
Schade of fout ontdekt, en dan?

Forensic Structural Engineering is in, zo blijkt ook uit de colleges onder deze titel die door de auteurs aan de TU Delft zijn verzorgd. Speuren naar de oorzaak van een instorting is interessant, maar veelal is dat nog niet eens zo heel moeilijk. De vraag wat te doen met de informatie die uit de instorting of een ontdekte fout volgt, is soms een veel grotere uitdaging. In veel gevallen doet zich namelijk een vergelijkbare situatie voor bij meer constructies.

Actuele en bekende voorbeelden

Dat een door een schade, instorting of anderszins ontdekte fout grote gevolgen kan hebben, is bekend. Bekende voorbeelden zijn terugroepacties bij auto's en andere producten. Ten tijde van het schrijven van dit artikel (januari 2024) doen zich twee van dergelijke situaties voor. Zo staan er in Amerika vele vliegtuigen van het type Boeing 737 Max 9 aan de grond, nadat op 6 januari een toestel van dit type een deel van de wand verloor. En ProRail besloot om de maximum snelheid van HSL-treinen tussen Rotterdam en Amsterdam tot 120 km/u te verlagen, nadat eerder bij het viaduct Zuidweg (Rijpwetering) ontdekt probleem (o.a. scheuren in lussen volgens berichten in het nieuws) bij nog negen viaducten blijkt voor te komen.

Vaak is een meerdere keren voorkomende fout, ook wel systeemfout genoemd, aan het licht gekomen bij een schadeonderzoek naar aanleiding van een incident. Zo bracht een brand in de Lloydstraat in Rotterdam in 2007 de focus op de brandwerendheid van kanaalplaatvloeren met druklaag [1]. Een onderzoek naar aanleiding van een

auteurs



**DR. IR. DICK
HORDIJK**

Adviesbureau Hageman



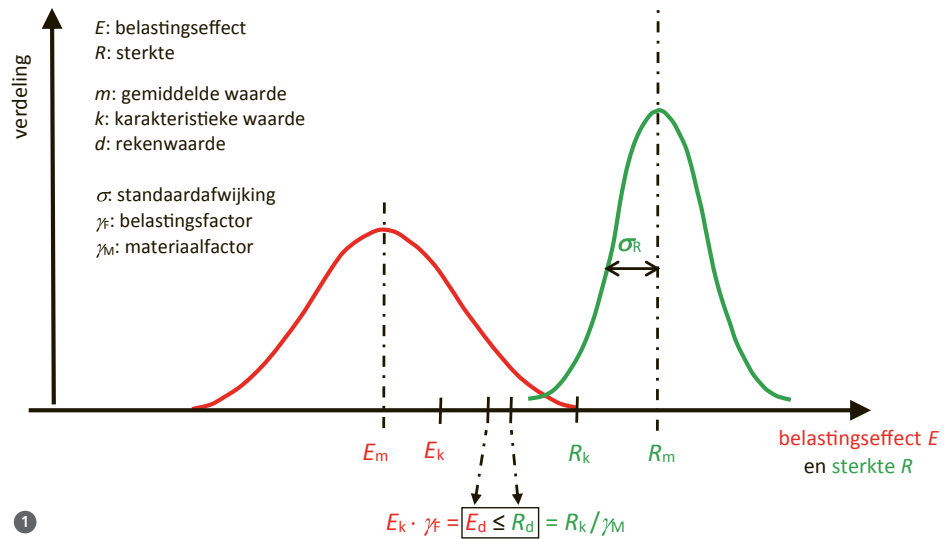
IR. JAN MEESTER

Adviesbureau Hageman

brand in een woning in Heerhugowaard in datzelfde jaar vestigde de aandacht op corrosieschade bij VZA-vloeren (voorspanning zonder aanhechting) [2,3]. En na de gedeeltelijke instorting van een parkeergarage in Eindhoven in 2017 zijn onderzoeken uitgevoerd naar, en maatregelen genomen bij, de detaillering van breedplaatvloeren (hierover is diverse malen gerapporteerd in *Cement* (o.a. [4])). Ook door bijvoorbeeld een oplettende constructeur/hoogleraar en experimenteel onderzoek kan een fout aan het licht komen, zo blijkt. Prof. Kleinman bracht in 2006 de tandenproblematiek [5] in beeld en naar aanleiding van brandproeven in 2015 [6] speelt nu de vraag wat te doen met een aantal landtunnels waarin beton is toegepast dat, anders dan eerst gedacht, spatgevoelig is [7]. Ook bij ontdekte, minder ingrijpende fouten speelt vaak de vraag wat met de eruit voortkomende informatie moet worden gedaan.

Constructieve veiligheid

Voordat wordt ingegaan op enkele situaties waarbij de vraag speelde wat te doen met



1

een aan het licht gekomen constructief gebrek, eerst aandacht voor constructieve veiligheid bij het ontwerp (zie ook [4]).

Voor een constructie is de maximale belasting tijdens de ontwerplevensduur niet exact bekend en dat geldt ook voor de sterkte. Voor beide, belastingeffect en sterkte, geldt een kansverdeling met een gemiddelde waarde en een standaardafwijking. Een constructie of onderdeel ervan bezwijkt als het belastingeffect gelijk is aan de sterkte en bij een goed ontwerp is de kans dat dit optreedt extreem klein. Dat wordt, eenvoudig gezegd, bereikt door te rekenen met een hoge rekenwaarde voor de belasting en een lage rekenwaarde voor de sterkte. Meer wetenschappelijk gezegd construeren we zo dat de rekenwaarde voor de sterkte, R_d , minimaal gelijk is aan de rekenwaarde van het belastingeffect, E_d (fig. 1).

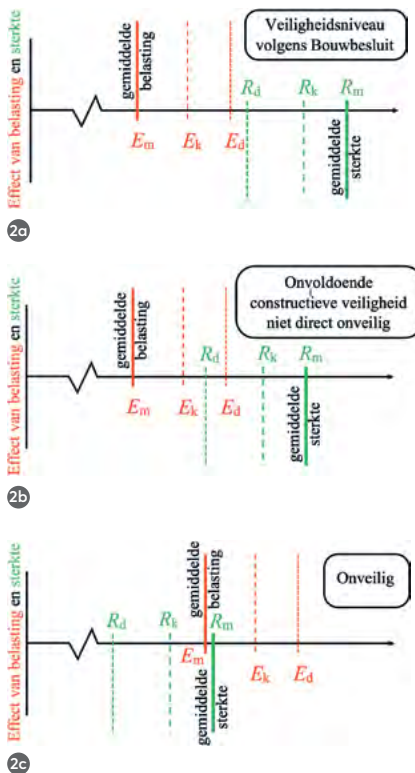
De rekenwaarde van het belastingeffect wordt bepaald op basis van de karakteristieke bovengrens van de belasting (de belasting met een kleine kans dat die wordt overschreden), die is verhoogd door deze te vermenigvuldigen met een belastingfactor. Voor de rekenwaarde van de sterkte wordt uitgegaan van de karakteristieke sterkte (de sterkte met een kleine kans dat die wordt onderschreden), die wordt verlaagd door deze te delen door een materiaalfactor. De partiële factoren, zoals de belasting- en materiaalfactor worden genoemd, zijn zodanig gekalibreerd, dat rekenkundig in grote lijnen

aan het gewenste betrouwbaarheidsniveau (zie NEN-EN-1990 [8]) wordt voldaan. In het algemeen is voor een ontwerplevensduur van 50 jaar de kans op bezwijken van een constructie kleiner dan 1 op de 10.000.

Marge

Gegeven de aanpak van constructieve veiligheid bij het ontwerp, zal duidelijk zijn dat er geen scherpe overgang is tussen een veilige en onveilige constructie. Om toch een indicatie te geven voor het verschil tussen veilig en onveilig, zijn in figuur 2 drie verschillende situaties geschetst. Als de constructie aan de bouwvoorschriften voldoet (fig. 2a), is sprake van een voldoende veilige situatie. In de situatie zoals geschetst in figuur 2c is er duidelijk sprake van een onveilige situatie. In de situatie van figuur 2b is er weliswaar onvoldoende constructieve veiligheid, waardoor er wel iets moet gebeuren, maar de kans op bezwijken is nog steeds erg klein. Er is in dat geval niet direct sprake van een onveilige situatie.

De marge tussen de belasting die een constructie moet kunnen weerstaan bij een goed ontwerp en de belasting waarbij bezwijken kan optreden, is erg groot. Voor een aantal door Adviesbureau Hageman geanalyseerde instortingen is gevonden dat de constructie een sterkte had van ongeveer een derde van de sterkte die het volgens het ontwerp had moeten hebben. Oftewel, als →



1 Kansverdeling van belastingeffect en sterkte, en eis m.b.t. constructieve veiligheid, $E_d < R_d$ [4]

2 Voorbeelden van de verdeling van sterkte R ten opzichte van het belastingeffect E getoond met de gemiddelde, karakteristieke en ontwerpwaarden

Vanwege de aanpak van constructieve veiligheid, is er geen scherpe overgang tussen een veilige en onveilige constructie

een constructie slechts de helft van de volgens het ontwerp benodigde sterkte heeft, zal die mogelijk nog steeds, en wellicht ook nog zonder schade, kunnen functioneren. Dat is overigens geen wenselijke situatie.

Onvoldoende constructieve veiligheid

De voorgaande informatie over constructieve veiligheid is belangrijk bij het beoordelen van een constructief gebrek als gevolg van een fout. Met 'gebrek' wordt hierbij bedoeld dat volgens de gangbare berekeningswijze voor de constructie een rekenwaarde voor de sterkte R_d geldt, die lager is dan de rekenwaarde voor het belastingeffect E_d . In dat geval geldt voor de constructie dat er sprake is van een niet aangetoonde gewenste constructieve veiligheid. Dat is wat in dit artikel wordt bedoeld met *'onvoldoende constructieve veiligheid'*. Daarbij kan worden opgemerkt dat het gewenste niveau van de constructieve veiligheid bij nieuwbouw (ontwerp) anders is dan bij een bestaand bouwwerk [9]. En verder geldt dat als de gewenste constructieve veiligheid niet kan worden aangetoond met de gangbare rekenregels, dat niet altijd hoeft te betekenen dat de werkelijk aanwezige constructieve veiligheid onvoldoende is. Het kan eventueel nog zo zijn dat op een andere wijze kan worden aangetoond dat toch sprake is van voldoende constructieve veiligheid.

De oorzaak van een gebrek kan liggen bij een of meerdere fouten in het ontwerp (aan de sterktekant en/of de belastingkant) en in de uitvoering, maar ook bij een ongeoorloofde aanpassing in de constructie. En hoewel er dan niet noodzakelijkerwijs sprake is van een fout, kan er ook sprake zijn van onvoldoende constructieve veiligheid door degradatie van de constructie en/of constructieve materialen.

Fout bekend, dan moet er iets

Dit artikel gaat vooral over wat een ontdekking van een gebrek bij één constructie kan betekenen voor andere constructies. Maar ook de vraag wat te doen na ontdekking van de fout bij die ene constructie is interessant. Anders dan bij een instorting speelt bij een ontdekte fout allereerst de vraag hoe ernstig de fout is. Is het nodig om direct maatregelen

te treffen in de vorm van bijvoorbeeld het afzetten van een bepaald gebied of het ontruimen van een gebouw? Of is er tijd om eerst de consequenties van de ontdekte fout nader te onderzoeken? Bij de beantwoording van deze vraag kunnen diverse overwegingen een rol spelen. Dat geldt bijvoorbeeld voor de impact van de maatregel. Het stempelen van balkons in de tuinen van een rij woningen heeft vanzelfsprekend een andere impact dan het ontruimen van een gebouw of afsluiten van een drukke snelweg. Waarbij het overigens niet is te zeggen of de grotere impact moet betekenen dat eerder moet worden overgegaan tot maatregelen, of juist niet.

Als er geen tekenen van schade of bezwijken zijn en de situatie is al vele jaren hetzelfde, terwijl er (eventueel door tijdelijke lastbeperking) geen hogere belasting zal optreden dan in het verleden, dan kan wellicht de conclusie worden getrokken dat de kans op het bezwijken van de constructie binnen een korte (afzienbare) termijn voldoende klein is. Omgekeerd kan er ook sprake zijn van onzekerheden, waardoor direct maatregelen moeten worden getroffen (*'better safe than sorry'*).

Het beoordelen van de acute veiligheid is geen exacte wetenschap. Veelal moet met beperkte informatie een belangrijke beslissing worden genomen. Het is belangrijk om daarbij een deskundige, ervaren adviseur in te schakelen. Onterecht een onveilige situatie handhaven is onverantwoord, maar direct onnodig zware maatregelen treffen is ook onwenselijk en vanuit een economisch perspectief ook onverantwoord. Los van het kostenaspect bij onnodige maatregelen, speelt soms ook een psychologisch effect een rol. Bij de inzet van onnodige directe zware maatregelen zullen betrokkenen zich mogelijk minder veilig voelen als die zonder verdere acties later weer worden weggenomen.

Als eenmaal bekend is dat bij een constructieonderdeel (mogelijk) sprake is van onvoldoende constructieve veiligheid, dan moet daar iets mee worden gedaan. Dat kan zijn dat alsnog, wellicht via het gelijkwaardigheidsprincipe, wordt aangetoond dat er, hoewel er wellicht niet geheel wordt voldaan

aan de gangbare rekenregels, nog steeds sprake is van voldoende constructieve veiligheid. Maar het kan ook zijn dat versterkingsmaatregelen moeten worden uitgevoerd. Als blijkt dat dezelfde situatie van onvoldoende constructieve veiligheid een systeemfout is en bij veel meer constructies voorkomt, kan het zijn dat het Ministerie van Binnenlandse Zaken en Koninkrijksrelaties (BZK) een onderzoeksplicht oplegt aan bouwgeïngenaren. Dit was bijvoorbeeld aan de orde bij galerijen, rvs in zwembaden en breedplaatvloeren.

Samenvattend kunnen bij een, voor een bepaald onderdeel van de constructie ontdekte fout, de volgende stappen in chronologische volgorde aan de orde zijn:

- 1 De situatie van het betreffende constructie-onderdeel beoordelen en beslissen of direct maatregelen moeten worden getroffen in verband met de veiligheid of niet.
- 2 Nagaan of vergelijkbare situaties zich voordoen bij andere onderdelen van dezelfde constructie of hetzelfde gebouw en ook daarvoor de acute veiligheid beoordelen.
- 3 Beoordelen of er sprake is van een mogelijke systeemfout, waarbij vergelijkbare situaties zich voordoen bij andere constructies van ook andere eigenaren.
- 4 Nationale actie in de vorm van een onderzoeksplicht, opgelegd door BZK.

De derde stap nodigt uit om overleg over het gebrek te voeren met andere deskundigen. Bijvoorbeeld in een relevante normcommissie. Gebreken die zo worden besproken, kunnen ook worden toegevoegd aan de lijst met gebreken die beschreven zijn in bijlage A van NTA 8790 [10]. Het is evident dat de vierde stap niet tot de taak van een afzonderlijk adviesbureau behoort.

Wie beslist?

Als bekend is dat de constructieve veiligheid van een constructie onvoldoende is, of zelfs alleen nog maar dat die *mogelijk* onvoldoende is, zullen verantwoordelijke partijen, zoals bouwgeïngenaren en bevoegd gezag, willen weten wat dit betekent. De primaire vraag is dan “*Is de constructie veilig?*”. Met een uitspraak “*Dat is onbekend*” of “*De constructieve veiligheid is onvoldoende*”, kan

men dan niet zoveel. Het komt er feitelijk op neer dat de constructief adviseur voor zichzelf moet beslissen of de situatie veilig is en/of maatregelen nodig zijn. Het advies is om dan alle op dat moment beschikbare informatie te wegen en duidelijk te beargumenteren waarom (in ieder geval voor de korte termijn) de constructie veilig wordt geacht, dan wel dat (direct) maatregelen moeten worden getroffen.

Het kan natuurlijk altijd zo zijn dat later aanvullende informatie naar boven komt die maakt dat wellicht een andere beslissing toch beter was geweest. Dat maakt niet dat de op dat moment, met de wel beschikbare informatie genomen beslissing, verkeerd was.

Onbekend

Omdat een fout zich pas manifesteert door schade, of een instorting als het echt goed mis is, kunnen er mogelijk veel constructies met onvoldoende constructieve veiligheid zijn zonder dat dit bekend is. Zo kunnen fouten pas aan het licht komen als de belasting een keer significant meer is dan ooit tevoren. Een voorbeeld daarvan is de zware sneeuwval in onder andere de omgeving van Enschede in november 2005. Hoewel die belasting nog aanzienlijk geringer was dan waar bij het ontwerp op moest worden gerekend, bleek bij ruim 100 gebouwen sprake van grote bouwkundige schade. Van de 22 gebouwen die vervolgens nader waren onderzocht, was bij 21 de instorting veroorzaakt door fouten in ontwerp en/of uitvoering [11]. Verder komt het ook regelmatig voor dat vanwege één probleem bij een constructie er ‘met een vergrootglas’ nog eens naar de gehele constructie wordt gekeken, waarbij ook nog andere plaatsen met onvoldoende constructieve veiligheid worden ontdekt. Navolgend is daarvan een voorbeeld getoond.

Vorstschade legt onjuiste detaillering bloot

Bij een schoolgebouw waren tijdens de bouw stalen hoedliggers gevolgen met water. Door bevriezing van het water tijdens een vorstperiode werden bovenflenzen eraf gedrukt en werden de lijven naar buiten gedrukt. Hoewel de opgelegde verplaatsing, die werd veroorzaakt door de bolvorm van →

Het beoordelen van de acute veiligheid is geen exacte wetenschap. Veelal moet met beperkte informatie een belangrijke beslissing worden genomen

De constructief adviseur moet voor zichzelf beslissen of de situatie veilig is en/of maatregelen nodig zijn

de flens beperkt was, werd een grote drukkracht op de kanaalplaatvloer uitgeoefend. Dat resulteerde op één plaats in een trekkracht in een randbalk en scheurvorming bij een oplegging op een kolom onder die randbalk (foto 3a). Nadat de balken waren onderstempeld en de losgescheurde delen beton waren verwijderd, werd de situatie aangetroffen zoals getoond in foto 3b.

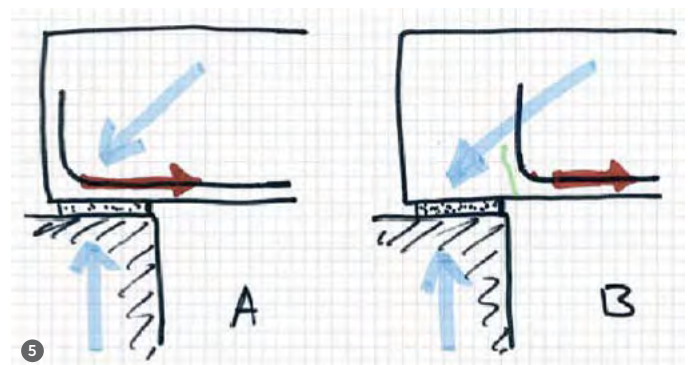
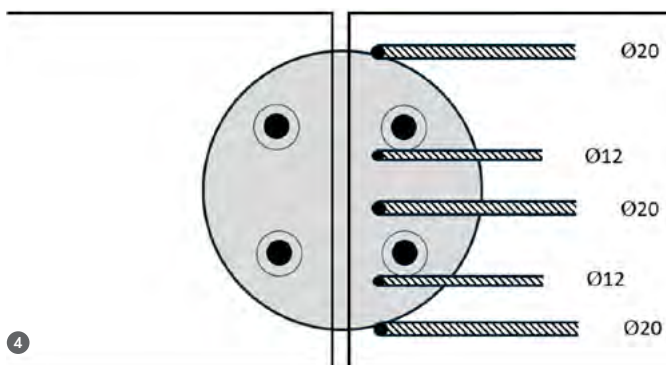
In figuur 4 is het wapeningsdetail volgens het ontwerp weergegeven, waarbij is te zien dat twee staven $\text{Ø}20$ in de balk buiten het oplegvlak van de balk op de kolom zijn gepositioneerd. Bij een staafwerkbenadering voor de krachtswerking in de balk zou bij een 'gezonde knoop' sprake zijn van een situatie zoals geschetst met A in figuur 5. Bij de situatie zoals waargenomen (foto 3b), is moeilijk te onderbouwen dat de trekband voldoende is verankerd in de knoop en kan potentieel een scheur optreden, zoals getekend voor situatie B in figuur 5.

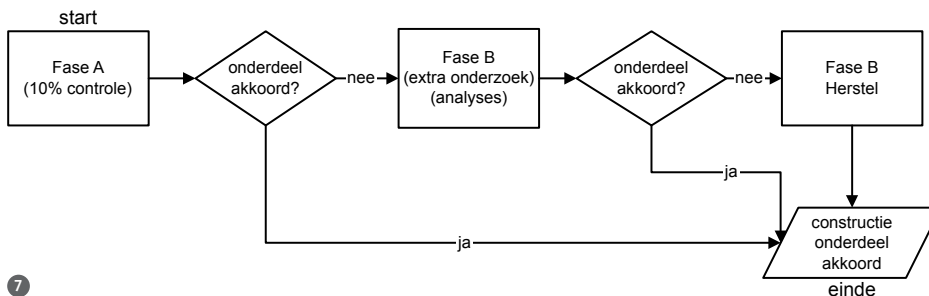
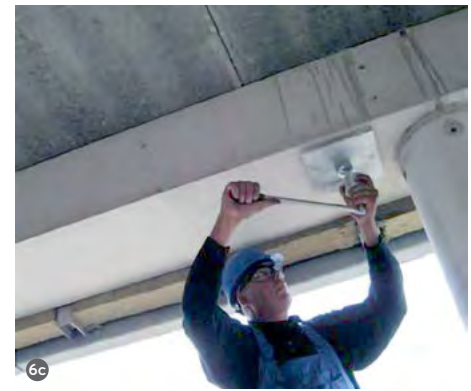
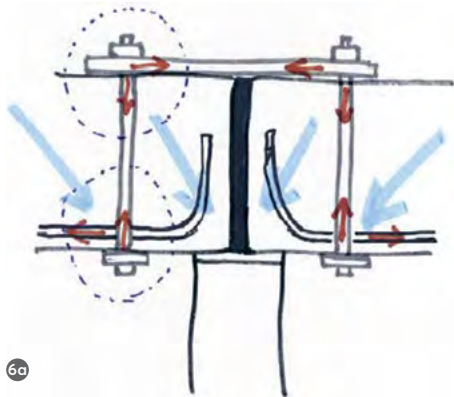
Op basis van de bevindingen is besloten om bij alle vergelijkbare opleggingen een ver-

sterking aan te brengen. Dat bleek relatief eenvoudig mogelijk met ankers en een stalen strip (fig. 6). Naar verwachting zou de toegepaste uitvoeringswijze nooit tot schade of erger hebben geleid en was het zonder de vorstschade niet aan het licht gekomen. Nu het echter bekend was, moest er iets aan worden gedaan.

Potentieel onveilige situaties opzoeken of niet?

Het is niet altijd mogelijk en ook niet altijd nodig om naar aanleiding van een ontdekking van een fout of verminderde capaciteit door degradatie, potentieel onveilige situaties op te sporen. Als blijkt dat in een deel van een groot complex de aannemer, om wat voor reden dan ook, wapening anders heeft aangebracht dan volgens het ontwerp, moet dan het gehele complex worden gecontroleerd? En zo ja, hoe doe je dat? Dit speelde bij het Bos en Lommerplein in 2006. Daar was besloten om het gehele complex te controleren. Adviesbureau Hageman was niet betrokken bij die beslissing, maar wel bij het vervolgens uitgevoerde onderzoek.





Nadat op 1 februari 2006 het parkeerdek was verzakt door een afgebroken oplegtand, en op 1 juli 2006 het hele complex per direct was ontruimd vanwege waargenomen afwijkingen van een aantal aangetroffen wapeningsconfiguraties, is vervolgonderzoek uitgevoerd. Daarbij zijn uitgebreide studies verricht en ook vele constructieonderdelen destructief (weghakken en/of wegsprengen van het beton) gecontroleerd op de toegepaste wapening. De aanpak daarbij was dat voor ieder type constructieonderdeel 10% is gecontroleerd en als daarbij afwijkingen werden gevonden, werd aanvullend onderzoek uitgevoerd (fig. 7).

Na een brand in een woning uit de zeventiger jaren in Heerhugowaard, werd ontdekt dat door corrosie veel van de toegepaste VZA-kabels waren gebroken. Hierover is eerder in *Cement* gerapporteerd [2, 3]. Naar aanleiding hiervan zijn alle circa 200 woningen in de betreffende wijk beoordeeld en waar nodig maatregelen getroffen. Gegeven de vele woningen in Nederland met eenzelfde bouwmethode uit dezelfde periode en het

feit dat de corrosie het gevolg was van hoe de VZA-kabels bij de bouw waren aangebracht, zullen er ongetwijfeld meerdere vloeren zijn met gebroken VZA-kabels. Het is echter niet mogelijk om daar actief naar te gaan zoeken. En Adviesbureau Hageman heeft de toenmalige VROM-inspectie geadviseerd [12] dat het ook niet nodig is. Dit laat onverlet dat het goed is om bij verbouwingen of veranderd gebruik met dit gegeven rekening te houden.

Tot besluit

Doordat bij het construeren wordt gewerkt met grote veiligheidsmarges, zullen veel fouten of gebreken (situaties met onvoldoende constructieve veiligheid) niet aan het licht komen. De moraal van het verhaal is dat als, op welke wijze dan ook, voor een bepaald type constructie of constructieonderdeel wel bekend is dat er sprake is van onvoldoende constructieve veiligheid, er iets moet worden gedaan. En dat geldt dan niet alleen voor die ene constructie waar dat is ontdekt, maar ook voor alle andere constructies waar zich eenzelfde situatie voordoet. ●

LITERATUUR

- 1 Hordijk, D.A., e.a., Nieuwe maatregelen kanaalplaatvloeren (1). *Cement* 2011/5, p. 20-31.
- 2 Hordijk, D.A., Meester, J., Koenis, N. en Commandeur, L., VZA-vloeren met corrosieschade. *Cement* 2011/8, p. 40-46.
- 3 Hordijk, D.A. en Meester, J., Handreiking voor VZA. *Cement* 2011/8, p. 47-51.
- 4 Vambersky, J., e.a., De breedplaatvloerenproblematiek uitgelicht. *Cement* 2020/4, p. 42-51.
- 5 Kleinman, C.S., Nokken met die tanden! *Cement* 2006/7, p. 56-59.
- 6 Van der Waart, T.G., e.a., Spalling behaviour of a non-spalling qualified concrete, 4th International Workshop on Concrete Spalling due to Fire Exposure. Leipzig, 2015.
- 7 Hageman Rapport 10503-1-4 / Ugent rapport p20-110- RVC-05 – Brandwerendheid Tunnels – Verkenning van mogelijke alternatieven voor het aanbrengen van hittewerende bekleding in drie landtunnels. 30 november 2020.
- 8 NEN-EN 1990+A1+A1/C2, incl. NB, (Eurocode 0) Eurocode: Grondslagen voor het constructief ontwerp, NEN, november 2019.
- 9 NEN 8702, Beoordeling van de constructieve veiligheid van een bestaand bouwwerk bij verbouw en afkeur – Betonconstructies. NEN, december 2022.
- 10 NTA 8790, Periodieke beoordeling betrouwbaarheid van constructieve veiligheid van bestaande bouwwerken. NEN, oktober 2023.
- 11 VROM-Inspectie, Bouwkundige schades t.g.v. sneeuwval; Onderzoek naar de gebeurtenissen in het weekend van 26/27 november 2005. Mei 2006.
- 12 Hordijk, D.A., Corrosieproblematiek bij VZA-kabels; Advies aan VROM ten aanzien van landelijke problematiek. Hageman Notitie 4-11-2008.