



Onderzoek constructieve veiligheid breedplaatvloeren in bestaande bouwwerken opgeleverd na 1999

1 Inleiding

Op 27 mei 2017 is een deel van een in aanbouw zijnde parkeergarage van Eindhoven Airport ingestort. Uit onderzoek naar de oorzaak van die instorting blijkt, dat vloeren die zijn uitgevoerd met breedplaten in bepaalde gevallen onveilig kunnen zijn¹. Hierdoor is de vraag ontstaan of bestaande bouwwerken met breedplaten wel voldoende veilig zijn. Het voorliggende document geeft een methode om van een afzonderlijk bouwwerk het veiligheidsrisico te bepalen.

De reikwijdte van dit document is beperkt tot bouwwerken waarbij het grootste veiligheidsrisico wordt gezien. Dit betreft bouwwerken die zijn opgeleverd na 1999. Woningen en woongebouwen vallen vanwege de opbouw van de constructie hier buiten. Dit geldt niet voor meerlaagse constructies voor parkeergarages, winkels en dergelijke onder een woongebouw.

Door middel van het stappenplan in hoofdstuk 2 kan van een bouwwerk worden bepaald dat:

- (1) er geen veiligheidsrisico is;
- (2) er een mogelijk veiligheidsrisico is maar vooralsnog geen directe maatregelen nodig zijn, of
- (3) er een urgent veiligheidsrisico is waarbij direct maatregelen genomen moeten worden.

Voor situatie (2) geeft dit document nog geen methode om tot een definitief oordeel te komen omdat het inzicht in de constructieve eigenschappen nog onvoldoende is. Daarvoor moet namelijk voor verschillende configuraties nog aanvullend experimenteel onderzoek worden uitgevoerd naar de afschuifsterkte tussen breedplaat en ter plaatse gestorte betonnen druklaag. Naar verwachting wordt dit onderzoek op korte termijn uitgevoerd. Na afronding hiervan zal dit document worden aangepast en kan ook voor die situaties een definitieve beoordeling plaatsvinden.

In hoofdstuk 3 is op hoofdlijnen ingegaan op de maatregelen die kunnen worden getroffen als uit onderzoek bij een gebouw blijkt dat er sprake is van een urgent veiligheidsrisico.²

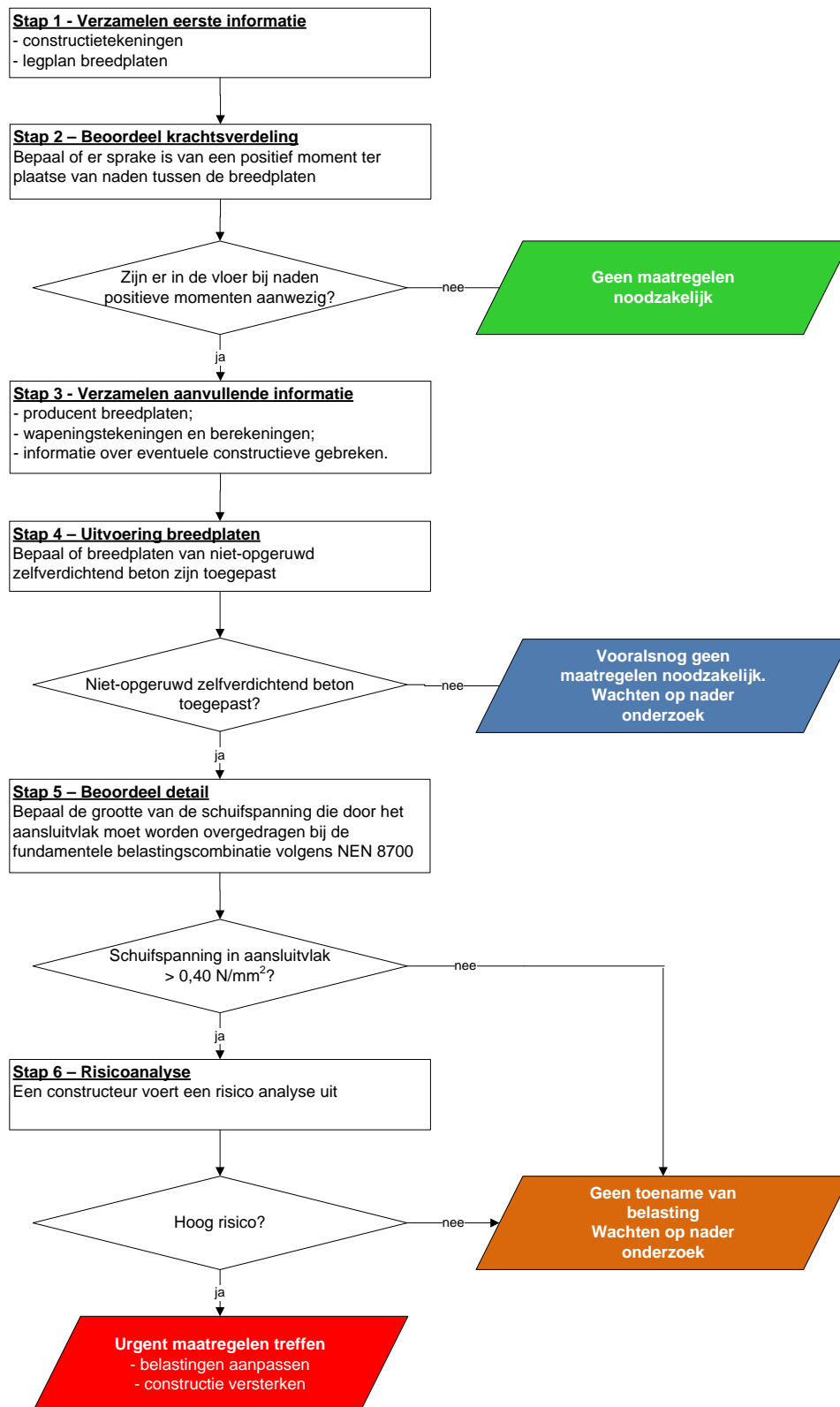
¹ Het onderzoek naar de instorting bij Eindhoven Airport is beschreven in Hageman rapport 9663-1-0 en TNO-rapport TNO 2017 R11127.

² Deze notitie tot stand is gekomen na ruggespraak met vertegenwoordigers van COBC, TNO, AB-FAB, het Rijksvastgoedbedrijf, VN-Constructeurs en Bouwend Nederland

2 Stappenplan onderzoek breedplaatvloeren in bestaande gebouwen

2.1 Algemeen

Voor het beoordelen van de constructieve veiligheid van constructies waarin breedplaatvloeren zijn toegepast, is een stappenplan opgesteld. Dit stappenplan is weergegeven in figuur 1. In paragraaf 2.2 is het stappenplan toegelicht. Er wordt geen onderscheid gemaakt tussen breedplaatvloeren met en zonder gewichtsbesparende elementen.



figuur 1 Stappenplan voor het onderzoek naar constructieve veiligheid van breedplaatvloeren.

2.2 Beschrijving en toelichting stappenplan

Hierna is het stappenplan nader beschreven en zijn de keuzes toegelicht.

Stap 1 – Verzamelen eerste informatie

Informatie over het bouwjaar van het gebouw en over het eventueel aanwezig zijn van breedplaatvloeren in het gebouw kan worden ontleend aan de tekeningen van de constructie en meer specifiek het legplan van de breedplaten. Als deze tekeningen niet in het bezit zijn van de eigenaar van het gebouw, kunnen zij mogelijk worden gevonden in het archief van de gemeente, aannemer of constructeur.

Of breedplaatvloeren zijn toegepast en de wijze waarop, kan ook worden bepaald met een observatie in het gebouw. Bij het gebruik van breedplaatvloeren is aan de onderzijde van de vloer vaak een naad zichtbaar die zich op een hart-op-hart-afstand van 2,4 meter of meer bevindt (zie foto 1). Bij een hart-op-hart-afstand tussen de naden van 1,2 meter is er in het algemeen sprake van een kanaalplaatvloer. Als er geen naden zichtbaar zijn en de vloer is aan de onderzijde niet voorzien van stucwerk, dan is de vloer geheel ter plaatse gestort.



foto 1 Voorbeeld van de voegen h.o.h. 2,4 m. tussen breedplaten aan de onderzijde van een breedplaatvloer

Stap 2 – Beoordeel de krachtsverdeling

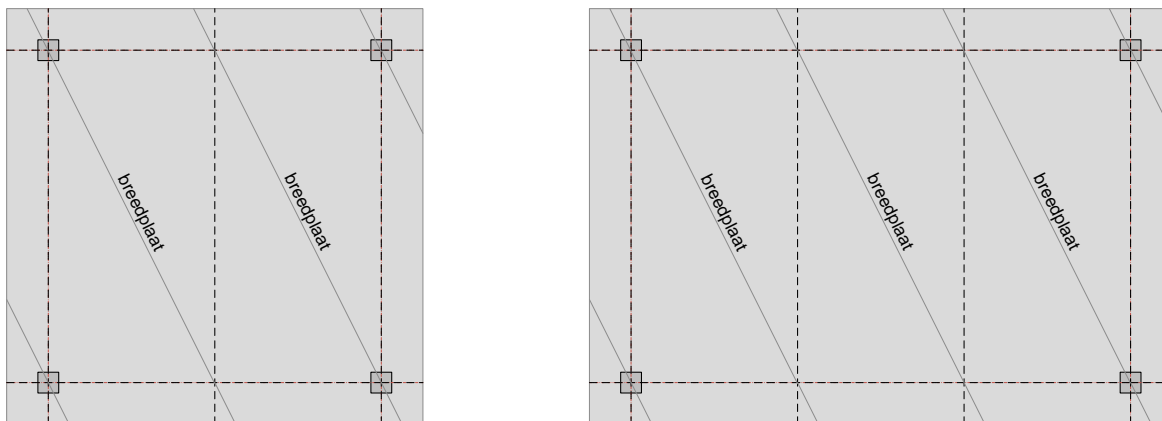
Nagegaan moet worden of er in de breedplaatvloeren, ter plaatse van een naad tussen twee breedplaten sprake is van een positief moment dat veroorzaakt wordt door de primaire krachtsafdracht. Met de aanwezigheid van een primaire krachtsafdracht wordt bedoeld dat de grootte van de momentensom in de beschouwde richting niet kan worden verkleind door een herverdeling van de belastingsafdracht zodat de momentensom in de andere richting zal toenemen.

In het geval de afzonderlijke breedplaten aan beide uiteinden direct dragen op dragende wanden of betonnen liggers zal geen sprake zijn van positieve momenten ter plaatse van naden ten gevolge van de primaire krachtsafdracht. In alle andere gevallen, bijvoorbeeld wanneer de breedplaten afdragen op kolommen, eventueel via verstijfde vloerstroken of stalen liggers, moet een constructeur

bepalen of er sprake is van positieve momenten ter plaatse van naden en eventueel de grootte ervan bepalen.

Voorbeelden van breedplaatvloeren waarbij een positief moment bij een naad tussen twee breedplaten kan optreden, zijn:

- Puntvormig ondersteunde vloeren waarbij sprake is van een primaire krachtafdracht in twee richtingen (figuur 2);
- Lijnvormig ondersteunde vloeren met een naad in het midden van de overspanning, waarbij de naad evenwijdig aan de lijnvormige ondersteuning loopt;
- Speciale situaties, bijvoorbeeld in de buurt van een grote sparing in de vloer.



figuur 2 Puntvormig ondersteunde vloeren waarbij een significant positief moment bij een plaatnaad kan optreden. De stippellijnen geven de naden weer tussen de afzonderlijke breedplaten.

Toelichting:

Uit het uitgevoerde onderzoek voor de parkeergarage bij Eindhoven Airport, blijkt dat bij een breedplaatvloer onvoldoende constructieve veiligheid aanwezig kan zijn als er ter plaatse van een naad tussen twee breedplaten, ten gevolge van de primaire krachtafdracht, een positief moment aanwezig is.

Stap 3 – Verzamelen van aanvullende informatie

Verzamel de beschikbare, aanvullende informatie van de breedplaatvloer, zoals wapeningstekeningen, berekeningen en eventuele gegevens over constructieve gebreken of aanpassingen die in het verleden hebben plaatsgevonden.

Aangezien het onderzoek zich richt op relatief jonge constructies, is de kans groot dat bij de producent van de breedplaatvloeren, de gemeente, de (hoofd)constructeur en/of de (hoofd)aannemer informatie over de vloerconstructie aanwezig is.

Aanbevolen wordt de beschikbaar gekomen informatie van de breedplaatvloeren zodanig te archiveren, dat dit in de toekomst snel kan worden geraadpleegd als uit aanvullend onderzoek blijkt dat ook andere situaties dan genoemd in het voorliggende document, kritisch kunnen zijn met betrekking tot de constructieve veiligheid.

Stap 4 – Uitvoering breedplaten

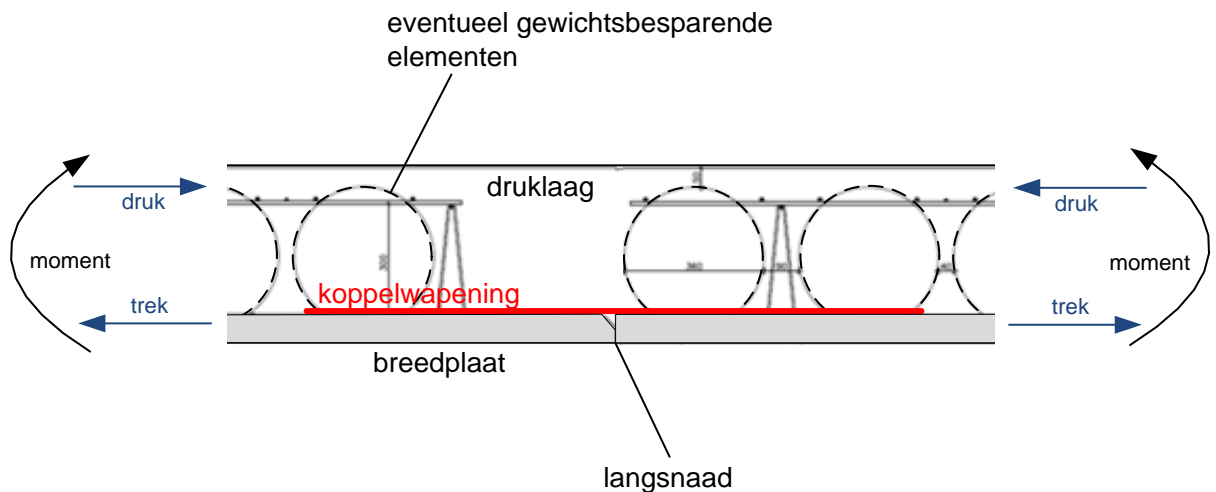
Controleer met de beschikbare informatie of de vloer is uitgevoerd met zelfverdichtend beton zonder opruwing. Of zelfverdichtend beton is toegepast en of dat is opgeruwd, is waarschijnlijk niet terug te vinden op de tekeningen van de vloer. De producent van de toegepaste breedplaten kan hierover mogelijk wel nadere informatie verstrekken. Hierover kan contact worden opgenomen met de producent of de aannemer. Op het moment dat niet kan worden uitgesloten dat zelfverdichtend beton zonder opruwing is toegepast, moet ervan worden uitgegaan dat dit is toegepast. Als geen zelfverdichtend beton zonder opruwing is toegepast, worden vooralsnog geen constructieve maatregelen noodzakelijk geacht.

Toelichting:

De instorting van de parkeergarage bij Eindhoven Airport betrof een vloerconstructie met breedplaten vervaardigd met zelfverdichtend beton. Deze vloerconstructie is door middel van onderzoek in het Structures Laboratory van de TU/e onderzocht. Hieruit kwam naar voren dat de schuifsterkte van het aansluitvlak tussen de breedplaat en de ter plaatse gestorte druklaag relatief laag was. Aangenomen wordt dat dit veroorzaakt is door de toepassing van zelfverdichtend beton voor de breedplaten en het achterwege laten van enige vorm van opruwen van de bovenzijde van de breedplaten. Eerdere proeven met breedplaten van normaal grindbeton die niet zijn opgeruwd, leidden tot 2,5 à 3 maal hogere schuifsterkten in het aansluitvlak. Uit het in hoofdstuk 1 genoemde nog uit te voeren experimentele onderzoek zal een meer uitgebreide beschrijving van de constructieve eigenschappen van het aansluitvlak bij diverse configuraties volgen.

Stap 5 – Beoordeel het detail

In het geval een positief moment ter plaatse van een breedplaatnaad moet worden overgedragen, moet worden beoordeeld of de trekkracht, die in de wapening van de breedplaat aanwezig is, via koppelwapening die op de breedplaat ligt, naar de wapening in de breedplaat aan de andere zijde van de naad kan worden overgebracht. Daarbij moet worden getoetst of de schuifspanning in het aansluitvlak tussen de breedplaat en de druklaag niet een bepaalde grenswaarde overschrijdt. In een breedplaatvloer kan sprake zijn van langsnaden en kopnaden. De situatie voor een langснаad is toegelicht in figuur 3.



figuur 3 Een door een positief moment veroorzaakte trekkracht in de breedplaten die via in de druklaag opgenomen koppelwapening moet worden overgebracht.

Toelichting:

Een vergelijkbare situatie als bij een langснаad kan ook optreden bij een kopnaad tussen twee breedplaten. De tralieliggers die de breedplaat en de opstort met elkaar verbinden zullen in dat geval in de andere richting lopen en zich ook dichterbij de plaatnaad bevinden. Naar verwachting is deze situatie minder kritisch, maar omdat hierover nog maar weinig bekend is, wordt bij stap 5 vooralsnog geen onderscheid gemaakt tussen langsnaden en kopnaden.

In de beschouwde vloer moet het positieve moment ter plaatse van de naad door een constructeur worden bepaald bij de maatgevende fundamentele belastingscombinatie volgens NEN 8700, niveau bestaande bouw. Vooralsnog wordt geadviseerd hierbij geen herverdeling toe te passen waarbij de negatieve momenten toenemen en de veldmomenten afnemen. Uit dit moment kan de trekkracht in de koppelwapening die op de breedplaat is aangebracht, worden bepaald.

De gemiddelde schuifspanning in het beschreven deel van het aansluitvlak kan worden bepaald door de kracht die benodigd is in de koppelwapening te delen door een oppervlak dat gelijk is aan het product van de verankeringslengte en de breedte waarover de koppelwapening beschouwd is. Hierbij hoeft verder geen reductie voor eventueel aanwezige gewichtsbesparende elementen in rekening te zijn gebracht als de reductie van het aansluitvlak hierdoor niet groter is dan 20%. In andere gevallen zal moeten worden nagegaan of een reductie toegepast moet worden, waarbij het een veilige benadering is door de breedte b te baseren op de breedte van het beton tussen de gewichtsbesparende elementen ter hoogte van het aansluitvlak.

$$v_{Ed,gem} = F_{Esd} / A_v$$

waarin:

- $v_{Ed,gem}$ is de gemiddelde schuifspanning die in het oppervlak van het aansluitvlak aanwezig is;
- F_{Esd} is de trekkracht in de koppelwapening ten gevolge van het beschouwde moment;
- A_v is het oppervlak van het aansluitvlak;
 $= l_b \cdot b$
- l_b is de aanwezige verankeringslengte van de koppelwapening boven de beschouwde breedplaat, maar niet groter dan de $50\varnothing$;

b is de breedte waarover de beschouwde koppelwapening aanwezig is.

Als in het aansluitvlak tussen het ter plaatse gestorte beton en de breedplaat, ter plaatse van het oppervlak tussen de koppelwapening en de wapening in de breedplaat bij de bovengenoemde belastingcombinatie de gemiddelde schuifspanning ten gevolge van de overdracht van de trekkracht naar de wapening in de breedplaat, groter is dan $0,40 \text{ N/mm}^2$ dan is de constructieve veiligheid niet zonder meer gewaarborgd. Dit wil niet zeggen dat er mogelijk sprake is van een gevaarlijke situatie, maar er moet dan wel zo spoedig mogelijk een risicoanalyse worden uitgevoerd volgens stap 6. Als de schuifspanning de grenswaarde van $0,40 \text{ N/mm}^2$ niet overschrijdt, worden vooralsnog geen constructieve maatregelen noodzakelijk geacht. Aanvullend onderzoek moet nog aantonen of hiermee uiteindelijk het veiligheidsniveau voor bestaande bouw wordt aangetoond.

Geadviseerd wordt om ook bij niet overschrijden van voornoemde grenswaarde bij breedplaten met zelfverdichtend beton en niet nabewerkt oppervlak vooralsnog een toename van de belasting onder dagelijks gebruik te vermijden.

Toelichting:

De grenswaarde van $0,40 \text{ N/mm}^2$ is gebaseerd op de schuifsterkte die is gevonden bij het onderzoek naar de instorting bij Eindhoven Airport. Op dit moment wordt ervan uitgegaan dat het een conservatieve waarde betreft. Bij andere samenstellingen van beton – dus ook bij andere mengsels voor zelfverdichtend beton – zouden mogelijk hogere waarden gevonden kunnen worden. De komende tijd zal experimenteel onderzoek worden uitgevoerd om de daadwerkelijke schuifsterkte van verschillende configuraties van betonmengsels en afwerking van de bovenzijde van de breedplaten te bepalen. Als uit dat onderzoek blijkt, dat de rekenwaarde van de schuifsterkte daadwerkelijk hoger is dan $0,40 \text{ N/mm}^2$ dan kan definitief worden geconcludeerd dat de vloeren veilig zijn. Een vloer is voldoende veilig als deze voldoet aan het veiligheidsniveau uit NEN 8700 voor bestaande bouw. Als de rekenwaarde van de schuifsterkte lager blijkt te zijn dan de grenswaarde van $0,40 \text{ N/mm}^2$, dan moet de vloer mogelijk worden versterkt.

Bij de onderzochte vloer was door het toepassen van gewichtsbesparende elementen sprake van een reductie van het effectieve aansluitvlak van circa 20%. Bij de onderzochte variaties is geen invloed gevonden van het wel of niet aanwezig zijn van gewichtsbesparende elementen in het aansluitvlak.

Stap 6 – Risicoanalyse:

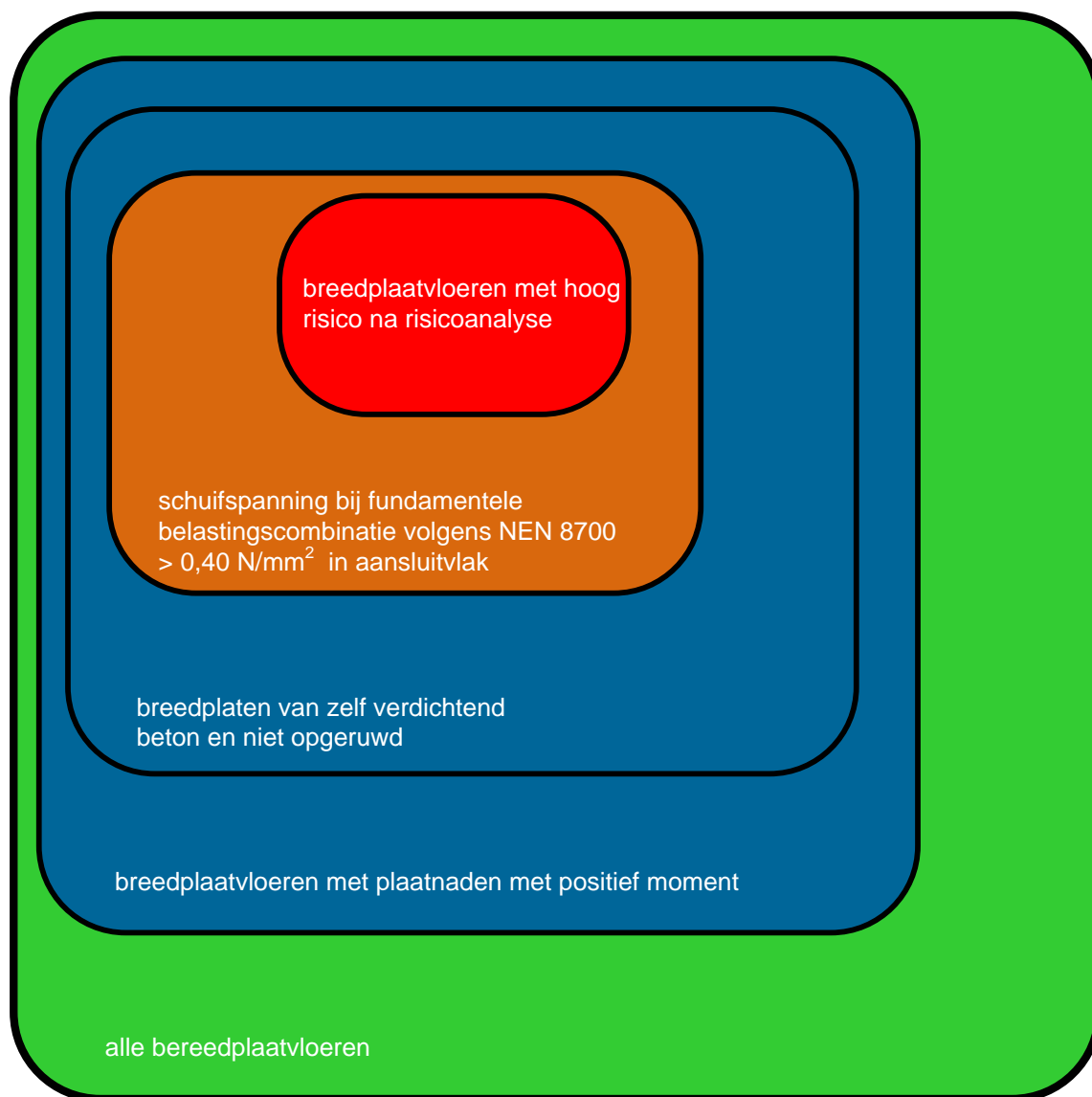
Het uitvoeren van een risicoanalyse is maatwerk. Het maatwerk betreft vooral het waarderen van de diverse zaken en argumenten die hierin worden beschouwd. Deze waardering zal per situatie en per constructeur anders kunnen zijn. De risicoanalyse moet worden uitgevoerd en gerapporteerd door een ter zake kundig constructeur. Als deze op basis van de risicoanalyse concludeert dat er sprake is van een hoog risico moeten er urgent maatregelen worden genomen zoals staan in hoofdstuk 3.

Bij het uitvoeren van een risicoanalyse kunnen onder andere de volgende zaken worden beschouwd:

- Wat is het niveau van de schuifspanningen als de quasi permanente belastingscombinatie volgens NEN-EN 1990 wordt beschouwd in de situatie waarbij de veranderlijke belastingen bij de daadwerkelijke gebruiksfunctie worden beschouwd. Als de gemiddelde schuifspanningen hoger zijn dan $0,4 \text{ N/mm}^2$ is er sprake van een hoger risico;
- Is er sprake van een dynamische of een quasi statische veranderlijke belasting. Bij een dynamische belasting, zoals in een parkeergarage of een evenementruimte, is sprake van een hoger risico;
- Wat is de belastingshistorie van de beschouwde vloer/constructie. Zijn er in het verleden, bijvoorbeeld tijdens de bouw, al hogere belastingen op de vloer uitgeoefend. Als dat het geval is en het gebruik is zodanig beperkt dat dat belastingsniveau niet wordt overschreden, is er sprake van een lager risico;
- Is bekend met welk beton de breedplaten zijn vervaardigd. Als dit dezelfde betonmortel betreft als waarmee de platen voor de parkeergarage in Eindhoven betreft, is sprake van een hoger risico;
- Als ter plaatse van de naad scheurvorming optreedt zal de verdeling van de momentensom tussen veld- en steunpuntsmomenten wijzigen. Als de constructie de capaciteit heeft om deze herverdeling op te nemen is er sprake van een lager risico;
- Beschouw bij een observatie ter plaatse of er sprake is van overmatige scheurvorming bij de steunpunten, een relatief grote doorbuiging bij de beschouwde overspanningen en/of een openstaande naad bij of een verticale verschuiving tussen twee aansluitende breedplaten, dit kan duiden op een hoger risico;
- Is de kritische naad een kopnaad of een langsnaad. Bij een kopnaad is er vanwege de verwachte aanwezigheid van de tralieliggers sprake van een lager risico;
- Bepaal binnen 200 mm vanaf een kritische naad of er sprake is van delaminatie tussen de breedplaat en de ter plaatse gestorte druklaag. Dit is mogelijk middels niet-destructief onderzoek of door het maken van een boorgat in combinatie met een observatie via een endoscoop. Als er sprake is van delaminatie is er sprake van een hoger risico;
- Is het mogelijk om regelmatig observaties uit te voeren om na te gaan of er wijzigingen in het constructief gedrag optreden. Als dit goed mogelijk is en daadwerkelijk wordt gedaan, is er sprake van een lager risico;
- Is het mogelijk om een proefbelasting uit te voeren. Na het uitvoeren van een proefbelasting volgens NEN 8700 is er sprake van een lager risico;
- Bepaal hoe de constructie zich zal gedragen in het geval de weerstand ter plaatse van de naad geheel terugvalt naar 0. Als de stabiliteit gewaarborgd blijft en er een alternatieve belastingsafdracht mogelijk is, bijvoorbeeld via toename van steunpuntsmomenten (let op voldoende lengte bovenwapening) of membraamwerking, is er sprake van een lager risico.

3 Maatregelen

In figuur 4 is schematisch weergegeven in welke gevallen geen (groen) of voorlopig geen maatregelen (blauw) noodzakelijk worden geacht. De deelverzameling van breedplaatvloeren waarvoor urgent maatregelen noodzakelijk worden geacht, is in rood weergegeven. Daar waar geen toename van belasting moet worden aangehouden, is als oranje weergegeven.



figuur 4 Schematische weergave van de (deel)verzamelingen van breedplaatvloeren waarvoor geen maatregelen, voorlopig geen maatregelen, belastingsbeperking en urgent maatregelen noodzakelijk worden geacht (respectievelijk in groen, blauw, oranje en rood).

Er moet onderscheid worden gemaakt tussen tijdelijke maatregelen en definitieve maatregelen. Tijdelijke maatregelen moeten zo spoedig mogelijk worden genomen als uit stap 6 blijkt dat sprake is van een hoog risico. Tijdelijke maatregelen kunnen zijn:

- Het tijdelijk verlagen van belastingen op de vloer. In de praktijk kan dit betekenen dat de ruimte onder en/of op de onveilige vloer moet worden ontruimd;
- Of het (plaatselijk) stempelen van de vloer. Als daarbij op een eronder aanwezige vloer wordt gestempeld, moet worden nagegaan of die vloer in staat is de stempelbelasting te dragen.

Nadat tijdelijke maatregelen zijn genomen, zijn definitieve maatregelen waarmee wordt voldaan aan het veiligheidsniveau in NEN 8700 noodzakelijk. Omdat al sprake is van een hoog risico, zal op basis van de kennis die op dit moment beschikbaar is, altijd een versterking noodzakelijk zijn. Versterkingsmaatregelen voor deze specifieke situatie zijn nog in ontwikkeling. Er zijn reeds positieve resultaten bereikt met lijmanen die vanaf de onderzijde van de vloer door het oppervlak van het kritische deel van het aansluitvlak worden aangebracht en die voldoende zijn verankerd in de ter plaatse gestorte druklaag en middels een moer en een volgplaat voldoende zijn verankerd onder de breedplaat.

Rijswijk, 5 oktober 2017



prof. ir. S.N.M. Wijte



ir. J.J. Meester