

# Constructieve samenhang in (hoge) gebouwen

*Het onderwerp voortschrijdende instorting heeft na de aanslagen van 11 september 2001 op de WTC torens in New York en de diverse ongelukken in de bouw opnieuw een verhoogde aandacht gekregen. Deze aandacht, die zowel nationaal als internationaal te merken is, is zonder meer terecht.*

*In de Nederlandse praktijk blijkt dit onderwerp echter door verschillende controlerende instanties zeer uiteenlopend te worden benaderd. Ontwerpende partijen kunnen daardoor slecht anticiperen op eisen die worden gesteld. Om de eisen aan de constructieve samenhang van bouwconstructies te concretiseren en zodoende de kans op het optreden van voortschrijdende instortingen verder te beperken, is door de studievereniging Stufib een studiecél ingesteld. De leden van deze studiecél hebben een diverse achtergrond, van de prefab betonindustrie en ingenieursbureaus tot controlerende instanties en onderzoeksinstituten. Deze samenstelling moet garanderen dat een gevonden oplossing breed wordt gedragen. De studiecél heeft inmiddels haar werk afgerond en het rapport is door Stufib uitgegeven. In dit artikel wordt op de bevindingen en conclusies van de studiecél nader ingegaan en worden aspecten van hoogbouw toegelicht.*

**- door prof. dipl.-ing. J.N.J.A. Vambersky\***

**E**en voortschrijdende instorting is een zeer ingrijpende gebeurtenis, met een grote kans op slachtoffers.

Ontwerpers van constructies kennen de meeste voorbeelden van een voortschrijdende instorting tot in detail. Foto 1 toont een appartementengebouw in Ronan Point, Londen (1968) waarvan een deel is bezweken. De oorzaak van deze voortschrijdende instorting was het optreden van een gasexplosie in één van de appartementen. De beelden van de resten van vijf bal-

kons in het project Patio Sevilla te Maastricht (2003) zijn nog op ieders netvlies te vinden. Hier lag de oorzaak bij het bezwijken van een enkel constructieonderdeel op een lager gelegen bouwlaag. Bij de WTC-torens in New York heeft het bezwijken van vloeren ter hoogte van de inslag van de vliegtuigen de voortschrijdende instorting van deze superhoogbouw ingeleid. Door het bezwijken van deze vloeren en het wegvallen van hun functie als vloerschijf, is ook de horizontale steun van deze vloeren aan de verticale ele-



prof. dipl.-ing. J.N.J.A. Vambersky

menten (kolommen) weggevallen. Zonder deze steun verloren deze elementen hun stabiliteit, knikten uit, viel de bovenliggende constructie op de onderliggende constructie, die op haar beurt de impact niet kon dragen en is in een kettingreactie het gehele gebouw ingestort. Kort na het eerste gebouw is met hetzelfde mechanisme ook de tweede WTC-toren ingestort.

Het instorten van de WTC-torens heeft in de hele wereld veel hernieuwde aandacht voor de constructieve samenhang van gebouwconstructies teweeggebracht. Ook in Nederland is dit het geval. In Nederland zijn daarbij nog diverse instortingen en bouwschadegevallen bijgekomen, die de aandacht hiervoor alleen nog deden versterken. Op zich is dit een goede ontwikkeling. Het belangrijke vakgebied van constructies van gebouwen was immers al decennia lang sterk verwaarloosd en ondergewaardeerd, dus wat meer aandacht op dit gebied was en is alleen van harte welkom. In de praktijk bleek het ontwerpen van het voor-

\* TU Delft, faculteit CiTG / Corsmit Raadgevend Ingenieursbureau BV

komen van voortschrijdende instorting echter te stuiten op de nodige problemen. Er bleek geen eenduidige regelgeving in de normen te zijn, met als consequentie hinderlijke ruimte voor interpretatieverschillen tussen de verschillende partijen van normteksten en de daarin gehanteerde definities. Ook bleken er geen algemeen aanvaarde rekenregels te zijn om aan te tonen dat een gebouw voldoende incasseringsvermogen heeft.

## DE VIGERENDE NORMEN

De kans op het optreden van voortschrijdende instorting kan worden beperkt door het aanbrengen van voldoende constructieve samenhang in een bouwconstructie. Door deze samenhang kan, bij het bezwijken van een essentieel onderdeel van de constructie, een tweede draagweg worden gevonden. Dit aspect wordt ook wel aangeduid met het begrip 'het incasseringsvermogen van bouwconstructies'. In verschillende Nederlandse normen zijn passages opgenomen die tot doel hebben om het incasseringsvermogen van een bouwconstructie te verbeteren dan wel het optreden van een voortschrijdende instorting te voorkomen. Hieronder wordt een korte samenvatting gegeven.

### NEN 6700

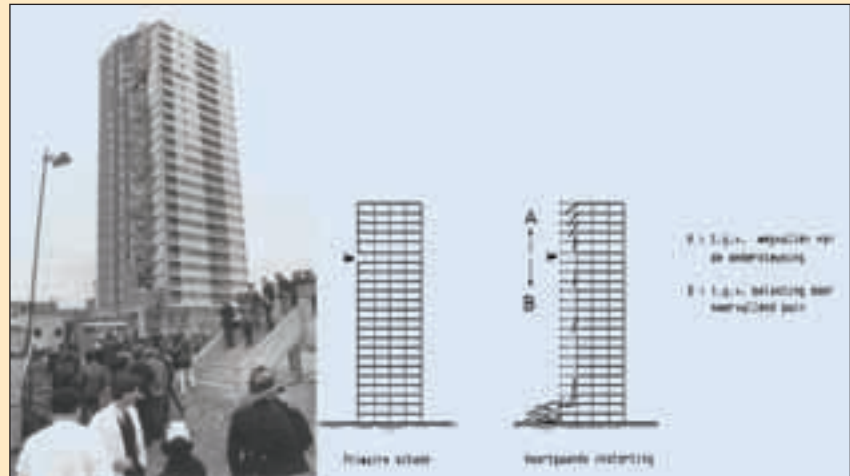
NEN 6700 - een norm die op dit moment direct door het Bouwbesluit is aangewezen - gaat in artikel 5.3.3 in op het incasseringsvermogen van een bouwconstructie. De normtekst van dit artikel luidt:

*"Bouwconstructies moeten zo zijn ontworpen dat het bezwijken van een onderdeel niet tot onevenredig grote schade leidt".*

De toelichtende tekst op het artikel luidt als volgt:

"Dit houdt in dat de bouwconstructie een zeker incasseringsvermogen moet hebben. In dit verband is het noodzakelijk het constructieve systeem te beschouwen, evenals de mate van statische onbepaaldheid en de daarmee samenhangende mogelijke herverdeling van krachten. Voor vele bouwconstructies kan dit worden bereikt door:

- a) de bouwconstructie zo te ontwerpen dat zij niet geheel of voor een belangrijk gedeelte zal bezwijken als gevolg van het verlies van het draag-



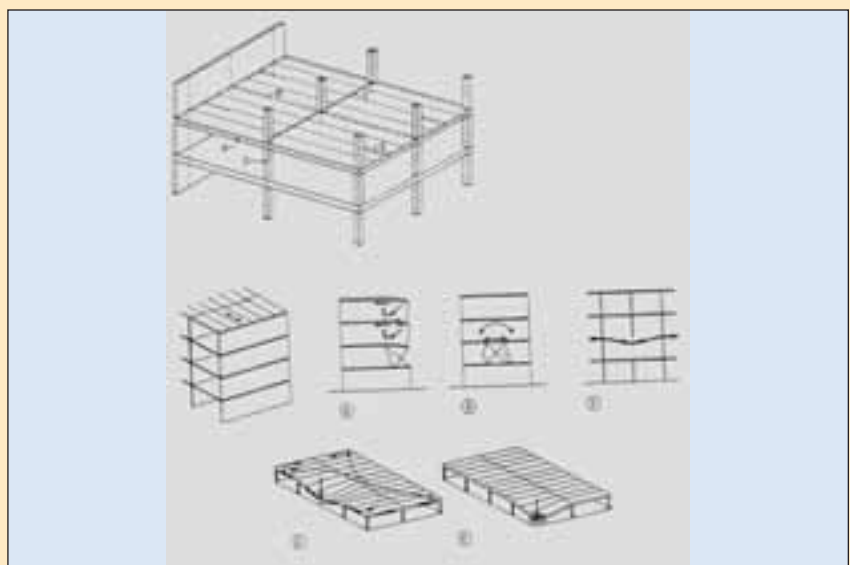
**Ronan Point, Londen 1968.** Door gasexplosie op de 17<sup>de</sup> verdieping is een dragende prefab betonpaneel naar buiten gedrukt en verloren de bovenliggende vloeren hun oplegging. Onder de impact van de instortende bovenliggende constructie bezweek ook het onderliggende deel van het gebouw.

- Foto 1 -



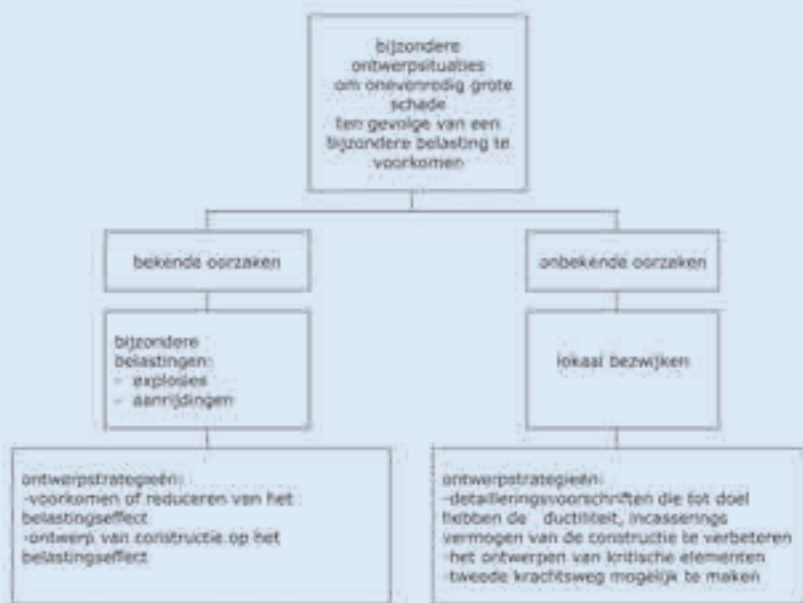
**Instorting WTC torens te New York op 11 september 2001.** Op de rechter foto is duidelijk te zien, dat de instorting in kettingreactie van boven naar beneden voortschrijdt.

- Foto 2 -



**Voorbeelden van maatregelen ter bevordering van constructieve samenhang en de mogelijke werking ervan bij het bezwijken van een constructie onderdeel.** Links is een voorbeeld van de aanbevolen plaatsen voor trekbanden in een prefab beton skeletconstructie van een gebouw. Rechts zijn voorbeelden te zien van mogelijke alternatieve draagwegen die zich bij een calamiteit dankzij dergelijke trekbanden kunnen vormen. Het is duidelijk, dat bij het bezwijken van een hoekkolom het vormen van een tweede draagweg niet eenvoudig is.

- FIGUUR 3 -



**Schema voor te volgen aanpak.**

DIAGRAM 1-

vermogen van een enkel constructieonderdeel; of  
b) waar nodig, ervoor te zorgen (in het ontwerp of door preventieve maatregelen) dat essentiële onderdelen van de draagconstructie niet als gevolg van een ongeval kunnen worden uitgeschakeld”.

Werkwijze a) vraagt om een constructie waarin te allen tijde een tweede draagweg mogelijk is. Bij werkwijze b) wordt gekeken naar de oorzaak van het bezwijken en wordt vervolgens de kans dat het beschouwde constructieonderdeel ten gevolge van deze oorzaak kan bezwijken, voldoende verkleind.

### NEN 6702

Een nadere uitwerking van werkwijze b) is opgenomen in art. 9 van NEN 6702 in de vorm van bijzondere belastingen. Het in rekening brengen van bijzondere belastingen heeft tot doel het voorkomen van een evenement dat tot voortschrijdende instortingen leidt. Een bouwwerk moet weerstand kunnen bieden aan de gevolgen van bijzondere belastingen door één van de volgende werkwijzen aan te houden:

- de constructie zo te maken dat het bezwijken van een onderdeel door de bijzondere belasting geen voortschrijdende instorting tot gevolg heeft;
- de onderdelen van de constructie zo sterk te maken dat de te verwachten bijzondere belastingen kunnen worden opgenomen;

- preventieve maatregelen te treffen opdat het effect van een bijzondere belasting op de constructie wordt beperkt.

Binnen dit kader is ook de definitie die in NEN 6702 voor de hoofddraagconstructie wordt gegeven van belang:

“Een deel van de bouwconstructie waarvan het bezwijken leidt tot het bezwijken van constructieonderdelen die niet in de directe nabijheid van het bezwijken onderdeel zijn gelegen”.

Dit is echter evenwel een definitie die door verschillende partijen anders kan worden geïnterpreteerd.

### NEN 6720

In NEN 6720 - VBC 1995 - is aangegeven hoe de effecten van de in NEN 6702 voorgeschreven bijzondere belastingcombinaties kunnen worden getoetst. Volgens deze norm moeten betonconstructies een zodanige samenhang bezitten, dat onder meer door bijzondere belastingen geen voortschrijdende instorting kan optreden. De hiertoe benodigde voorzieningen moeten door berekening worden bepaald. Volgens art. 9.12 mag bij woningen en woongebouwen van berekening worden afgezien als aan nadere detailleringseisen wordt voldaan.

Samenvattend kan worden gesteld dat er in de normen drie verschillende

aspecten aan de orde komen die het incasseringsvermogen van een bouwconstructie verbeteren en/of de oorzaak van een schade met onevenredig grote gevolgen beperken. Deze drie aspecten zijn:

- 1) Het uitvoeren van een analyse van de bouwconstructie met tot doel het voorkomen van grote schade (een voortschrijdende instorting) bij het bezwijken van één belangrijk onderdeel van de constructie.
- 2) Het brengen van samenhang in een constructie door toepassing van bijvoorbeeld koppelwapening, een en ander gebaseerd op vuistregels zonder het uitvoeren van een specifieke analyse.
- 3) Het wegnemen van oorzaken van bijzondere belastingen of de constructie ontwerpen op de effecten van een bijzondere belasting.

### INTERPRETATIEVERSCHILLEN

De in de inleiding bedoelde onduidelijkheden komen voornamelijk voort uit een verschillende interpretatie van NEN 6700 en het begrip ‘hoofddraagconstructie’. De normtekst van NEN 6700 stelt dat moet worden uitgegaan van het bezwijken van een onderdeel van de constructie en dat het incasseringsvermogen vervolgens zodanig moet zijn dat geen voortschrijdende instorting zal optreden. In de toelichting op het artikel wordt bij werkwijze b) aangegeven dat het bezwijken van een onderdeel ook kan worden voorkomen. Bij enkele controlerende instanties wordt de normtekst van NEN 6700 strikt toegepast. Dit wil zeggen dat een constructieonderdeel waarop volgens NEN 6702 geen bijzondere belasting werkzaam is, toch moet kunnen bezwijken zonder dat dit tot een voortschrijdende instorting leidt. Het verschil in interpretatie vindt zijn oorsprong in het wel of niet benoemen van belastingen.

Het optreden van een voortschrijdende instorting door een materiaalgebrek, een onjuiste schematisering of een andere onbenoemde oorzaak wordt in NEN 6702 niet gedekt. Om rekening te houden met deze mogelijkheden wordt gesteld dat het aanbrengen van voldoende samenhang of het creëren van een tweede draagweg noodzakelijk is. Dit standpunt heeft vooral bij prefab betonconstructies forse consequenties. In Nederland wordt meer dan 50%

van alle cement die in de bouw wordt gebruikt, gebruikt in prefab beton! Het belang is daarom groot en heeft geleid tot het instellen van de Stufib studiecél. Ook voor hoogbouw, maar dan voornamelijk vanuit het oogpunt van de enorme consequenties die voortschrijdende instorting bij hoogbouw heeft, is het belang van goede constructieve samenhang en duidelijke en consequente richtlijnen in deze, van groot belang.

Het is niet gebruikelijk en niet praktisch om overeenkomstig de normtekst van NEN 6700 elke constructie zo te ontwerpen dat het bezwijken van een onderdeel van de constructie - ook onderdelen waarop geen bijzondere belasting werkzaam is - niet tot onevenredig grote schade leidt. Een bijkomend probleem is dat er geen eenduidige rekenregels zijn om dit soort berekeningen uit te voeren.

#### NIEUWE EUROPESE NORM

Tijdens de werkzaamheden van de studiecél is er een Europese norm beschikbaar gekomen waarin veel aandacht wordt geschonken aan het voorkomen van voortschrijdende instortingen of wel het verbeteren van de samenhang van bouwconstructies. Het betreft prEN 1991-1-7 "actions on structures, general actions - accidental actions due to impact and explosions". In deze norm worden enkele zaken beschreven en geregeld die gebruikt kunnen worden om de discussie over voortschrijdende instortingen tot een eenduidig einde te brengen. In de norm wordt onderscheid gemaakt tussen bekende en onbekende oorzaken van bijzondere ontwerp situaties. Voorbeelden van bekende oorzaken zijn zaken als gasexplosies en aanrijdingen. De norm geeft hiervoor dezelfde oplossingen die reeds in de Nederlandse normen zijn beschreven. Een voorbeeld van een onbekende oorzaak is het lokaal bezwijken van een onderdeel van de constructie. Om de gevolgen van dit bezwijken te beperken zijn drie mogelijke ontwerpmethoden gegeven (fig.2):

- 1) toepassen van detailleringvoorschriften die tot doel hebben de ductiliteit (incasseringsvermogen van de constructie) te verbeteren;
- 2) ontwerpen van kritische elementen voor een denkbeeldige bijzondere belasting;

- 3) creëren van een verhoogde weerstand door bijvoorbeeld een tweede krachtsweg mogelijk te maken.

Bij het toepassen van methode 1 wordt onderscheid gemaakt tussen verschillende klassen van gebouwen waarin de consequenties van het optreden van een voortschrijdende instorting wordt uitgedrukt.

Gebruikt worden de klassen 1, 2a, 2b en 3. Vrijstaande woningen worden ingedeeld in klasse 1; woon- en kantoorgebouwen van maximaal vier bouwlagen worden ingedeeld in klasse 2a.

De Stufib studiecél heeft haar werk ingericht uitgaande van deze Europese norm. De uitgangspunten van de Europese norm zijn hierin nader verfijnd. Tevens worden er diverse aanbevelingen gedaan.

De genoemde klassering van gebouwen die wordt aangehouden is in grote lijnen als volgt:

##### **Klasse 1:**

- \* eengezinswoningen van maximaal vier bouwlagen;
- \* agrarische gebouwen;
- \* gebouwen die vaak onbemand zijn.

##### **Klasse 2a (lage risico groep):**

- eengezinswoningen van vijf of meer bouwlagen;
- woongebouwen van maximaal vier bouwlagen;
- hotels van maximaal vier bouwlagen;
- flats van maximaal vier bouwlagen;
- kantoorgebouwen van maximaal vier bouwlagen;
- industriële gebouwen van maximaal vier bouwlagen;
- winkelgebouwen van maximaal drie bouwlagen;
- onderwijsgebouwen van één bouwlaag.

##### **Klasse 2b (hoge risico groep):**

- hotels, flats en andere woongebouwen van minimaal vijf, maximaal vijftien bouwlagen;
- onderwijsgebouwen van meer dan één en maximaal vijftien bouwlagen;
- winkelgebouwen van meer dan vier en maximaal vijftien bouwlagen;
- ziekenhuizen van maximaal drie bouwlagen;
- kantoren van meer dan vier en maximaal vijftien bouwlagen;
- alle voor publiek toegankelijke gebouwen waarin zich veel mensen bevinden met een maximaal vloeroppervlak van 1.000 m<sup>2</sup> per bouw-

laag;

- niet automatische parkeergarages van maximaal zes lagen;
- automatische parkeergarages van maximaal vijftien lagen;
- uitgaanscentra van maximaal 2.000 m<sup>2</sup>.
- uitgaanscentra van maximaal 2.000 m<sup>2</sup>.

##### **klasse 3:**

- alle gebouwen die vallen onder de klasse 2, maar die de limieten voor bouwlagen en/of vloeroppervlaktes overschrijden;
- alle publieke gebouwen waarin zich grote hoeveelheden mensen bevinden;
- stadions met meer dan 5.000 toeschouwers.

Met het nemen van de volgende maatregelen wordt geacht dat de constructieve samenhang en/of een acceptabele mate van robuustheid voldoende is gewaarborgd:

- klasse 1:

- geen specifieke eisen.

- klasse 2:

- het aanbrengen van nader te definiëren horizontale trekbanden of verankeringen.

- klasse 2b:

- het aanbrengen van nader te definiëren horizontale en verticale trekbanden of verankeringen

of:

- het creëren van een tweede draagweg bij het wegvallen van nader te bepalen constructieve elementen.

- klasse 3:

- het uitvoeren van een systematische risicoanalyse, waarmee wordt aangetoond dat de constructie voldoet aan de gebruikelijke eisen voor de veiligheid.

of:

- het creëren van een tweede draagweg bij het wegvallen van nader te bepalen constructieve elementen.

In het eindrapport van de Stufib-studiecél is de te volgen werkwijze toegelicht.

Vooraf bij deze klasse 3 dient echter te worden opgemerkt, dat Eurocode alleen spreekt van het uitvoeren van een systematische risicoanalyse, waarmee wordt aangetoond dat de constructie voldoet aan de gebruikelijke eisen van veiligheid. De Stufib-studiecél was van mening, dat deze weg, hoe goed dan ook, niet voldoende gebruikersvriendelijk was om in de praktijk goed te werken. De Stufib-studiecél heeft dan ook besloten om aan deze



klasse als gelijkwaardige en toereikende oplossing toe te voegen het creëren van een tweede draagweg. Deze oplossing leidt in sommige gevallen wellicht tot “overmitigatie”, maar geeft, indien in een vroegtijdig stadium van het ontwerp beschouwd, snel bevredigende resultaten.

### **Wijziging van NEN 6700**

Mede naar aanleiding van de discussie in de Stufib-studiecel is door de betreffende NEN commissie ‘TGB basiseisen en belastingen’ art. 5.3.3 nogmaals beschouwd. Omdat NEN 6700 binnenkort opnieuw zal worden uitgebracht, bestond de mogelijkheid om art. 5.3.3 te wijzigen. Deze wijziging is reeds uitgebracht in de vorm van ontwerp NEN 6700. De strekking van de wijziging die in 5.3.3 is aangebracht, is dat de toelichtende tekst op 5.3.3 als normtekst wordt gepresenteerd. Op deze wijze wordt de hiervoor aangeduide discrepantie tussen de normtekst en de toelichting in de eerste versie van NEN 6700 opgeheven.

### **VEILIGHEID EN KWALITEIT**


Men moet zich wel realiseren, dat de constructieve samenhang en het incasseringsvermogen van gebouwen met betrekking tot voortschrijdende instorting slechts één onderdeel zijn van de totale keten van veiligheid en kwaliteit van gebouwen. Om het niveau hiervan voldoende hoog te houden, is er continue aandacht en bijsturing nodig. Er zijn veel factoren, zoals kennis, controle, organisatie van het ontwerp- en bouwproces, regelgeving, nieuwe ontwikkelingen op het gebied van materialen, technieken, technologieën en meer, die de veiligheid en kwaliteit van het eindproduct sterk kunnen beïnvloeden. Het bijsturen is een doorgaand proces, met diverse factoren en belanghebbenden die van verschillende invalshoeken en met verschillende belangen tegen een dergelijke keten aankijken en op het besturingsproces invloed hebben. Het kan dan ook niet anders dan dat het eindresultaat hooguit een zo goed mogelijke compromis is, dat bovendien voortdurend evolueert. Een groot draagvlak is essentieel, evenals het besef dat niet iedereen op alle aspecten die voor hem of haar van belang zijn, op zijn wenken kan worden bediend.

De hedendaagse ontwerppraktijk leert dat de bouwopgaven steeds complexer worden en het ontwerp hiervan steeds meer gefragmenteerd wordt uitgevoerd. Het detailontwerp van verschillende toegeleverde elementen wordt veelal door of in opdracht van de leverancier van deze elementen uitgevoerd. Dit maakt het overzien van het geheel en het creëren van en de controle op de noodzakelijke samenhang in een constructie moeilijker. Het spreekt voor zich dat de organisatie van het ontwerpproces hierin veel kan betekenen. Hierin speelt in het bijzonder het wel of niet aanstellen van een hoofdconstructeur. Discussie hierover, onder aanvoering van de Betonvereniging is op dit ogenblik in volle gang. Immers, alleen de hoofdconstructeur kan het totaalontwerp als geen ander overzien en kan voor voldoende samenhang in een bouwconstructie zorgen. Een niet onbelangrijk probleem hierbij is dat er niet altijd eenduidig een hoofdconstructeur in het ontwerpproces aanwezig is. In de eindrapportage van de studiecel is uitgebreid aandacht geschonken aan de wijze waarop dit kan worden verzekerd.

Maar er is meer. De interne controle bij de verschillende partijen en toeleveranciers die bij het ontwerpproces betrokken zijn, is vaak niet toereikend of zelfs niet aanwezig. Ook de aandacht voor het belang van het gebruikelijke dagelijks toezicht op de bouwplaats lijkt in de afgelopen jaren te zijn afgenomen. Kritische aandacht voor dergelijke veiligheids- en kwaliteitsaspecten en het continue streven naar verbetering hiervan zijn minstens zo belangrijk als de aandacht die, mede door de spectaculaire instortingen van de afgelopen jaren, nu wordt gegeven aan de voortschrijdende instorting.

### **CONCLUSIE**

Het doel van de Stufib-studiecel was te komen met een beschouwing over voortschrijdende instorting, samenhang en incasseringsvermogen van bouwconstructies die door alle betrokkenen zo breed mogelijk kan worden gedragen. De benaderingswijze die is beschreven in de ontwerpnorm prEN 1991-1-7, waarin zowel bekende als onbekende oorzaken van bezwijken van een constructie worden beschouwd, gaf de studiecel, samen met het voor-

stel voor de aangepaste normtekst, voldoende mogelijkheden en aanknopingspunten om tot een gemeenschappelijke conclusie te kunnen komen. Het resultaat vormt een goede en goed hanteerbare bijdrage aan de verbetering van de veiligheid en kwaliteit van de bouwconstructies. 

### **LITERATUUR**

1. NEN 6700 technische grondslagen voor bouwconstructies - TGB 1990 - algemene basiseisen. NEN, 1997.
2. NEN 6702 technische grondslagen voor bouwconstructies - TGB 1990 - belastingen en vervormingen. NEN, 2001.
3. NEN 6720 voorschriften beton - TGB 1990 - constructieve eisen en rekenmethoden (VBC 1995). NEN, 2004.
4. prEN 1991-1-7 - Eurocode 1 - actions on structures - part 1-7: general actions - accidental actions due to impact and explosions. CEN, 2002.
5. ir. S.N.M. Wijte, adviesbureau ir. J.G. Hageman BV, ir. A.M. de Ree, Arcadis bouw en vastgoed, prof. dipl.-ing. J.N.J.A. Vambersky, TU Delft, faculteit CiTG / Corsmit Raadgevend Ingenieursbureau BV