

# **De breedplaat- vloerenproblematiek uitgelicht**



De breedplaatvloerenproblematiek houdt de gemoederen van velen bezig en heeft belangrijke consequenties voor diverse partijen. Mede naar aanleiding van berichten in de media hebben de auteurs van dit artikel gemeend er goed aan te doen om met dit artikel hun visie op de problematiek te geven. Het kan wellicht ook gebruikt worden om minder ingewijden inzicht te geven in de achtergronden bij deze problematiek.

*De gedeeltelijke instorting van de parkeergarage van Eindhoven Airport op 27 mei 2017 heeft aan het licht gebracht dat breedplaatvloeren, zoals die de twee laatste decennia in sommige gevallen zijn toegepast, niet altijd voldoende sterk zijn. Het was de instorting die de aandacht heeft gevestigd op, wat inmiddels het 'kritische detail' is genoemd. Maar de tekortkoming had evengoed op een andere manier aan het licht kunnen komen.*

**De breedplaatvloeren zijn meer dan 50 jaar geleden in de Nederlandse bouw geïntroduceerd en worden veelvuldig, en tot 27 mei 2017 zonder ogenschijnlijke problemen, toegepast.**

Zowel de breedplaatvloeren zelf als de toepassing ervan, hebben in de genoemde 50 jaar een grote evolutie ondergaan. De breedplaatvloeren werden oorspronkelijk voor in één richting - van balk naar balk of van wand naar wand - dragende vloeren ontwikkeld.

Vandaag de dag zijn de breedplaatvloeren ook als in twee richtingen dragende vloeren toegepast (fig. 1). Soms is dat in vloerconstructies waar géén balken of wanden aan te pas komen en de volledig vlakke vloeren rechtstreeks op de kolommen dragen. Ook worden de prefab-betoncomponenten van deze vloeren tegenwoordig met nieuwe materialen en technologieën vervaardigd en gecombineerd. Als voorbeelden kunnen worden genoemd de toepassing van zelfverdichtend en hogesterktebeton en het gebruik van gewichtsbesparende elementen in de vloer.

De oorspronkelijke detaillering van de constructies van deze vloeren werd echter aan

de genoemde verregaande evolutie niet overal goed (volgens de regels der mechanica en betrouwbaarheidstheorie) aangepast.

Betonconstructies dienen op alle optredende inwendige momenten en krachten te worden ontworpen, gedetailleerd, gewapend en gecontroleerd. In figuur 2 geven de details A en C een voorbeeld van een adequate detaillering van de wapening (blauw) in een betonplaat of betonbalk voor dwarskracht en het detail B van een adequate detaillering van de wapening (blauw) voor een positief (buigend) moment. De wapening loopt dwars over de verwachte scheuren, verbindt de betondelen aan de weerszijden van de scheur en zorgt op deze wijze voor voldoende constructieve veiligheid.

Met detail D in figuur 2 is de - aan de evolutie niet goed aangepaste - detaillering voor een positief buigend moment weergegeven. De mogelijke scheur kan zich tussen de overlappende wapeningsstaven door ontwikkelen. Tussen deze staven bevindt zich namelijk een aansluitvlak met een mogelijk verminderde aanhechting (aansluiting tussen prefab breedplaat en ter plaatse gestorte druklaag). Maar bovenal is er bijna geen →



auteurs



EM. PROF. DIPL. ING. JAN VAMBERSKY

TU Delft



EM. PROF. DR. IR. JOOST WALRAVEN

TU Delft



PROF. DR. IR. THEO SALET

TU Eindhoven



EM. PROF. IR. HAN VRIJLING

TU Delft



DR. IR. DICK HORDIJK

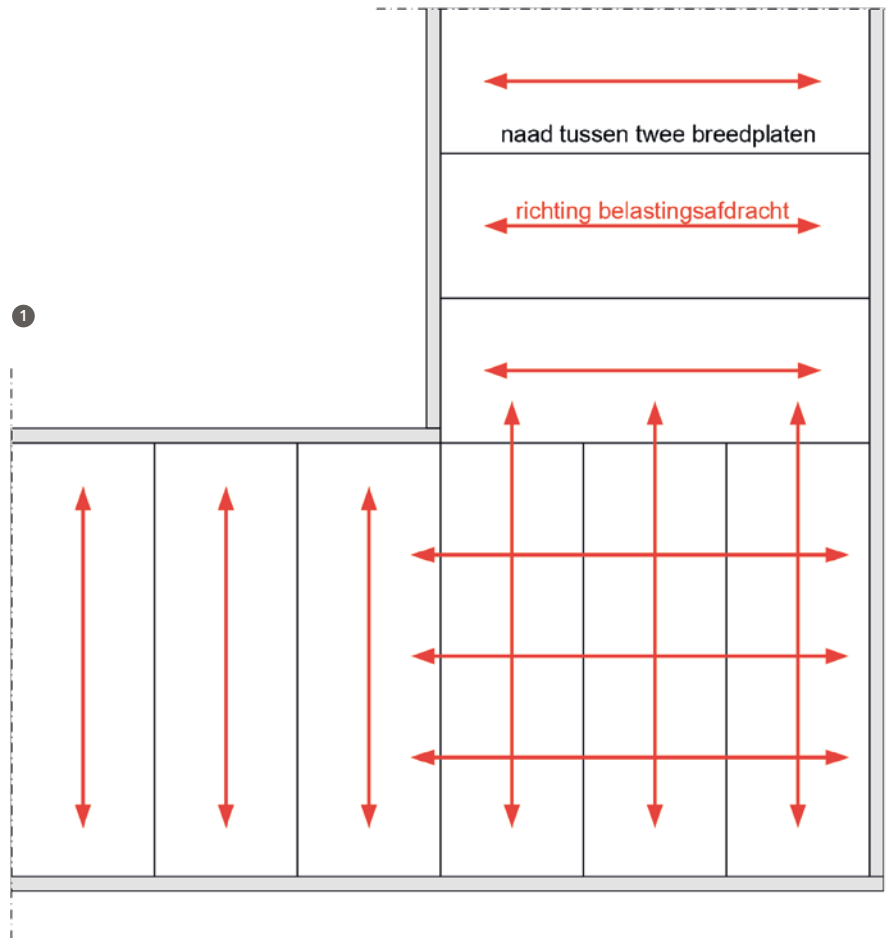
Adviesbureau  
ir. J.G. Hageman,  
oud-hoogleraar TU Delft /  
TU Eindhoven



EM. PROF. IR. TON VROUWENVELDER

TNO / TU Delft

1



wapening (veelal alleen de diagonalen van een tralieligger) voorzien die verticaal door de scheur in het contactvlak loopt om het verder ontwikkelen en openen van de scheur, en het voortijdig bezwijken van deze vloerconstructie, te voorkomen. Het detail is door het vrijwel ontbreken van deze wapening weinig 'robuust', en daardoor ook te veel afhankelijk van de kwaliteit van de uitvoering. Resultaten van experimenteel onderzoek in binnen- en buitenland bevestigen het voorgaande [1-3]. Naar aanleiding van de bevindingen is een verkenning naar bestaande constructies uitgevoerd. Die wees uit dat deze detaillering voorkomt bij een aantal, in de laatste twee decennia gerealiseerde, gebouwen, waarin breedplaatvloeren met een krachtsafdracht in twee richtingen zijn toegepast. In dit artikel is de langsvog (tralieliggers evenwijdig aan de voeg) ter illustratie gebruikt. De problematiek speelt ook bij een positief buigend mo-

ment bij kopvoegen (tralieligger loodrecht op de voeg).

## Gebrekk

Zodra bekend is dat een bepaald type constructie mogelijk een 'gebrek' vertoont, moet daar iets mee worden gedaan. Vergelijk het met terugroepacties bij auto's of andere producten. Het is echter ook zo dat de vele duizenden vierkante meters van dergelijke vloeren tot nu toe geen zichtbare problemen hebben vertoond. En als zo'n vloer in de praktijk wordt belast, blijkt deze veelal de vereiste aan te houden belasting te kunnen weerstaan. Dat roept bij velen de vraag op waarom er dan toch zoveel moet gebeuren met breedplaatvloeren en waarom er gebouwen zijn gesloten.

Iedereen zal begrijpen dat constructies sterk genoeg moeten zijn. In dat verband wordt veelal gesproken over constructieve

veiligheid en betrouwbaarheid. Om dit te bereiken moeten constructies aan bepaalde (wettelijk vastgelegde) eisen met betrekking tot de constructieve veiligheid voldoen. Nu is het zo dat velen denken dat, als een constructie niet aan die eisen voldoet, deze op instorten staat. Omgekeerd wordt vaak verondersteld dat als een constructie de belasting kan dragen, waar volgens de voorschriften vanuit moet worden gegaan voor het betreffende gebruik, deze aan alle eisen voldoet. In beide gevallen is dat niet juist. Om dat uit te leggen, is navolgend geschetst hoe er bij constructies voor wordt gezorgd dat die voldoende veilig zijn.

### Constructieve veiligheid

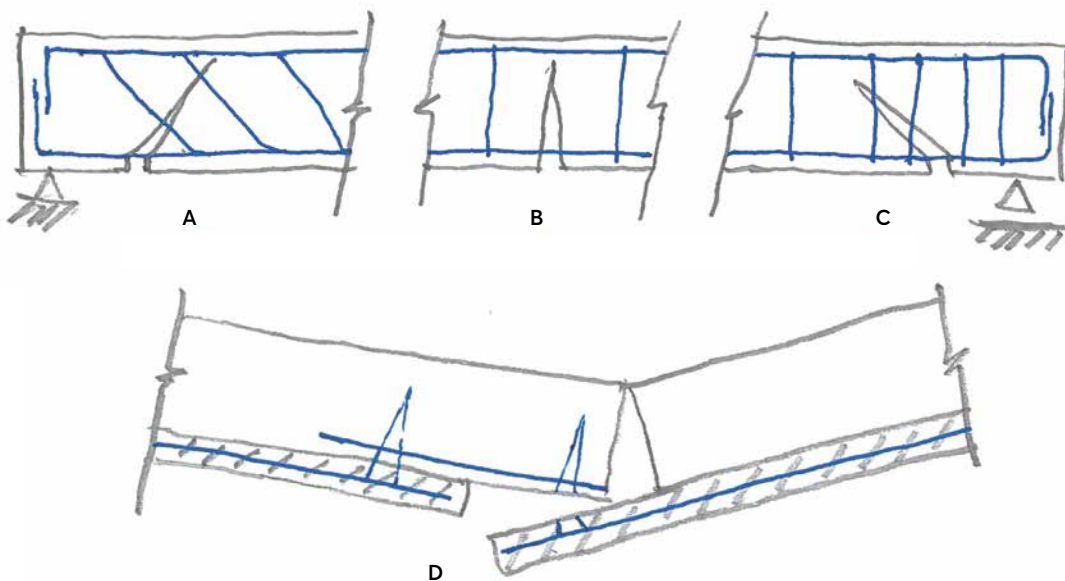
Het is niet zo dat voor iedere afzonderlijke constructie precies bekend is hoe groot de maximale belasting is die gedurende de levensduur zal optreden. Ook is niet bekend wat exact het draagvermogen, c.q. de sterkte, van de constructie is. Voor beide (de belasting en de sterkte) geldt dat er sprake is van een zogenaamde kansverdeling met een gemiddelde en een standaardafwijking (fig. 3). Oftewel, voor een constructie geldt dat er een bepaalde kans is op een zekere optredende belasting en een bepaalde kans op een zekere sterkte. Het zal duidelijk zijn dat een constructiedeel bezwijkt als het effect

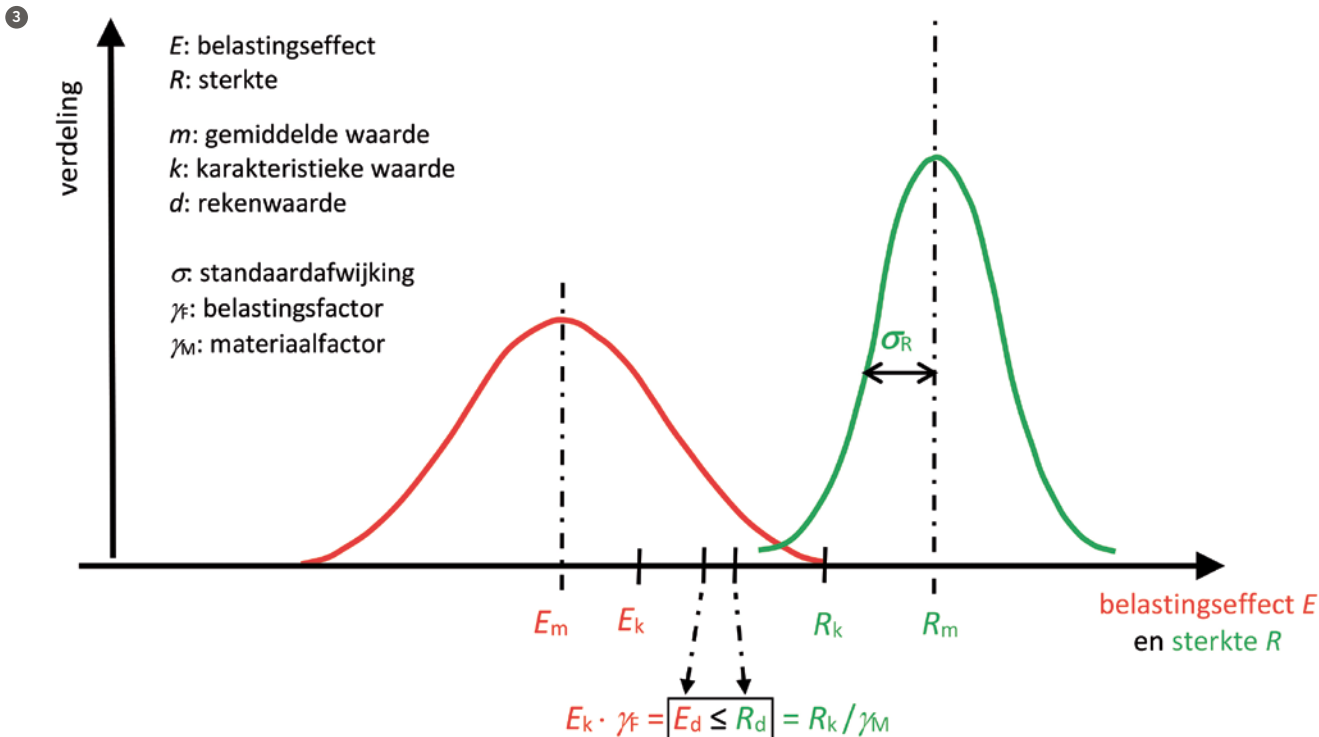
(de optredende kracht en/of spanning) dat de belasting heeft op dat onderdeel (belastingseffect), groter is dan de sterkte van dat betreffende onderdeel. De kans op het optreden van een dergelijke situatie moet uiteraard zeer klein gehouden worden. Om dat te bereiken worden eerst voor zowel de belastingen als de sterkte de karakteristieke waarden vastgelegd met bepaalde kansen van over- (of onder)schrijding. Vervolgens worden de karakteristieke belastingen vermenigvuldigd met belastingfactoren  $\gamma_F$  en op basis daarvan de rekenwaarden van de belastingeffecten bepaald; aan de sterktekant worden karakteristieke waarden voor de sterkte gedeeld door een materiaalfactor  $\gamma_M$  (fig. 3). Om te voldoen aan de eis met betrekking tot constructieve veiligheid moet de daaruit volgende rekenwaarde van het belastingseffect ( $E_d$ ) kleiner zijn dan de zo bepaalde rekenwaarde van de sterkte ( $R_d$ ). De partiele factoren zijn zodanig gekozen (gekalibreerd) [4] dat rekenkundig in grote lijnen aan de in NEN-EN-1990 [5] gestelde betrouwbaarheidseis wordt voldaan. In de praktijk ligt om een aantal redenen de feitelijke faalkans meestal lager (zie ook de paragraaf over additionele sterkte).

Uit bovenstaande volgt dat een constructie, die bijvoorbeeld 'net niet' aan de eisen →

*Een constructie die net niet aan de eisen voldoet staat niet direct op instorten maar heeft een iets grotere faalkans dan toelaatbaar*

2





volgens de bouwvoorschriften voldoet, niet direct op instorten staat, maar alleen een iets grotere faalkans heeft dan toelaatbaar. Omgekeerd, als een constructie in staat blijkt de karakteristieke belasting te dragen, is er nog geen garantie op voldoende veiligheid. Men gaat dan voorbij aan de marges die voortvloeien uit de veiligheidsfactoren.

### Gewenste marges

Met het voorgaande is het principe van het bereiken van voldoende veiligheid geschetst. Maar wat betekent dat in de praktijk? Hoe groot is de marge tussen bijvoorbeeld de karakteristieke waarde van het belastings-effect en de gemiddelde sterkte? Voor de bezweken doorsnede van de vloer van de parkeergarage van Eindhoven Airport was een karakteristieke waarde van het belastings-effect ( $E_k$ ) van ca. 200 kNm/m berekend.

Met  $E_k = 200$  kNm/m als startpunt en een voor de eenvoud even als gemiddelde aangehouden belastingsfactor,  $\gamma_F$ , van 1,3, is  $E_d$  gelijk aan  $1,3 \times 200 = 260$  kNm/m.  $R_d$  moet dan minimaal gelijk zijn aan 260 kNm/m om te voldoen aan de eisen met betrekking tot constructieve veiligheid. Met een materiaal-

factor,  $\gamma_M$ , van 1,15 en uitgaande van een verhouding  $R_m/R_k$  van 1,15 zou  $R_m$  dan minimaal gelijk moeten zijn aan 344 kNm/m.

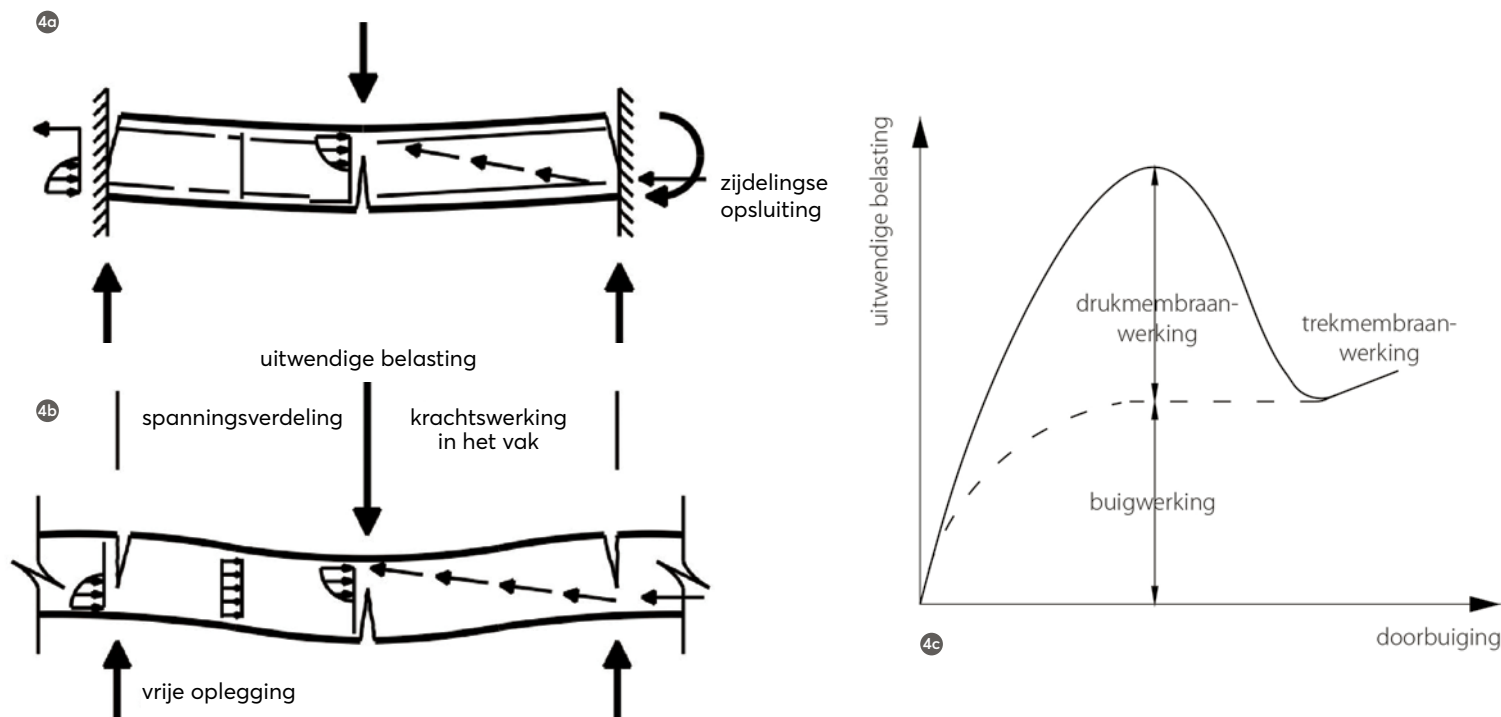
De voorgaande berekening is slechts ter illustratie bedoeld. Wel kan nog worden vermeld dat in de experimenten, waarmee het betreffende kritische detail is onderzocht, gemiddeld een buigend moment van ca. 128 kNm/m kon worden overgebracht. Als de sterkte van het kritische detail in de vloer van de parkeergarage van Eindhoven Airport tweemaal zo groot was geweest, was het bezwijken op dat moment niet opgetreden maar had de constructie nog steeds niet voldaan aan de geldende constructieve eisen.

### De eerste maatregelen

Uitgaande van de bevindingen bij de laboratoriumonderzoeken, en de rekenregels die op basis daarvan zijn opgesteld, zal in diverse breedplaatvloeren, waarbij belastingafdracht in twee richting moet optreden, door het toegepaste kritische detail sprake zijn van onvoldoende veiligheid. Er zijn echter, zoals al in de inleiding is vermeld, een groot aantal gebouwen aan te wijzen die in de praktijk zonder ogenschijnlijke problemen

hebben gefunctioneerd. Aangenomen kan daarom worden dat de kans dat een vloer van dit type bezwijkt, kleiner is dan uit de proeven en rekenregels zou volgen. Kennelijk zijn de omstandigheden (randvoorwaarden) in de praktijk in algemene zin gunstiger dan in het rekenmodel is aangenomen. Zonder nader onderzoek is echter niet vast te stellen in welke mate. En de regelgeving verplicht uiteindelijk wel om de veiligheid in kwantitatieve termen uit te drukken en te vergelijken met de eis. Het gegeven dat veel constructies zonder problemen hebben gefunctioneerd is, als zodanig, geen bewijs van voldoende veiligheid voor alle constructies. Men kan er wel argumenten aan ontleen met betrekking tot de urgentie en omvang van op korte en middellange termijn te nemen praktische maatregelen (ontruiming, wijze van gebruik, inspectie, ontwerpchecks, etc.). Dat is de achtergrond waartegen het in september 2017, in opdracht van het Ministerie BZK opgestelde stappenplan [6], moet worden gezien. Dat stappenplan is tot stand gekomen in samenspraak met een grote groep deskundigen<sup>1</sup>. Lastig daarbij was het op dat moment maken van de afweging waar de grens tussen wel en geen maatregelen

<sup>1</sup>De werkzaamheden zijn uitgevoerd in opdracht van het Ministerie van Binnenlandse Zaken en Koninkrijksrelaties en begeleid door een klankbordgroep bestaande uit vertegenwoordigers van COBc, TU Delft, Betonhuis, Rijksvastgoedbedrijf, VNconstructeurs, Bouwend Nederland, Adviesbureau Hageman en TNO.



nemen, moet liggen. Het aantal constructies waar maatregelen getroffen zouden moeten worden, dient bij voorkeur, uit het oogpunt van maatschappelijke kosten, te worden beperkt, maar tegelijkertijd moeten natuurlijk ook onveilige situaties, die schade veroorzaken en potentieel mensenlevens kosten, worden vermeden. Met de op dat moment nog relatief beperkte kennis is die keuze gemaakt in de wetenschap dat als meer bekend is over het kritische detail, mogelijk bij meer onderdelen van breedplaatvloeren als nog maatregelen nodig zouden kunnen zijn om het gewenste veiligheidsniveau te halen.

### Sterk, maar niet sterk genoeg

Een mogelijkheid is om, naast het uitvoeren van een berekening, een proefbelasting uit te voeren om zo aan te tonen dat de breedplaatvloer voldoende veilig is. Deze mogelijkheid is in het stappenplan ook beschreven. Alvorens daar iets meer over te zeggen, is het goed om nog iets verder in te gaan op de wijze waarop de constructieve veiligheid van constructies via berekeningen wordt aangetoond. Een gebouw bijvoorbeeld, wordt in een berekening geschematiseerd, waarbij onder andere kolommen, balken en vloeren

worden onderscheiden. Ieder onderdeel heeft zijn sterkte en stijfheid en in de berekening worden de onderdelen aan elkaar verbonden. Oftewel, de wijze waarop ze aan elkaar vastzitten, wordt ook in de berekening (via bijvoorbeeld een scharnier of een inklemming) geschematiseerd. Het is bekend dat het werkelijke gedrag daar enigszins van kan afwijken, maar dat leidt dan niet tot minder veiligheid. De rekenregels zijn namelijk in het algemeen aan de voorzichtige kant geformuleerd. In diverse gevallen zal om deze reden, vanwege de aanwezige additionele sterkte, de werkelijk aanwezige veiligheid hoger zijn dan de berekende veiligheid.

### Additionele sterkte

Wat is additionele sterkte? Om duidelijk te maken wat daarmee wordt bedoeld, is navolgend een aantal voorbeelden gegeven.

- Denk bijvoorbeeld aan de additionele sterkte ten gevolge van vereenvoudigingen in schema's en afrondingen in de statische berekeningen. Dergelijke vereenvoudigingen en afrondingen worden vanzelfsprekend altijd naar de veilige kant toe gemaakt.
- Denk ook aan een additionele sterkte →

*Het gegeven dat veel constructies zonder problemen hebben gefunctioneerd is geen bewijs van voldoende veiligheid voor alle constructies*

*Het aantal constructies waar maatregelen getroffen moeten worden moet bij voorkeur worden beperkt, maar tegelijkertijd moeten onveilige situaties worden vermeden*

waarmee we per definitie niet willen rekenen omdat dit een mogelijk (ongewenst) onveilig gedrag van de constructie inhoudt. Een voorbeeld hiervan is de treksterkte van beton bij op buiging belaste constructies, zoals balken en vloerplaten, in relatie tot scheurvorming en (brosse) breuk. Bij dergelijke constructies zullen we - vanwege de gewenste veiligheid - altijd met een gescheurde doorsnede rekening houden. De treksterkte van beton wordt buiten beschouwing gelaten en de wapening wordt daarop gedimensioneerd. Maar bij diverse (delen van deze) constructies - zolang de scheurvorming niet optreedt - zal de betontreksterkte in een aantal opzichten wel haar bijdrage blijven leveren en zal de constructie bij proefbelastingen een groter draagvermogen tonen dan uitgerekend. → Een andere reden dat de werkelijke sterkte onder een bepaalde belasting hoger kan zijn dan waar we mee rekenen, is het effect van een eventueel aanwezige 'opsluiting'. Als een vloerveld aan de uiteinden wordt verhinderd horizontaal te verplaatsen, vindt er naast buiging ook 'directe belastingafdracht' plaats (fig. 4a en 4b). Dat kan alleen als bij de uiteinden ook een horizontale steundruk wordt ontwikkeld. Het gevolg van dit mechanisme, dat wel drukkembraanwerking wordt genoemd [7], is dat de onderzijde van de middendoorsnede minder op trek wordt belast, de sterkte van de vloer hoger is en de doorbuiging van de vloer onder belasting minder is dan uit de berekeningen volgt (fig. 4c).

Omdat de werking van een eventueel aanwezige additionele sterkte vooralsnog moeilijk te kwantificeren is en per constructie (onderdeel) verschillend kan zijn, kan daar tot op heden niet mee worden gerekend. In werkelijkheid zal deze extra reserve echter in meer of mindere mate wel aanwezig zijn en dat uit zich dan bij een proefbelasting, zoals navolgend wordt toegelicht.

### **Proefbelasting**

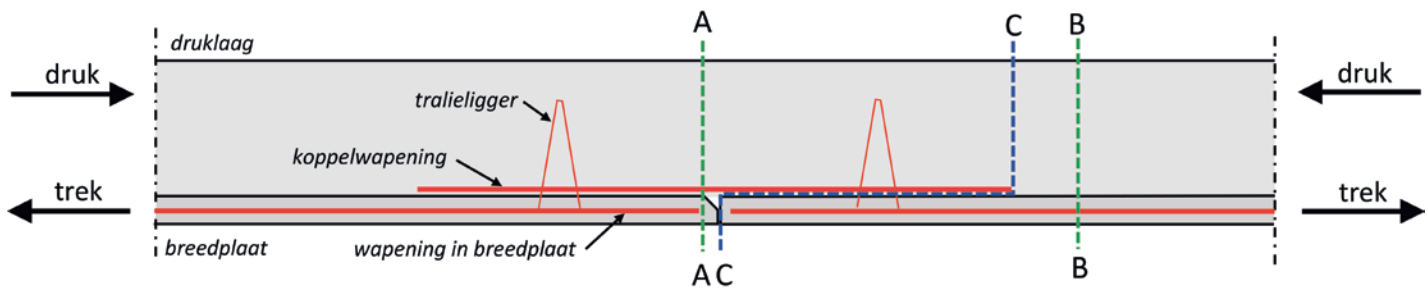
Met een proefbelasting op een vloerveld in de praktijk wordt voor dat vloerveld aangetoond dat deze de aangebrachte belasting kan dragen. Feit is dat dan de werkelijke constructie, en dus de werkelijke sterkte, wordt getoetst. Die sterkte is - zoals blijkt uit

de geschetste kansverdeling en voorbeelden van de additionele sterktes - gemiddeld aanzienlijk hoger dan de aan te houden rekenwaarde van de sterkte. De vraag die dan nog wel overblijft, is hoeveel belasting er, kijkend naar het gebruik, aangebracht moet kunnen worden om voldoende veiligheid van dat vloerveld aan te tonen zonder daarmee al te veel schade te veroorzaken. Onder verwijzing naar de voorgaande paragraaf, zal het duidelijk zijn dat de daar genoemde effecten bijdragen aan de draagkracht van de vloer. Met die effecten kan ook worden verklaard dat de bij een proefbelasting gemeten doorbuigingen veelal geringer zijn dan de doorbuigingen die volgen uit de (vereenvoudigde) berekeningen, waar deze effecten niet in zitten. In dat verband is het goed om er ook nog eens op te wijzen dat sterkte en stijfheid niet direct aan elkaar zijn gekoppeld. Er mag bij vloeren in gebouwen niet met drukkembraanwerking worden gerekend omdat de mate van opsluiting moeilijk, of niet goed, is vast te stellen en afhankelijk van de omstandigheden per vloerveld, c.q. per constructie, zal verschillen. Een punt om nog te noemen, is dat de werking, zoals hiervoor beschreven is, minder aanwezig is als - zoals bij het ontwerp wordt geëist, maar bij een proefbelasting niet het geval is - meerdere vloervelden tegelijkertijd worden belast. Samengevat: er moet worden opgepast met het trekken van algemeen geldende conclusies voor breedplaatvloeren op basis van resultaten van individuele proefbelastingen zonder diepgaande analyse.

### **Bros gedrag 'kritische detail'**

Met betrekking tot het kritische detail is het goed om ook nog op een ander aspect van construeren in gewapend beton te wijzen. Bij gewapend beton is er wapeningsstaal nodig, omdat beton slecht trekspanningen kan opnemen en ongewapend beton bros breekt, zoals voorgaand is toegelicht. Als gewapend beton op buiging wordt belast, scheurt het beton onder trek en neemt de wapening de trekkracht over. Omdat het wapeningsstaal pas bezwijkt nadat het bij een gelijkblijvende hoge kracht eerst flink is uitgerekend, gedraagt de betonconstructie zich taai (ductiel). Duc-





tiel gedrag maakt dat herverdeling van krachten kan optreden, veelal gepaard gaande met een toename van draagkracht, en dat de constructie minder gevoelig is voor invloeden van temperatuur, zetting en dergelijke.

Daarnaast heeft het ductiel gedrag het voordeel dat de gewapend betonconstructie door het optreden van scheuren en een grote doorbuiging, waarschuwt alvorens te bezwijken.

Bij het kritische detail is er in iedere doorsnede (voldoende) horizontale onderwapening aanwezig om in het geval van bezwijken ter plaatse van een verticale buigscheur, ductiel gedrag te laten zien. Afhankelijk van de momentcapaciteit, welke wordt bepaald door de grootte van de doorsnede en de positie van de wapening, zal ofwel de doorsnede ter plaatse van de voeg (A) ofwel in de breedplaat (B) maatgevend zijn (fig. 5). Er is bij het kritische detail echter ook een bezwijkvorm mogelijk waarbij er bijna geen wapening het scheurvlak doorsnijdt (zie ook detail D in fig. 2). Dit is feitelijk het bezwijken van de overlappingslas van de koppelwapening met de wapening in de breedplaten. Het breukvlak (C) (fig. 5) loopt dan niet verticaal, maar via de voeg tussen de breedplaten, horizontaal langs het aansluitvlak tussen de breedplaat en de druklaag en vervolgens achter de koppelwapening omhoog. In dat geval is het alleen de tralieliggerwapening die op het net in de breedplaat staat, die het breukvlak doorsnijdt. Bezwijken treedt op door een combinatie van afpellen van de breedplaat, afschuiving in het aansluitvlak en uit de breedplaat trekken,

of breken van de diagonalen van de tralieligger.

Diverse experimenten hebben laten zien dat in het geval van een breukvlak volgens C in figuur 5 bij goede aanhechteigenschappen van het aansluitvlak nog wel een relatief hoge sterkte kan worden bereikt, maar dat dan, anders dan bij bezwijken in doorsnede A of B, een zeer plotseling bezwijken optreedt (geen waarschuwing). Dat is onwenselijk en dient ook in veiligheidsbeschouwingen meegenomen te worden.

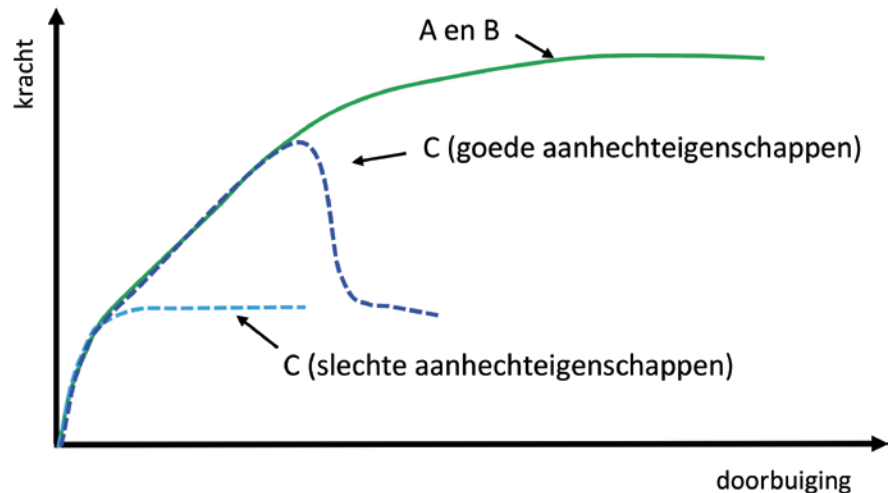
### De vigerende normen

Als het kritische detail, waarbij eigenlijk sprake is van een overlapping van wapeningsstaven (overlappingsglas), wordt afgezet tegen de vigerende norm, zijnde NEN-EN 1992-1-1 [8], dan blijkt dat het detail, zoals uitgevoerd, op een aantal punten niet aan die norm voldoet. In dat verband kan onder

andere worden gewezen op het volgende:

→ Volgens artikel 8.7.2 behoren overlappings van staven in het algemeen te verspringen (niet alle overlappings in één doorsnede) en niet geplaatst te zijn in gebieden met hoge momenten. Indien de schikking van de staven voldoet aan een aantal eisen, mag het percentage overlappings in één doorsnede wel 100% zijn, maar alleen als de staven zich in één en dezelfde laag bevinden. Bij het kritische detail is 100% van de overlappings in één doorsnede aanwezig, terwijl de staven niet in één en dezelfde laag liggen.

→ In het aansluitvlak tussen de breedplaat en de druklaag moet een afschuifkracht worden overgebracht om het mogelijk te maken dat de trekkracht uit de breedplaatwapening wordt overgedragen aan de koppelwapening. Het aansluitvlak moet hiervoor voldoende sterk zijn en moet daarop worden getoetst. Dit kan worden gedaan met artikel 6.2.5 [8]. Gebleken is dat het detail in veel →





*De vraag is of het feit dat de vele toegepaste breedplaatvloeren met belastingafdracht in twee richtingen geen problemen hebben laten zien, toch niet in de veiligheidsbeschouwingen kan worden gehonoreerd*

gevallen niet aan de in dit normartikel gestelde eisen voldoet.

→ In het overlappingsgebied moet voor het opnemen van trekkrachten loodrecht op de lengterichting van de staven dwarswapening aangebracht zijn volgens artikel 8.7.4 [8]. Bij staven met een kleine diameter (< 20 mm) mag worden aangenomen dat dwarswapening, die om andere redenen aanwezig is, al voldoende is. De trekkrachten loodrecht op de staven zijn een gevolg van het niet in één lijn liggen van de overlappende staven. De staven liggen excentrisch ten opzichte van elkaar. Bij het kritische detail is er excentriciteit aanwezig in zowel horizontale als verticale richting. In verticale richting is bij de overlappende staven in het kritische detail alleen een tralieligger aanwezig. Deze tralieligger omsluit niet de hoofdwapeningstaven in de prefab elementen, maar ligt er bovenop. De verankering (de inbedding) van de tralieligger in het prefab element is hierdoor gering. Hoeveel waarde van constructieve betekenis hieraan kan worden toegekend, is nog ongewis.

Het niet voldoen aan deze criteria wil op zich nog niet zeggen dat de constructie niet voldoet. De Nederlandse regelgeving laat altijd de mogelijkheid open langs andere weg aan te tonen dat voldoende veiligheid aanwezig is. Maar daarvan was in de onderhavige problematiek geen sprake.

### **Bestaande bouw**

Dan is er nog, wat genoemd wordt, het aspect van *bestaande bouw*. De methode voor het bereiken van constructieve veiligheid, zoals voorgaand is geschetst, geldt voor *nieuwbouw*. Maar wat als een bestaande constructie beoordeeld moet worden? Gelden dan dezelfde eisen, of mag de marge tussen aangetoonde sterkte en het effect van de aan te houden belasting wat minder zijn? Daar waar er vroeger alleen normen waren voor nieuwbouw, zijn er nu ook normen voor bestaande bouw en daarbij is het inderdaad toegestaan om met een enigszins lagere veiligheidsmarge en eventueel, afhankelijk van het gebruik, een iets lagere belasting te rekenen. In het stappenplan van 2017 [6] is daar ook van uitgegaan. Datzelfde geldt voor de

rekenregels voor de beoordeling van breedplaatvloeren in bestaande utiliteitsgebouwen [9], dat na uitvoerig onderzoek (literatuur, experimenteel en analytisch) in mei 2019 is uitgebracht (Stappenplan 2019).

### **Er is veel aan gedaan**

Kijkend naar de wijze waarop met de breedplaatvloerenproblematiek in de afgelopen drie jaar is omgegaan, zijn de auteurs van dit artikel van mening dat:

→ in september 2017 terecht, naar aanleiding van de bevindingen opgedaan na de gedeeltelijke instorting van de parkeergarage van Eindhoven Airport en op basis van toen beschikbare kennis, door het ministerie van BZK via een breed gedragen stappenplan, eigenaren is geadviseerd hun constructies met breedplaatvloeren te (laten) beoordelen;

→ met het daarna uitgevoerde onderzoek, en rekening houdende met de wijze waarop met constructieve veiligheid van constructies wordt omgegaan, de rekenregels voor de beoordeling van bestaande utiliteitsgebouwen, zoals vastgelegd in het Stappenplan 2019 [9], op dat moment (mei 2019) het meest haalbare was in het streven naar het zoveel mogelijk beperken van de economische schade met betrekking tot de reeds met breedplaatvloeren uitgevoerde gebouwen;

→ proefbelastingen, zoals beschreven in het stappenplan, geschikt zijn om voor afzonderlijke constructies voldoende constructieve veiligheid aan te tonen, maar dat het voortsnog zonder verder onderzoek niet verantwoord is om per individuele constructie eventueel gevonden aanwezige extra (additionele) sterktes, algemeen in de beoordelingen van de veiligheid te kunnen honoreren;

→ op basis van het bovenstaande ten aanzien van de constructieve veiligheid en de benodigde, aantoonbaar aanwezige, marge tussen belasting en sterkte, het met de gangbare wijze van beoordelen van constructies, nodig zal zijn om maatregelen te treffen bij diverse breedplaatvloeren in bestaande betonconstructies.

Kort samengevat, kan worden gesteld dat de auteurs van mening zijn dat de tot op heden beschikbare kennis optimaal is gebruikt bij: → de beoordeling van breedplaatvloeren in

bestaande utiliteitsgebouwen zoals in het Stappenplan 2019 [9] is beschreven, en  
→ in het zoeken naar wegen om de ontstane economische schade zoveel mogelijk en op een aanvaardbare wijze te beperken.

### Is er meer mogelijk?

Hoewel er tot op heden, binnen de grenzen die gelden met betrekking tot constructieve veiligheid, alles aan is gedaan om de economische schade te beperken, blijft de vraag bestaan of er toch niet meer mogelijk is. Meer specifiek is de vraag of het feit dat de zeer vele toegepaste breedplaatvloeren met belastingafdracht in twee richtingen geen problemen hebben laten zien, toch niet op een of andere manier in de veiligheidsbeschouwingen kan worden gehonoreerd. Recentelijk heeft TNO voorgesteld om daar, vanuit de kennis van de probabilistiek, een onderzoek naar uit te voeren. De eerste ruwe verkenning door TNO is bemoedigend, maar laat nog geen direct bruikbare conclusie toe. Daarvoor is het ook noodzakelijk dat de leveranciers van de betreffende vloersystemen en ingenieursbureaus informatie over de breedplaatvloeren beschikbaar stellen en dat zoveel mogelijk gegevens van de uitgevoerde proefbelastingen ter beschikking komen. Het onderzoek zal de nodige tijd in beslag nemen en tot welke resultaten dit precies leidt, is nog onduidelijk. Niets doen zo lang de resultaten van dit onderzoek nog niet beschikbaar zijn, is niet verantwoord.

### Nieuwbouw

Het bovenstaande betreft met name de bestaande gebouwen en richt zich voornamelijk op het 'kritische detail' en de aspecten gerelateerd aan de (buigende) veldmomenten. Wij leren ervan, dat de evoluerende toepassingen van breedplaatvloeren niet voldoende snel zijn getoetst op de bestaande inzichten, eisen, normen en aanbevelingen. Hier is een inhaalslag nodig, die zich niet beperkt tot het 'kritische detail', maar waarbij ook wordt gekeken naar mogelijke andere effecten van de breedplaatevoluitie, zoals:

- de weerstand van de breedplaatvloeren bij het kritische detail tegen steunpuntmomenten;
- de dwarskrachtcapaciteit in het algemeen

en bij kolomopleggingen in het bijzonder (pons);  
→ de benodigde verankering van de tralie-liggers;  
→ en mogelijk nog andere aspecten.

Op dit moment wordt daar, voor zover bekend, door de normcommissie 'Betonconstructies' aan gewerkt.

In zijn algemeenheid geldt dat het de sterke voorkeur heeft om bij (breed)plaatvloeren doorgaande wapening toe te passen en het aantal verbindingen, c.q. overlappingslasen, zoveel mogelijk te beperken. Indien verbindingen alsnog worden toegepast, dient de vereiste functionering ervan adequaat te worden aangetoond. De vigerende normen bieden hiertoe voldoende mogelijkheden en – indien gewenst – ook voldoende ruimte om hiervoor een experimenteel onderzoek aan te wenden daar waar opportuun. Bij het ontwerp en de uitvoering dient dan extra zorgvuldigheid in acht te worden genomen.

Ter afsluiting kan erop worden gewezen dat robuust ontwerpen (zij het niet altijd in kwantitatieve zin) ook een eis in de bouwvoorschriften is.

### Tot besluit

De auteurs hebben de verschillende uitgangspunten in dit artikel ter verificatie voorgesteld aan prof. ir. Simon Wijte (Adviesbureau ir. J.G. Hageman en TU Eindhoven) en ir. Gerrie Dieteren (TNO), gegeven de door hen in de afgelopen jaren uitgevoerde werkzaamheden op dit onderwerp. Prof.dr.ir. Raphaël Steenbergen (TNO en Universiteit Gent) is geraadpleegd betreffende het genoemde voorstel van TNO voor nader onderzoek. De auteurs bedanken deze heren voor hun bijdrage aan de beoogde zorgvuldigheid van dit artikel. ●

### LITERATUUR

- 1 Adviesbureau ir. J.G. Hageman, Onderzoek constructieve veiligheid breedplaatvloeren in bestaande utiliteitsgebouwen; Voorstellen voor en achtergronden bij rekenregels voor beoordeling van bestaande bouw. Rapport 9780-1-0, 20 mei 2019.
- 2 Gudmand-Høyer, T., Forsøh vedr. momentcapaciteten af en samling i BubbleDeck (vrij vertaald: Experimenten voor het bepalen van de momentcapaciteit van Bubbledeck platen) BYG-DTU SR-03-20. Technische Universiteit van Denemarken, december 2003.
- 3 Weglarzy, J.K., Untersuchungen zum Tragstoß von nachträglich mit ortbeton ergänzten zweischichtig gespannten stahlbeton-fergiteiplatten. Universiteit Siegen, 5 mei 2014.
- 4 Vrouwenvelder, A en A. Siemes, Probabilistic Calibration Procedure for the Derivation of Partial Safety Factors for the Netherlands Building Codes. *Heron*, Vol. 32 (1987) No. 4, blz. 9-29.
- 5 NEN-EN 1990-1-1, Eurocode 0: Grondslagen voor het constructief ontwerp. November 2019.
- 6 Adviesbureau ir. J.G. Hageman, Onderzoek constructieve veiligheid breedplaatvloeren in bestaande bouwwerken opgeleverd na 1999. Notitie 5 oktober 2017.
- 7 Van der Veen, C., J. Gijssbers en A. de Boer, Drukmembraanwerking; Effect van zijdelingse opsluiting van het dek bij omgekeerde T-liggers. *Cement* 2012/4, blz. 68-74.
- 8 NEN-EN 1992-1-1+C2, Eurocode 2: Ontwerp en berekening van betonconstructies - Deel 1-1: Algemene regels en regels voor gebouwen. November 2011.
- 9 Adviesbureau ir. J.G. Hageman, Stappenplan beoordeling bestaande gebouwen met breedplaatvloeren. Notitie 20 mei 2019.