiemechanisme	4
2.2.2.2	Voorwaarden voor optreden van schade t.g.v. alkali-silicareactie	4
2.2.3	Diagnose van ASR op kunstwerken + aanpak.....	6
2.2.3.1	Vertoont het kunstwerk een potentieel risico op ASR ?	7
2.2.3.2	Is het kunstwerk aangetast door ASR ?	8
2.2.3.3	Wat is de invloed van de schade op de veiligheid van de constructie ?	8
2.2.3.4	Wat is de te verwachten evolutie van het fenomeen ?	9
2.2.3.5	Wat zijn de oplossingen voor de behandeling of de afremming van de reactie ?	9
2.2.4	Rapportering	10
2.3	Inwendige oorzaken / pop-outs.....	10
2.4	Uitwendige oorzaken.....	11
2.4.1	Schade door mechanische oorzaken	11
2.4.1.1	Verbrijzeling van beton	11
2.4.1.2	Verwering.....	12
2.4.1.3	Scheuren	14
2.4.1.3.A	Rechtstreekse belasting van constructie-elementen.....	14
2.4.1.3.B	Vervormingen te wijten aan differentiële zettingen.	15
2.4.1.3.C	Plastische zetting van vers beton	15
2.4.1.3.D	Verhinderen van vervormingen te wijten aan krimpverschijnselen, aan temperatuursveranderingen,.....	16
2.4.1.4	Uitvoeringsfouten.....	18
2.4.2	Vorst-dooi	21
2.4.3	Vorst-dooi in combinatie met dooizouten	22
2.4.4	Scheikundige aantasting	23
3	Schade aan beton door indirecte aantasting	26
3.1	Algemeen.....	26
3.2	Corrosie	27
3.2.1	Carbonatatie-geïnitieerde corrosie	28
3.2.2	Chloride-geïnitieerde corrosie	29
3.2.3	Corrosie door zwerfstromen	30

1 INLEIDING

De indeling van de verschillende schademechanismen bij gewapend beton kan op verschillende manieren gebeuren.

De gekozen indeling is tweeledig :

- de directe aantasting van beton door inwendige of uitwendige oorzaken;
- de indirecte aantasting van beton door aantasting van de in het beton opgenomen wapening

De aantasting van gewapend beton heeft plaats ten gevolge van fysische, fysisch-chemische of chemische processen.

2 SCHADE AAN BETON DOOR DIRECTE AANTASTING

2.1 Algemeen

De directe aantasting van beton kan geschieden door inwendige of uitwendige oorzaken.

Onder aantasting van beton door inwendige oorzaken wordt verstaan : aantasting veroorzaakt door stoffen die reeds in het uitgangsmengsel aanwezig zijn. Het belangrijkste fenomeen is de alkali-silicareactie (ASR). Naast ASR kunnen zich nog andere mechanismen voordoen die aanleiding geven tot degradatie, pop-outs en uitloging.

De schade van beton door uitwendige oorzaken wordt onderverdeeld in mechanische schade, vorstschade (al dan niet in combinatie met dooizouten) en schade te wijten aan scheikundige aantasting.

2.2 Inwendige oorzaken / de alkali-silicareactie

2.2.1 Algemeen - situering

Beton is een betrouwbare bouwstof, waarmee doorgaans probleemloos kan worden gebouwd. In de loop der jaren is gebleken dat onder bepaalde omstandigheden chemische aantasting kan optreden. Enkele bekende fenomenen die zich in het beton kunnen voordoen zijn carbonatatie en chloride-aantasting, waarover verder meer wordt verteld. Een meer destructieve vorm van aantasting die zich afspeelt in het beton zelf en die in België voor het eerst in 1988 is vastgesteld, is de alkali-silicareactie (ASR).

In de jaren 1930 leidde onverklaarbare scheurvorming en expansie in structuren in de Verenigde Staten tot een nader onderzoek. Tijdens dat onderzoek werd de alkali-silicareactie vastgesteld. De publicatie van het rapport in 1940 bracht snel andere gevallen met dezelfde tot dan toe onverklaarbare schadepatronen aan het licht. Einde van de jaren 1970 werd in Frankrijk aan enkele stuwdammen schade te wijten aan ASR ontdekt. In 1987 werd de eerste ASR-schade aan bruggen, voornamelijk in het noorden van Frankrijk, vastgesteld. Ook in andere landen zoals België, Canada, Zuid-Afrika, Duitsland, Denemarken, Oostenrijk, ... is de alkali-silicareactie in kunstwerken vastgesteld.

In het midden van de jaren 1980 is in België de eerste ASR-schade aan een brug vastgesteld. Het betreft de brug B51 over de E19 te Kontich, waar het brugdek van lichtbeton brede scheuren vertoonde. De bovenbouw van de brug is vervangen in 1989. In 1989 heeft het toenmalig Ministerie van Openbare Werken een onderzoek ter voorkoming van de alkali-silicareactie in beton laten uitvoeren. Hierbij werd de reactiviteit van de granulaten van een dertigtal groeven t.o.v. alkaliën nagegaan. De eerste richtlijnen i.v.m. de alkali-silicareactie in België zijn vervat in de omzendbrief nr. 576-B/4 van 29/11/1989 waarin wordt verwezen naar de brochure "Voor duurzaam beton zonder onderhoud", uitgegeven door het Verbond der Cementnijverheid en specifieke bestekbepalingen opgesteld door het toenmalige Bruggenbureau. In 1991 is die omzendbrief vervangen door omzendbrief nr. 225/910131. De omzendbrief is nadien opgenomen in het dienstorder LI 94/80 "Beton voor constructies", dat ondertussen reeds als nieuwe versie MOW/MIN/2006/02 is verschenen. De voorschriften verplichten het gebruik van cement met begrensd alkaligehalte voor beton dat bestemd is voor de omgevingsklassen EE3, EE4 en ES1 tot ES4.

De term alkali-silicareactie duidt op een geheel van reacties die kunnen plaatsvinden tussen bepaalde bestanddelen van de granulaten met alkaliën die in het poriënwater aanwezig zijn.

2.2.2 De alkali-silicareactie

De alkali-silicareactie is een reactie van reactief silica met alkaliën. Hierbij ontstaan gelvormige reactieproducten (alkali-silicagel) die poriënwater kunnen absorberen en daardoor zwellen. Als gevolg hiervan ontstaan inwendige spanningen die bij een te hoge spanning het beton zullen doen scheuren.

- Reactief silica is een bestanddeel van sommige granulaten.
- Alkaliën (Na_2O en K_2O) zijn aanwezig in het poriënwater van beton. Met poriënwater wordt hier voornamelijk het teveel aan aanmaakwater bedoeld dat niet gebruikt is voor de hydratatie van het cement, maar ook het vocht afkomstig van de uitwisseling van de omgeving. Hierin speelt de relatieve vochtigheid een belangrijke rol.

Algemeen kan dus worden gesteld dat de reactie tussen de reactieve silica en de alkaliën opgelost in het interstitiële water van het beton, leidt tot de vorming van expansieve gels. De vorming van de gel heeft enkel plaats onder bepaalde voorwaarden.

De reactie doet zich in de praktijk voor indien de drie elementen (silica, alkaliën en water) in een pessimum (= meest nadelige) hoeveelheid aanwezig zijn. De relatieve vochtigheid dient bijvoorbeeld meer dan 85 % te bedragen. Dit houdt in dat enkel constructies die regelmatig met water in contact komen, voldoen. Enkele voorbeelden : betonnen stuwdammen, betonnen bruggen, betonwegen, ...

Het bijzondere aan de complexe reactie ligt in het feit dat de ASR-reactie op een heterogene manier is verdeeld in het beton en dat de macroscopische waarneming een uitmiddeling is van wat er zich op microscopische schaal afspeelt.

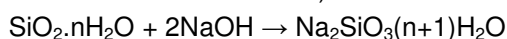
2.2.2.1 Algemeen reactiemechanisme

De alkali-silicareactie verloopt als volgt:

Alkaliën reageren met water tot alkalihydroxide:



Daarna reageert het reactief silica met deze alkalihydroxide tot alkali-silicaathydraat (dat zeer veel water aan zich kan binden)



2.2.2.2 Voorwaarden voor optreden van schade t.g.v. alkali-silicareactie

De alkali-silicareactie kan enkel tot schade leiden indien de volgende voorwaarden gelijktijdig vervuld zijn:

- De granulaten moeten potentieel reactief (alkaligevoelig) zijn, bv. opaal, chalcedoon. De reactie kan alleen tot schade leiden als het gehalte aan reactieve bestanddelen binnen het kritische gebied ligt.
- Het beton bevindt zich constant of periodiek in een vochtige omgeving (minimale relatieve vochtigheid in het beton ongeveer 85 %). Enkel in de aanwezigheid van water kan immers de alkali-silicagel water absorberen.
- Het alkaligehalte van het beton moet een bepaalde grenswaarde overschrijden. Het alkaligehalte wordt uitgedrukt in Na_2O -equivalent: Na_2O equivalent = $\text{Na}_2\text{O} + 0,658 \text{ K}_2\text{O}$ (coëfficiënt 0,658 om rekening te houden met verschil in moleculaire massa)
Bij een gehalte minder dan 3 kg in Na_2O -equivalent per m^3 beton wordt in de praktijk zelden ASR-schade vastgesteld.

De snelheid van de reactie wordt onder andere beïnvloed door de mobiliteit van de alkali-ionen (Na^+ en K^+) om de reactieve silica te bereiken. Een dichte structuur zal het transport van alkali-ionen sterk beperken. De mobiliteit hangt af van de diffusieweerstand van de cementsteen die zelf afhankelijk is van de W/C-factor, het cementgehalte, de hydratatiegraad en de gebruikte cementsoort (de doorlatendheid is bij toepassing van hoogovencement geringer dan bij portlandcement). De reactiesnelheid wordt tevens beïnvloed door de hoeveelheid water die migreert naar de gel.

Gezien de reactie langzaam verloopt, wordt de schade pas na jaren zichtbaar. Het typisch schadebeeld dat hieruit voortvloeit is een regelmatig vertakt scheurpatroon. Dikwijls zijn okerachtige verkleuringen en uitbloedingen van reactieproducten zichtbaar.



2.2.3 Diagnose van ASR op kunstwerken + aanpak

Een pragmatische werkwijze voor de diagnose en de aanpak van de alkali-silicareactie kan erin bestaan een aantal zeer precieze vragen te beantwoorden :

- vertoont het kunstwerk een potentieel risico op ASR ?
- is het kunstwerk aangetast door ASR ?
- wat is de aantastingsgraad van het kunstwerk ?
- wat is de invloed van de schade op de veiligheid van de constructie ?
- wat is de te verwachten evolutie van het fenomeen ?
- wat zijn de oplossingen voor de behandeling of de afremming van de reactie ?

Om op al deze vragen te kunnen antwoorden zijn de volgende handelingen onontbeerlijk :

- verzamelen van gegevens betreffende de geschiedenis van het kunstwerk en de gebruikte betonsamenstellingen;
- uitvoeren van een inspectie ter plaatse met, indien nodig, het meten van de vervormingen en de scheurvorming, uitvoeren van niet-destructieve proeven zoals de relatieve vochtigheid, de temperatuur en potentiaalmeting van de wapeningen om de relatie scheurvorming/corrosie op te stellen, enz.;
- nemen van representatieve proefmonsters, die in het laboratorium kunnen worden onderzocht;
- uitvoeren van berekeningen om de stabiliteit van het kunstwerk of een bouwdeel na te gaan.



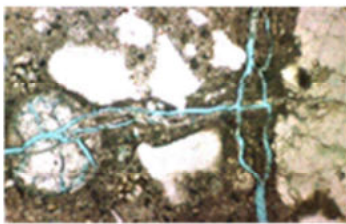
2.2.3.1 Vertoont het kunstwerk een potentieel risico op ASR ?

Vooreerst dient te worden nagegaan of aan de nodige en voldoende voorwaarden is voldaan :

- een omgeving die de reactie in de hand werkt (vochtig);
- potentieel reactieve granulaten;
- een alkaligehalte in het beton dat voldoende is om de reactie op gang te brengen en te onderhouden.

Indien het kunstwerk volledig beschermd is tegen wateraanbreng van buitenaf en indien het niet gaat om massieve elementen, is er geen alkali-silicareactie te vrezen.

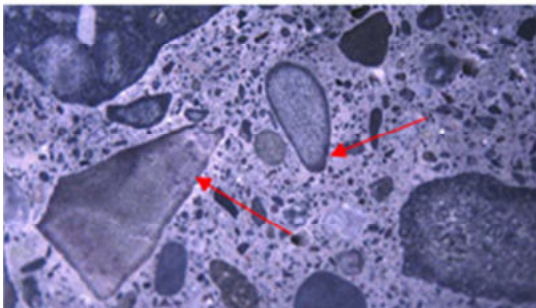
Onderzoek naar potentieel reactieve granulaten kan gebeuren door een petrografische analyse van slijpplaatjes met gepolariseerd licht.



Microscopische opname van silicagel uit een scheur in grofgranulaat. De blauwe kleur is afkomstig van gekleurd epoxy dat gebruikt werd bij de voorbereiding van het monster.



Microscopische opname van gedroogd silicagel, komend uit een ASR-scheur in een grofgranulaat-deeltje.



Omranding afkomstig van ASR rond donker afzettingsgesteente, als granulaat in het beton.



ASR-gerelateerde scheuren doorheen toeslagmateriaal

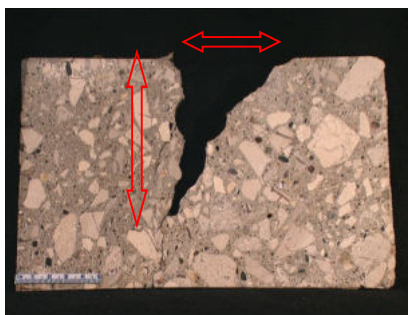
Het nagaan van het alkaligehalte in het beton, of meer algemeen het vinden van de betonsamenstelling, gebeurt door chemische en mineralogische onderzoeken. Het alkaligehalte in het beton kan sterk fluctueren in functie van de plaats in de structuur te wijten aan migratie tijdens de verharding en de invloed van de omgeving voor het beton dat zich op de rand van het kunstwerk bevindt. Daarom is het aangewezen analyses uit te voeren op beton afkomstig van verschillende plaatsen en de randzones te vermijden.

Het gebruikte cementtype en de dosering zijn soms terug te vinden in het dagboek der werken. Op basis hiervan kan ook een schatting gemaakt worden van het alkali-gehalte in het beton.

2.2.3.2 Is het kunstwerk aangetast door ASR ?

Het is bijna onmogelijk vast te stellen met een visueel onderzoek of een kunstwerk aangetast is met ASR. Er zijn evenwel kenmerken die het vermoeden kunnen wekken dat ASR optreedt, zoals :

- in zones waar geen voorkeurrichting is van de drukspanningen of van de wapeningen, vormen de scheuren een kippegaaspatroon (E: mapcracking);
- in elementen met voorspanning of met een bepaalde richting van de wapeningen (bv. kolommen) ontstaan scheuren min of meer in die richting;
- de opening van de scheuren kan zeer groot worden (5 à 10 mm);
- de diepte van de scheuren daarentegen is relatief klein (10 cm);



- de aangetaste oppervlakken zijn in contact met water permanent, periodiek of via een vochtige atmosfeer; een brug vertoont normaal gezien meer schade te wijten aan de alkali-silicareactie aan de slagregenzijde dan aan de andere zijde;
- beton aangetast door ASR vertoont soms een lichte okerkleur;
- in bepaalde gevallen kunnen aan de scheuren uitvloeiingen van gel worden waargenomen.

Om een definitieve diagnose te kunnen stellen, moet worden overgegaan tot een analyse in het laboratorium op basis van geboorde proefstukken (zie methode hierboven aangehaald).

Daarenboven moet worden nagegaan of de alkali-silicareactie alleen verantwoordelijk is voor de vastgestelde schade.

2.2.3.3 Wat is de invloed van de schade op de veiligheid van de constructie ?

ASR leidt bij de aanvang tot de vorming van microscheuren in het beton die van weinig belang zijn. Bij voortgezette reactie wordt het aantal microscheuren groter en groeien ze uit tot macroscheuren. Door de scheurvorming vermindert de sterkte van het beton en verlaagt de stijfheid. De aanhechting van het beton met het wapeningsstaal kan verminderen.

ASR kan leiden op macroniveau tot de uitzetting van de constructie, verhoging van de spanningen in het beton en het wapeningsstaal, grote scheurvorming, delaminatie en grote doorbuigingen.

De druksterkte, de treksterkte en de elasticiteitsmodulus van het beton verminderen naarmate de alkali-silicareactie in omvang toeneemt. Die waarden geven een indicatie van de te verwachten reducties.

2.2.3.4 Wat is de te verwachten evolutie van het fenomeen ?

Een prognose van de evolutie van de alkali-silicareactie is tot op heden een zeer moeilijke aangelegenheid. Er zijn wel enkele proeven die een indicatie kunnen geven van de te verwachten evolutie.

Uitzettingsproeven geven de uitzettingscapaciteit weer van het beton. Die testen worden uitgevoerd op boorkernen genomen uit het kunstwerk. Enkele bemerkingen op die testen worden hierna gegeven. Gezien de alkali-silicareactie in het kunstwerk meestal zeer heterogeen optreedt, kan het zijn dat bij een boorkern wordt vastgesteld dat de reactie volledig uitgewerkt is, terwijl bij een ander de reactie nog niet is aangevangen en dus nog een groot potentieel heeft. De boorkernen worden weggenomen uit het kunstwerk waar ze zich in een bepaalde spanningstoestand bevinden. Door het wegnemen van die spanningstoestand kan de vervorming te wijten ASR volledig verschillen. Een drukspanning van enkele tiende N/mm² kan de gelvorming en dus de uitzetting in die richting verhinderen. De uitzetting wordt steeds bekomen door het uitvoeren van proeven die, de een al meer dan de andere, versneld zijn. De mate waarin die proeven representatief zijn voor de werkelijke structuurveranderingen dient nog te worden vastgesteld. De proeven geven wel een indicatie van de mogelijk te verwachten evolutie.

Het kunstwerk kan eveneens ter plaatse gemonitord worden.

De globale en de lokale scheurvorming kan worden gemeten en kan een beeld geven van de evolutie in de tijd. Het spreekt voor zich dat enkel de extern zichtbare scheuren van een welbepaalde zone van het kunstwerk kunnen worden gevolgd. Het reële gedrag van de structuur is afhankelijk van een groot aantal andere parameters. EBS heeft een observatieprogramma waarbij alle kunstwerken waar ASR via petrografisch onderzoek is vastgesteld periodiek (jaarlijks of 3-jaarlijks) worden opgevolgd. Tijdens zo'n ASR-observatie wordt de globale toestand van het kunstwerk nagegaan en worden met behulp van aangebrachte meetbasissen de scheurwijdtes in kaart gebracht met bepaling van een scheurindex die een indicatie is voor de mate van aantasting. De evolutie wordt nagegaan.

2.2.3.5 Wat zijn de oplossingen voor de behandeling of de afremming van de reactie ?

Op basis van al wat vooraf gaat, kan worden besloten tot :

- afbreken;
- niets doen;
- instandhoudingswerken uitvoeren.

Tot het afbreken van het hele kunstwerk of van een bouwdeel ervan kan worden besloten indien de alkali-silicareactie de sterkte van het bouwdeel in zo'n mate heeft aangetast dat de stabiliteit van het kunstwerk niet meer kan worden gewaarborgd.

Niets ondernemen kan een oplossing zijn indien proeven hebben aangetoond dat de reactie volledig is uitgewerkt of slechts nog beperk potentieel vertoont. Het is dan wel aangewezen de evolutie van de reactie in de structuur te volgen.

De instandhoudingswerken die tot op heden positieve resultaten hebben gegeven, kunnen erin bestaan de structuur te beschermen tegen het indringen van water, het ondersteunen van aangetaste bouwdelen en het aanbrengen van voorspanning en/of opgelijmde wapeningen:

- De enige parameter die we momenteel in handen hebben en die toelaat ASR te beperken is de relatieve vochtigheid in het beton. Indien we de indringing van water in het beton kunnen tegenhouden zal op termijn de relatieve vochtigheid in het beton dalen en zal de reactie stopgezet of ten minste vertraagd worden. In een proefopstelling is aangetoond dat zwelling te wijten aan de vorming van expansieve gels gedeeltelijk verdwijnt indien de wateraanvoer wordt afgesneden.
- Het ondersteunen van bouwdelen leidt tot een herverdeling van de spanningen waardoor in bepaalde gevallen het mogelijk wordt een belangrijk bouwdeel gedurende een langere termijn te behouden. Meestal wordt in deze gevallen ook de indringing van water verhinderd.
- Proeven hebben aangetoond dat de vorming van een expansief gel wordt verhinderd indien een drukspanning in het beton aanwezig is. De literatuur vernoemt waarden van de spanning gaande van 0,3 N/mm² tot 5 N/mm².

2.2.4 Rapportering

Alle kunstwerken in het Vlaamse Gewest worden ten minste om de drie jaar onderworpen aan een algemene inspectie (A-inspectie) door gespecialiseerde inspectieploegen van de beherende afdeling. Bij die inspecties kunnen sommige schadeverschijnselen specifiek voor ASR (zie hierboven) worden opgemerkt. In zo een geval kan de beherende dienst of het beheercentrum een bijzondere inspectie (B-inspectie) voorstellen waarbij extra hulpmiddelen, gespecialiseerd personeel en aangepaste apparatuur worden ingeschakeld.

De B-inspecties worden uitgevoerd door de afdeling Expertise beton en Staal. De afdeling laat zich wat betreft het onderzoek op betonnen boorkernen bijstaan door gespecialiseerde laboratoria. Op basis van de resultaten van het onderzoek, waarbij al dan niet de aanwezigheid van ASR werd vastgesteld, worden door het beheercentrum voorstellen geformuleerd.

2.3 Inwendige oorzaken / pop-outs

Ongeschikte granulaten of onzuiverheden die gevoelig zijn aan zwelling/krimp kunnen aanleiding geven tot degradatie en/of pop-outs.

- corrosie-expansie ten gevolge van ijzerhoudend granulaat



- ongebluste kalk (CaO) die uitzet tot calciumhydroxide ($\text{Ca}(\text{OH})_2$)



2.4 Uitwendige oorzaken

2.4.1 Schade door mechanische oorzaken

Onder mechanische oorzaken verstaat men de oorzaken die niets te maken hebben met het beton op zich. We onderscheiden hierbij verbrijzeling, verwerking en bepaalde scheuren. Verder kunnen uitvoeringsfouten ook leiden tot bepaalde schadebeelden.

2.4.1.1 Verbrijzeling van beton

Hierbij wordt de betonstructuur zeer lokaal aangetast of vernietigd. Dit is het geval bij aanrijdingen van onderflenzen van liggers (cf. foto's), van pijlers of van landhoofden. Naast de lokale verbrijzeling treedt vaak scheurvorming op in de omgeving, of verplaatsing van betonelementen. Men dient geval per geval te onderzoeken om de ernst van de schade en de wijze van herstelling te bepalen.





Bij verhinderde dilatatie kan ook verbrijzeling optreden. Een (rijweg)voeg die ondergedimensioneerd is of met vuil gevuld is, kan de structuur plaatselijk beschadigen.



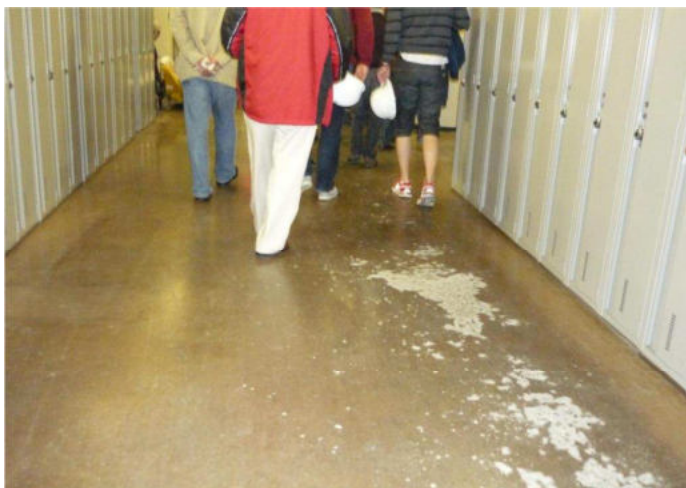
Een beweegbare oplegging die om een of andere reden vastgelopen is, neemt vaak horizontale krachten op waartegen haar bevestiging niet bestand is, met als gevolg weggedrukte hoeken of afgebroken bouten.

Onverwachte dilatatie, vaak voorkomend bij kromme of scheve brugdekken, leidt soms tot contacten in voegen of stootblokken die niet voorzien waren door de ontwerper.

2.4.1.2 Verwerking

Met verwerking bedoelt men o.a. erosie, verkleuringen en afzettingen.

Erosie van betonnen structuren ontstaat in specifieke gevallen waarbij het beton systematisch onderhevig is aan een 'schurende' impact. Bv. de schurende werking van water bij betonnen stuwdammen; betonnen bedrijfsvloeren waar veel passage is.



Verkleuringen en afzettingen komen meestal voor bij betonnen onderdelen die onderhevig zijn aan water in een vochtige omgeving, met mogelijks groenafzetting en/of kalkafzetting.



Verkleuringen kunnen ook voorkomen bij nieuwe constructies door het gebruik van vervuilde bekistingspanelen.

2.4.1.3 Scheuren

Scheuren kunnen ontstaan ten gevolge van:

- rechtstreekse belasting van constructie-elementen.
- vervormingen te wijten aan differentiële zettingen.
- plastische zetting van vers beton.
- verhindering van vervormingen te wijten aan krimpverschijnselen, aan temperatuursveranderingen,...
- expansie door roestvorming van de wapening, expansie te wijten aan expansieve reacties in beton.
- Uitvoeringsfouten.

Bepaalde oorzaken werden reeds besproken in eerdere paragrafen; andere zullen worden besproken in het hoofdstuk 'schade door indirecte aantasting'.

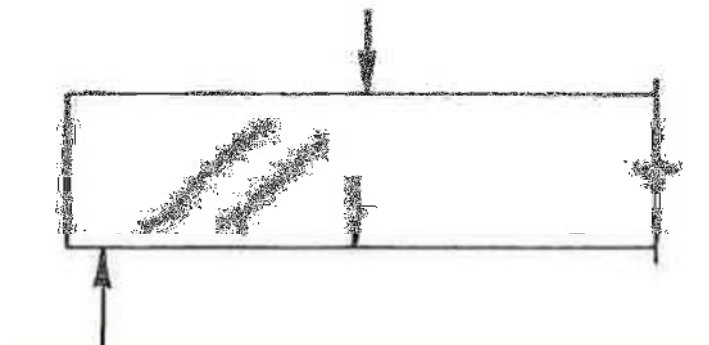
2.4.1.3.A Rechtstreekse belasting van constructie-elementen.

Ten gevolge van buiging, trek, afschuiving, geconcentreerde lasten,... kunnen scheuren ontstaan.

Buiging (buigscheuren):



Afschuiving (dwarskrachtscheuren):

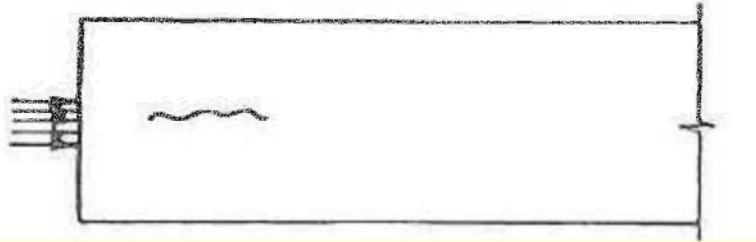


Dwarskrachtscheuren zijn in de praktijk gevaarlijker dan buigscheuren want bij dwarskrachtscheuren is er praktisch geen vervorming merkbaar.

Trek:



Geconcentreerde lasten:



2.4.1.3.B Vervormingen te wijten aan differentiële zettingen.

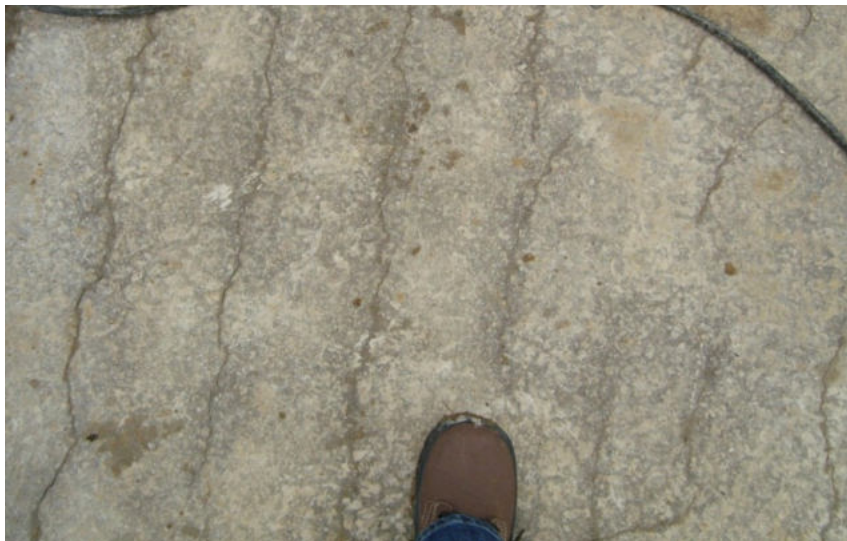
Een voorbeeld hiervan zijn scheuren in een betonnen vloerplaat. De differentiële zetting is ontstaan door het feit dat een deel van de vloerplaat gefundeerd is op volle grond en een deel op een bestaande fundering van een gebouw.



2.4.1.3.C Plastische zetting van vers beton

Plastische zetting van vers beton is in feite het naklinken van het beton onder invloed van de zwaartekracht. De zwaarste delen worden naar beneden getrokken, de lichtere zullen opstijgen. Men

spreekt ook van uitzweten (bleeding). Het is een vorm van segregatie waarbij overtollig water opstijgt en zich aan het bovenvlak van het betonelement verzamelt. Veelal is het zo dat dicht bij het bovenvlak gelegen wapeningsstaven het 'klinken' van het beton niet kunnen volgen, gezien ze deel uitmaken van een wapeningskorf. Dit geeft aanleiding tot oppervlaktescheuren ten gevolge van het 'openbreken' van de betondekking. Het wapeningspatroon tekent zich als het ware af aan het oppervlak.



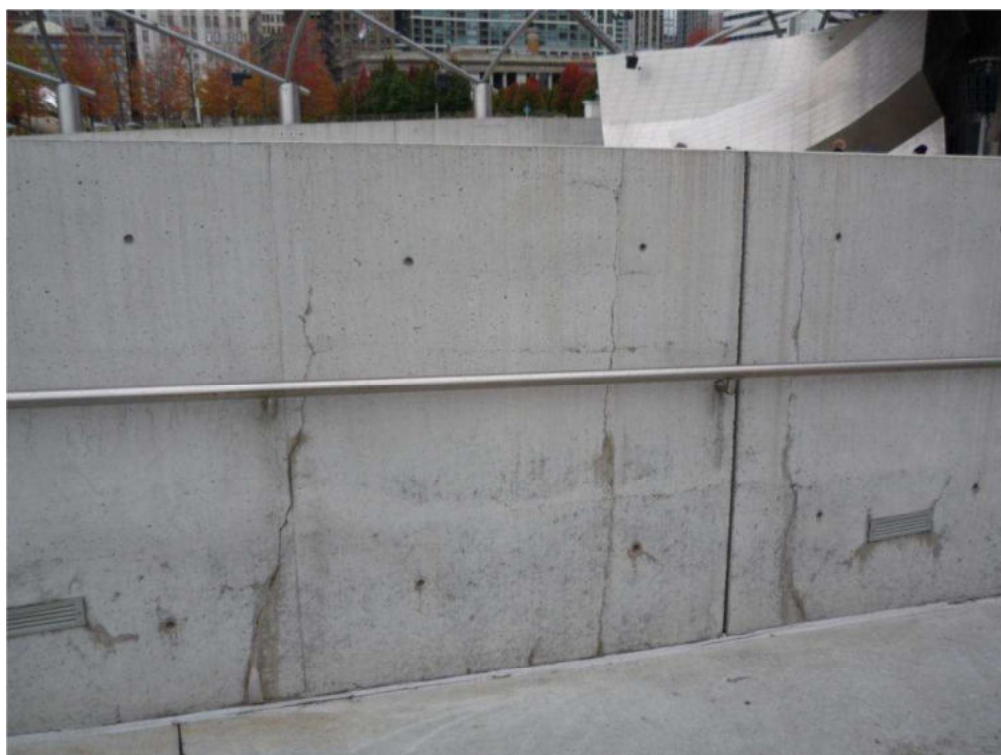
2.4.1.3.D Verhinderen van vervormingen te wijten aan krimpverschijnselen, aan temperatuursveranderingen,...

Beton dat uithardt wil krimpen. Indien dit verhinderd wordt, kunnen scheuren ontstaan (krimpscheuren). Door het oordeelkundig plaatsen van wapening kan men de scheuren meer gecontroleerd laten voorkomen, namelijk meer gespreid en fijner.



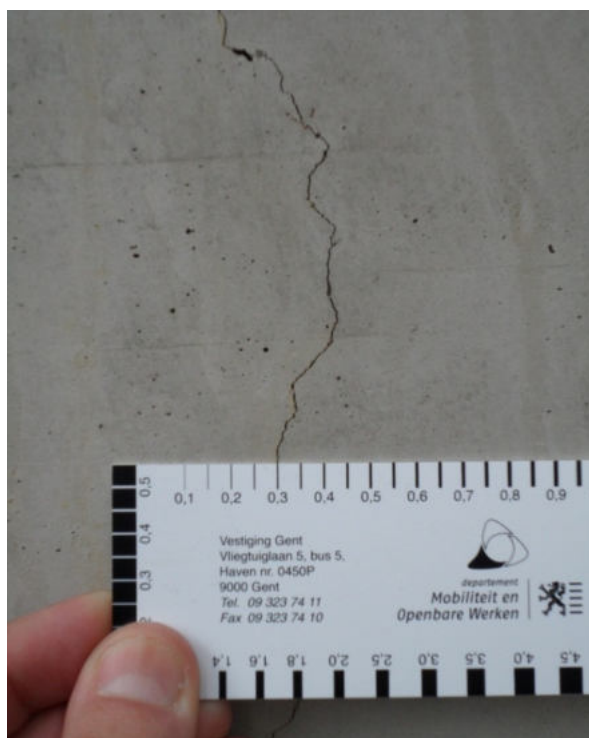


Een veel voorkomend geval zijn krimpscheuren in massieve muren van tunnelconstructies. Deze scheuren lopen door de ganse wand door.



Bij een inspectie is het nodig een vastgestelde scheur zo goed mogelijk te beschrijven. Van belang voor de latere beoordeling zijn de plaats, de richting, de lengte, en de maximum scheurwijdte. De eerste drie gegevens laten toe de soort scheur (buigscheuren, dwarskrachtscheuren,...) te bepalen; het laatste gegeven laat toe de ernst van de scheur te beoordelen in het licht met wat toelaatbaar

geacht wordt in de norm. De scheurwijdte (in mm) kan worden opgemeten met een scheurwijdtekaartje.



De huidige Eurocode (Eurocode 2) laat een scheurwijdte van 0,3 mm toe voor gewapend beton onder de quasi-blijvende belastingscombinatie en laat decompressie toe voor voorgespannen beton onder de frequente belastingscombinatie (omgevingsklassen EE4, ES4).

2.4.1.4 Uitvoeringsfouten

Uitvoeringsfouten zoals onvoldoende trillen, onvoldoende betondekking, lekkende bekisting kunnen aanleiding geven tot luchtinluitsels, scheuren, blootliggende wapeningen, grindnesten,...

Luchtinluitsels ten gevolge van onvoldoende trillen van het beton:



Grindnesten:





Segregatie (ontmenging): cementpasta is te vloeibaar waardoor grove granulaten zakken.





Onvoldoende betondekking:



2.4.2 Vorst-dooi

Water zet bij bevriezen ongeveer 9 % uit. Het bevriezen van het water gebeurt van buiten naar binnen.

In het geval van met water verzadigd beton zal door bevroering van een deel van het water de rest van het nog niet bevroren water onder druk komen te staan. Er ontstaan trekspanningen in het beton die aanleiding geven tot vorstschade. Onder invloed van vorst/dooicycli ontstaat een netwerk van microscheuren in de oppervlaktelaag → afschilferend oppervlak.



De schade hangt af van de volgende factoren :

- van de hoeveelheid ingesloten water: wanneer lege poriën de expansie van het ijs toelaten, zal er weinig schade zijn;
- van de snelheid van de afkoeling: geleidelijke vorst, vaak gepaard met droog weer, laat het beton toe te drogen; snel invallende vorst sluit het buitenoppervlak af en veroorzaakt temperatuur-schokken;
- van de ouderdom van het beton: hoe ouder het beton des te meer inwendige treksterkte het bezit waarmee het de expansieve krachten kan tegengaan.

2.4.3 Vorst-dooi in combinatie met dooizouten

Vorstschade vanwege dooizouten ontstaat wanneer deze in oplossing gaan met het water van verzadigd beton. Aan het betonoppervlak treedt een temperatuurdaling op in de grootte-orde van 15 °C; de betonhuid wil krimpen maar dit wordt verhinderd door de massa zodat afschilferingen optreden. Er is geen 'expansieruimte' voor het opzwellen als het water opnieuw befrist. Alleen beton met een hoge inwendige treksterkte en/of waar een luchtbelvormer aan toegevoegd werd, is hiertegen bestand. Tevens is er door de chloride-indringing gevaar voor chloride-geïnitieerde corrosie.

Schade door bevriezen in combinatie met dooizouten aan het betonoppervlak is meer voorkomend dan schade door bevriezen.



2.4.4 Scheikundige aantasting

Hierbij wordt de cementsteen aangetast door een scheikundige reactie. Volgens de soort reactie onderscheidt men aantasting door uitvreting en aantasting door ontwrichting of swelling.

Uitvretingsschade is zichtbaar en herstelbaar; ontwrichtingsschade is inwendig, in het begin onzichtbaar, en veelal onherstelbaar.

De aantasting kan slechts optreden onder de volgende voorwaarden :

- er is water aanwezig dat dient als transportmiddel voor de scheikundige stof;
- het beton is poreus zodat het water kan binnendringen.

Het is dus vanzelfsprekend dat een goed verzorgd dicht beton beter weerstaat dan een poreus beton.

Wat zijn de meest bekende scheikundige aantastingen ?

- Zuren tasten rechtstreeks de alkalische cementsteen aan. Zuren kunnen afkomstig zijn van de gisting van bepaalde landbouwproducten zoals melk, suikers, ...



*Cuves à vin
Afrique du sud, 2008*



- Sulfaten uit zeewater of bepaalde types grondwater vormen met de hydratatieproducten van het cement een expansief zout, Candlotzout genoemd, dat het beton ontwricht. Het schadebeeld vertoont veel gelijkenis met ASR. Voor werken aan zee zal men dus speciale cementen dienen te gebruiken, zogenaamd C_3A -arme cementen (HSR-cement).



- Koolstofdioxide opgelost in water heeft een zuur karakter en loogt het beton uit. Als gevolg hiervan daalt de zuurtegraad met corrosie van het staal als gevolg. Het proces is analoog aan dat van de carbonatatie.
- Ammonium afkomstig van mest en organische stikstofverbindingen verdrijven de kalk uit de cementsteen met porositeiten als gevolg die daarna de carbonatatie vrij spel geven. Bijkomend kunnen sulfaten gevormd worden.

- Magnesium uit zeewater verdringt de kalk uit de cementsteen met vorming van een wegspoelbaar gel. Dit gel heeft een expansief karakter wanneer het blijft zitten.

3 SCHADE AAN BETON DOOR INDIRECTE AANTASTING

3.1 Algemeen

De indirecte aantasting van gewapend beton houdt in dat het beton niet rechtstreeks wordt beschadigd. Bepaalde stoffen zijn niet agressief voor het beton, maar wel voor de wapening. Zolang die stoffen de wapening niet kunnen bereiken, zal ook het beton geen schade lijden.

Corrosie van betonstaal kan verschillende oorzaken hebben :

- een poreuze betonhuid laat vocht en zuurstof toe tot op de wapening zodat ze zal roesten;
- een te kleine betondekking van het staal;
- een gecarbonateerde betonhuid doet de zuurtegraad dalen zodat corrosie kan starten;
- de aanwezigheid van chloorionen afkomstig van natrium- of calciumchloride.

Roesten van betonstaal moet vermeden worden om twee eenvoudige redenen :

- roest neemt een 6 tot 8 maal groter volume in dan het oorspronkelijke staal zodat de betondekking wordt weggeduwd (er ontstaat scheurvorming die uiteindelijk aanleiding kan geven tot afdrucken van het beton);
- roesten doet de staaldoorsnede verminderen zodat de stabiliteit in het gedrang komt.



3.2 Corrosie

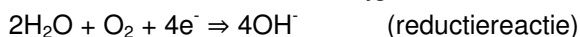
Staal, blootgesteld aan de klimatologische omstandigheden zoals die in België heersen, gaat roesten door reactie van het ijzer (hoofdcomponent van staal) met zuurstof en water. Indien een van beide elementen (water of zuurstof) ontbreekt, zal geen corrosie optreden. De snelheid waarmee het corrosieproces plaats heeft, hangt af van de tijd gedurende welke het staal vochtig is, de temperatuur en de afzetting van beschermende stoffen op het staaloppervlak.

Het roesten van betonstaal is een elektrochemisch proces dat bestaat uit een anodische reactie en een kathodische reactie.

Aan de anode gaat het ijzer in oplossing onder de vorm van positief geladen ijzerionen. De negatief geladen ionen blijven in het staal en verlagen de elektrische potentiaal van de wapening.



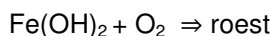
Aan de kathode worden negatief geladen hydroxylionen gevormd uit de reactie van water en zuurstof met de hierboven vermelde vrijgekomen elektronen.



Corrosie ontstaat door de combinatie van de 2 deelsystemen:



De reactieproducten vormen samen het roest, nl. het neerslaand ijzerhydroxide is niet stabiel in aanwezigheid van vocht en zuurstof en oxideert tot ijzeroxide.



De wapening in beton komt normaliter zowel met water als met zuurstof in aanraking. Immers beton is een microporeus en permeabel materiaal.

Zolang de pH (maat voor zuurtegraad) van het water rond de wapening voldoende hoog (lage zuurtegraad) is (pH>8 tot 9), zal er evenwel passivatie optreden (vorming van dichte afdichtende roestlaag die belet dat ijzer verder in oplossing kan gaan) en zal het corrosieproces stoppen.

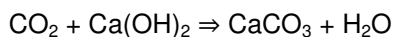


3.2.1 Carbonatatie-geïnitieerde corrosie

Een degelijke oppervlaktelaag (lage W/C-factor, verdichting, nabehandeling) van beton is van groot belang. Bij onvoldoende zorg ontstaat een poreuze betonhuid waarlangs water en gassen toegang krijgen tot de structuur.

Koolzuurgas (koolstofdioxide CO_2) werkt in op de alkalische bestanddelen in beton.

Na het verharden van beton is er nog steeds vrije kalk in aanwezig. Deze vrije kalk gaat reageren met indringend water en vormt calciumhydroxide. Het binnendringend koolstofdioxide (CO_2) reageert met dit calciumhydroxide ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) en vormt calciumcarbonaat (CaCO_3).



Men zegt dat het beton carbonateert. Dit scheikundig proces treedt op vanaf het buitenoppervlak en zijn voortschrijdingssnelheid neemt af in de tijd. Vermits overal in de lucht koolzuurgas en water aanwezig is, zal elk beton carbonateren! Alleen is het zo dat slecht beton snel carbonateert, en goed beton traag.

Op zich is het gevormde calciumcarbonaat goed voor beton want het verhardt en verstevigt de betonhuid. Nochtans gaat hiermee een daling van de zuurtegraad van beton gepaard, die aanleiding zal geven tot corrosie van het betonstaal.

In gezond beton is betonstaal gepassiveerd door de hoge pH (12 tot 13). Carbonatatie doet die dalen tot onder 9 zodat de passivatie wegvalt en het staal zal roesten van zodra er vocht en zuurstof bij kan komen en van zodra het carbonatatiefront de wapening bereikt heeft.

De plaats van dit front kan gemakkelijk vastgesteld worden met behulp van fenolftaleïne: gezond beton wordt paars, gecarbonateerd beton blijft kleurloos.



3.2.2 Chloride-geïnitieerde corrosie

Vooraf deze laatste soort corrosie wordt onvoldoende onderkend. Chloorionen kunnen afkomstig zijn van het betonmengsel waar men in het verleden (jaren 1960/1970) calciumchloride aan toevoegde als bindingsversneller (storten in vorstperiode), van het doordringen van dooizouten tot in het beton, of van onzorgvuldig gewassen zeegranulaten of van blootstelling aan zouten (bv. zeeklimaat).

Zonder de elektro-chemische reactie uit te leggen, moet men weten dat zelfs wanneer het beton een zuurtegraad van 13 vertoont, chloorionen aanleiding kunnen geven tot corrosie. Deze corrosie doet zich voor als putcorrosie, d.w.z. lokale aantasting van het betonstaal in de vorm van putjes. Die putcorrosie is uitermate gevaarlijk omdat zij lokaal optreedt met als effect plaatselijke reductie van de wapeningssectie die snel kan optreden.





Herstellen van dit soort schade is vrij omvangrijk: in principe moet men het met chloorionen vergiftigde beton verwijderen en vervangen. Als de volledige betonmassa 'vergiftigd' is, biedt kathodische bescherming een mogelijke oplossing.

3.2.3 Corrosie door zwerfstromen

Zwerfstromen zijn elektrische stromen die een andere weg nemen dan de gewenste stroomkring. Deze zijn afkomstig van bv. spoor- en tramlijnen. Gelijkstromen zijn gevaarlijker dan wisselstromen. Zwerfstromen in wapening doen anode- en kathodeplaatsen ontstaan met versnelde corrosie aan de anode.

1A zwerfstroom per jaar → verlies van 9 kg staal !