



Praktijkervaring met stappenplan uit informatiedocument inclusief risicoanalyses

Risicoanalyse breedplaatvloeren

Naar aanleiding van de instorting van de parkeergarage bij Eindhoven Airport moeten diverse andere gebouwen worden beoordeeld. Met een risicoanalyse kunnen constructeurs daarbij tot een gewogen oordeel komen. In dit artikel worden ervaringen met dergelijke analyses gedeeld.

In oktober 2017 kwam de notitie 'Onderzoek constructieve veiligheid breedplaatvloeren in bestaande bouwwerken opgeleverd na 1999' (het 'informatiedocument' [1]) uit en in december van dat jaar volgde de 'Toelichting op informatiedocument beoordeling constructieve veiligheid breedplaatvloeren' [2]. Belangrijk in de notities is een stappenplan (fig. 1, 2). Inmiddels zijn vele gebouwen op basis hiervan beoordeeld.

Stap 1 t/m 4

Bij de eerste vier stappen in het stappenplan is het van belang dat de oorspronkelijke berekeningen en tekeningen van de breedplaatvloer uit de archieven van de gebouweigenaar, opdrachtgever, constructief adviseur, vloerleverancier en/of gemeente worden opgehaald.

Aan de hand van het uitgevoerde legplan en bijbehorende berekening is in stap 2 te beoordelen of er positieve momenten ter plaatse van de naden aanwezig zijn. Veelal is dit het geval bij een in twee richtingen overspannende breedplaatvloer waarbij geen aanvullende voorzieningen zijn getroffen.

De volgende belangrijke stap is het beoordelen van de productie van de breedplaatvloer. Hierbij moet een antwoord worden gegeven op de vraag of de breedplaatvloer is geproduceerd met zelfverdichtend beton zonder opruwen. De meeste vloerleve-

ranciers hebben deze informatie online gedeeld (<https://handboek-prefab-beton.betonhuis.nl/algemeen-prefab/breedplaat--zelfverdichtend-beton>).

Veel situaties met in één richting overspannende breedplaatvloeren zullen in stap 2 worden ingedeeld in het groene vak, 'Geen maatregelen noodzakelijk'. Deze vloeren behoeven verder geen aandacht.

Een gedeelte van de breedplaatvloeren zullen na stap 2 verder afdalen in het stroomschema. De vloeren die in stap 4 worden beoordeeld met een 'nee', zijn breedplaatvloeren die niet zijn gerealiseerd met zelfverdichtend beton zonder opruwen. Deze breedplaatvloeren zijn ingedeeld in het blauwe vak, 'Vooralsnog geen maatregelen noodzakelijk. Wachten op nader onderzoek'. Op dit moment loopt er een onderzoek in opdracht van het ministerie van BZK. De resultaten van dit nog te publiceren onderzoek zullen een richting moeten geven of er aanvullende maatregelen of vervolgstappen noodzakelijk zijn. Op het moment van schrijven van dit artikel is deze informatie nog niet beschikbaar.

Stap 5

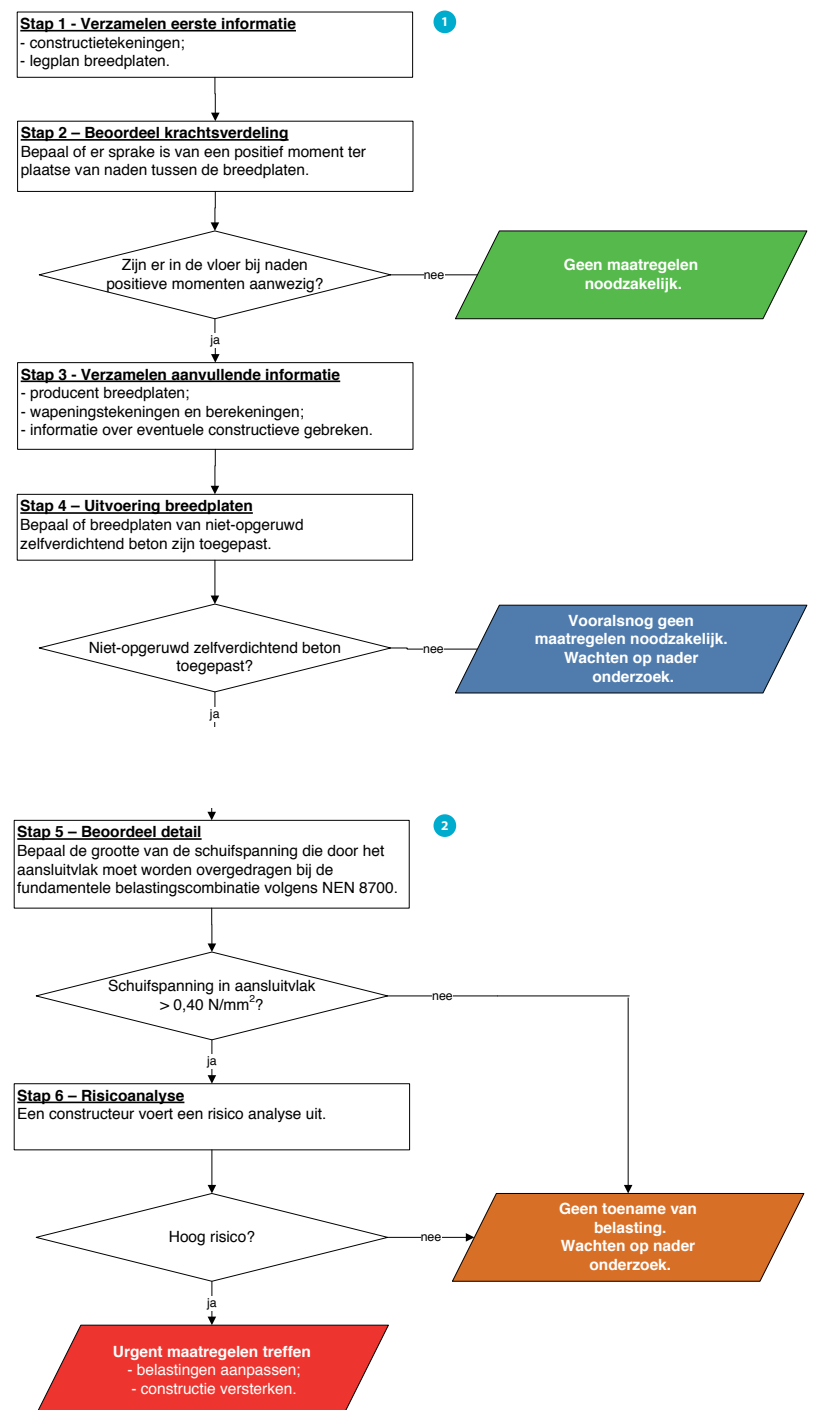
Helaas is er ook een aantal vloeren die wel voldoen aan de vraag 'Niet-opgeruwd zelfverdichtend beton' (stap 4). Deze vloeren moeten verder worden meegenomen naar stap 5 (fig. 2).

In stap 5 van het stroomschema begint het werk voor de constructeur pas echt. In deze stap moet de schuifspanning ter plaatse van de naden worden bepaald. Hiervoor wordt in de toelichting op het informatiedocument achtergrondinformatie gegeven hoe deze spanningen zijn te bepalen. Aan de hand van deze toelichting hebben wij op basis van de wapeningsdiameter een spreadsheet gerealiseerd, waarmee de grenswaarden kunnen worden bepaald (fig. 3).

Schuifspanning

Bij het beoordelen van het vloersysteem waarbij gewichtsbesparende elementen worden gebruikt, is het van belang te weten hoeveel procent van de brutodoorsnede van het afschuifvlak wordt ingenomen door de gewichtsbesparende elementen. In situaties waar de gewichtsbesparende elementen kort langs de rand van de breedplaat-schil voorkomen, ontstaat snel een situatie waarmee het bruto-oppervlak meer wordt gereduceerd dan 20%. In die situaties reduceren wij de toelaatbare schuifspanning recht evenredig met het verminderde brutovloeroppervlak. In het voorbeeld van de spreadsheet in figuur 3 is bij wapeningsconfiguratie A de reductie ten gevolge van de gewichtsbesparende elementen groter dan 20%, namelijk $(100\% - 69,6\%) = 30,4\%$. De toelaatbare schuifspanning wordt hier gereduceerd naar $(0,40 \times 69,6\% / 80\%) = 0,348 \text{ N/mm}^2$.

Voor de controle van de maximaal toelaatbare schuifspanning kunnen de gegevens van de deelconstructeur van de breedplaatvloeren worden gebruikt. Vanuit die detailberekeningen zijn de figuren met de berekende wapeningsbenodigdheden te gebruiken. Dit is veelal een aantal figuren met wapening in de breedplaatvloer in twee verschillende richtingen. Voor de controle van de schuifspanning ter plaatse van een naad wordt de gekozen koppelwapening gebruikt.



Algemene gegevens project

Bollen bol $\varnothing 270$ **wapening** B500 d_1 295 mm, hoogte wapening in schil tot bovenzijde vloer
 diepte in schil (k) 30 mm f_{yd} 435 N/mm² d_2 260 mm, hoogte wapening op schil tot bovenzijde vloer
 A bol 22619 mm² tov bovenzijde schil

eis, $I_b \leq 50 \times \varnothing$

factoren verg.	6.10b				6.16b	
	NEN EN 1990		NEN 8700 afkeur		Quasi permanent	
gevolgklasse	γ_{G1}	$\gamma_{Q,1}$	γ_{G1}	$\gamma_{Q,1}$	γ_{G1}	$\gamma_{Q,1}$
CC2	1,20	1,50	1,10	1,15	1,00	1,00

referentieperiode 15 jaar
 basis referentieperiode 100 jaar

Berekening

wapening configuratie voegnet	A	B	C
	$\varnothing 12 - 167$ $\varnothing -$	$\varnothing 10 - 150$ $\varnothing -$	$\varnothing 12 - 150$ $\varnothing -$
toelaatbare schuifspanning $V_{Ed,gem}$	0,348 N/mm ²	0,400 N/mm ²	0,378 N/mm ²
$V_{Ed,gem} = F_{Eds} / A_{v,brutto}$ $F_{Eds} = A_{1,op\ schil} \cdot f_{yd} \cdot b_x$ $A_{1,in\ schil} = A_{1,op\ schil} \cdot d_2 / d_1$ $A_{1,in} = 1000 \times \frac{V_{Ed,gem} \times A_{v,brutto} \times d_2}{f_{yd} \times b_x \times d_1}$	423 mm ² /m	405 mm ² /m	460 mm ² /m
stap 5 (wapeningconfiguratie in plaat) $A_{sber,5} = A_{1,in} / f_5$	566 mm ² /m	542 mm ² /m	615 mm ² /m
stap 6 (wapeningconfiguratie in plaat) $A_{sber,6} = A_{1,in} / f_6$	676 mm ² /m	647 mm ² /m	734 mm ² /m
Gebruikte gegevens			
h.o.h afstand bollen L koppelwapening (b_x)	333 mm	300 mm	300 mm
h.o.h afstand bollen // koppelwapening (b_y)	200 mm	333 mm	333 mm
randafstand hart 1 ^o bol // koppelwapening (c_y)	175 mm	200 mm	200 mm
koppelwapening volgens tekening diameter h.o.h 1/2 lengte (= l_a)	$\varnothing 12$ 167 625	$\varnothing 10$ 150 575	$\varnothing 12$ 150 625
aanwezige wapening	677 mm ² /m	524 mm ² /m	754 mm ² /m
gewogen staafdiameter (\varnothing_{km}) $l_b = \min(50 \cdot \varnothing_{km} \text{ of } \max l_a)$	$\varnothing 12$ 600 mm	$\varnothing 10$ 500 mm	$\varnothing 12$ 600 mm
aantal bollen // koppelstaaf $r_a = \frac{[0,5\varnothing_{bol}^2 - (0,5\varnothing_{bol} - k)]^{0,5}}{g}$	84,9 mm 2,68	84,9 mm 1,26	84,9 mm 1,94
$A_{v,bruto} = l_b \cdot b_x$ $A_{v,netto} = A_{v,bruto} - g \cdot A_{bol}$	199800 mm ² 139071 mm ²	150000 mm ² 121527 mm ²	180000 mm ² 136029 mm ²
reductie ten gevolge van bollen $= A_{netto} / A_{bruto}$	69,6%	81,0%	75,6%
NEN EN 1990			
belastingen ontwerpfase (uit oorspronkelijke berekening)	$g_{k,0}$ (per) = 8,50 kN/m ² $q_{k,0}$ (ver) = 5,00 kN/m ²	$g_{k,0}$ (per) = 8,50 kN/m ² $q_{k,0}$ (ver) = 5,00 kN/m ²	$g_{k,0}$ (per) = 8,50 kN/m ² $q_{k,0}$ (ver) = 5,00 kN/m ²
$\psi_0 = 0,6$ $\psi_2 = 0,6$ $\psi_1 = 0,92$ $\varphi_t = 1 + \left(\frac{1 - \psi_0}{9}\right) \ln\left(\frac{t}{t_0}\right)$			
NEN 8700			
belastingen aanwezig (huidig gebruik)	$g_{k,a}$ (per) = 8,20 kN/m ² $q_{k,a}$ (ver) = 4,00 kN/m ²	$g_{k,a}$ (per) = 8,20 kN/m ² $q_{k,a}$ (ver) = 4,00 kN/m ²	$g_{k,a}$ (per) = 8,20 kN/m ² $q_{k,a}$ (ver) = 4,00 kN/m ²
reductiefactor NEN 8700 $f_5 = \frac{(\gamma_{G1} \times g_{k,a} + \gamma_Q \times \varphi_2 \times q_{k,a}) (NEN8700)}{\gamma_{G1} \times g_{k,0} + \gamma_Q \times q_{k,0} (NEN EN 1990)}$	0,75	0,75	0,75
Quasi permanente belastingcombinatie			
belastingen aanwezig (huidig gebruik)	$g_{k,q}$ (per) = 8,20 kN/m ² $q_{k,q}$ (ver) = 3,00 kN/m ²	$g_{k,q}$ (per) = 8,20 kN/m ² $q_{k,q}$ (ver) = 3,00 kN/m ²	$g_{k,q}$ (per) = 8,20 kN/m ² $q_{k,q}$ (ver) = 3,00 kN/m ²
reductiefactor Quasi Permanente belastingcombinatie $f_6 = \frac{\gamma_{G1} \times g_{k,q} + \gamma_Q \times \varphi_2 \times q_{k,q} (Quasi)}{\gamma_{G1} \times g_{k,0} + \gamma_Q \times q_{k,0} (NEN EN 1990)}$	0,63	0,63	0,63

In het voorbeeld in figuur 3 wordt de benodigde wapening in de breedplaatschil bepaald. Dit aan de hand van de toegepaste koppelwapening en de maximaal toelaatbare schuifspanning. Hierbij wordt uiteraard gebruikgemaakt van de toelaatbare reducties conform het informatiedocument. Hierdoor zitten er in de spreadsheet een aantal variabelen, die, afhankelijk van de situatie, voor extra reductie kunnen zorgen.

In de spreadsheet worden verder de uitgangspunten vanuit het ontwerp van de breedplaatvloer meegenomen, zoals:

- gevolgklasse van het gebouw en bijbehorende basisreferentieperiode;
- inwendige hoogte van de wapening in de breedplaatvloer en de koppelwapening op de breedplaat;
- aangehouden permanente en veranderlijke belasting met bijbehorende momentaanfactoren.

Belastingen

Voor het gebruik van de spreadsheet is het van belang te weten of bij de gemaakte detailberekening ten tijde van het ontwerp gebruik is gemaakt van alleen gelijkmatig verdeelde belastingen. Bij veel lokale lijn- en puntlasten is het noodzakelijk om ofwel het model van de vloer te reproduceren ofwel de eerdere detail-constructeur in te schakelen om de vloer her te berekenen op basis van een eventuele reductie van de permanente of veranderlijke belasting en volgens het afkeurniveau uit NEN 8700.

Voor het reduceren van de permante en veranderlijke belasting is het van belang dat het huidig gebruik bekend is. Zo kwam het in een aantal situaties voor dat ten tijde van de realisatie van het gebouw de afwerking op de vloer is gewijzigd of dat de veranderlijke belasting hoger was dan volgens de norm noodzakelijk is. Een voorbeeld hiervan is een kantoorpand waarbij in het oorspronkelijke ontwerp nog is uitgegaan van een verdiepingvloer met gangen en kantoorkamers met een veranderlijke belasting van 4,0 kN/m². Deze vloer was inmiddels gewijzigd naar een kantoorruimte zonder interne wanden en beperkte kastruimten op de vloer. Bij deze vloeren is het verantwoordelijk terug te gaan naar de grens van de Eurocode, waarbij een veranderlijke belasting van 2,5 kN/m² normaal gebruikelijk is. Het is daarbij uiteraard wel van belang dat in overleg met gebouweigenaar en gebruikers wordt afgestemd het huidige functiebehoud op de vloer te handhaven.

Beoordeling

Aan de hand van de wapeningsconfiguratie van de koppelwapening en de toelaatbare schuifspanning wordt de vloer gecontroleerd. Voor de locaties waar de benodigde vloerwapening volgens de oorspronkelijke berekening van de vloerleverancier meer is dan de gevonden waarde ($A_{s,ber,5}$) in de spreadsheet (dus de wapening bij een maximaal toelaatbare schuifspanning van

0,40 N/mm²), moet een risicoanalyse worden uitgevoerd. Daar is de optredende schuifspanning immers hoger dan de grenswaarde. In de situaties die onder de waarde van de spreadsheet zitten, kan in stap 5 de vloer worden ingedeeld in het oranje 'Geen toename van belastingen. Wachten op nader onderzoek'.

Stap 6: risicoanalyse

In stap 6, de risicoanalyse, wordt het risico van de te hoge schuifspanning op de voeg beoordeeld volgens een aantal in het informatiedocument voorgeschreven punten. Deze verschillende punten zijn:

1. Schuifspanning bij quasi-permanente belastingscombinatie
2. Type belasting
3. Belastingshistorie
4. Betonmengsel en ruwheid
5. Herverdeling
6. Locatie van naad
7. Vaststellen delaminatie
8. Regelmatige inspectie
9. Proefbelasting
10. Gedrag constructie bij bezwijken kritische naad

1. Quasi-permanente belastingscombinatie

Het eerste punt is de quasi-permanente belastingscombinatie, waarbij nogmaals de schuifspanning van de naad wordt uitrekenend. Echter, bij deze berekening worden de belastingsfactoren verlaagd naar het niveau van de quasi-permanente belastingscombinatie. Daarbij is het van belang dat de constructeur de vloer heeft aanschouwd en weet welke belasting er gemiddeld genomen aanwezig is. Door deze dagelijkse belasting bij normaal gebruik van de vloer te gebruiken in de berekening bij de quasi-permanente belastingscombinatie, wordt duidelijk in hoeverre de vloer in staat is de belastingen rekenkundig te kunnen dragen.

Daarbij moet wel worden aangemerkt dat de uitkomst van de quasi-permanente belastingscombinatie geen toets is voor de vloer, maar een van de onderdelen van de risicoanalyse. Bij een positief oordeel van deze berekening voldoet de vloer nog niet, maar is dit gedeelte van de analyse alleen positief beoordeeld.

2. Type belasting

Bij het tweede punt wordt door de constructeur een oordeel geveld over de aard van de belasting. Is de aanwezige belasting een dynamische of statische belasting? Bij dynamische belastingen is de impact van de belastingswisseling van invloed op de naad. Bijvoorbeeld bij een technische ruimte waar geregeld zware machines staan te draaien, kunnen deze wisselingen van belasting een negatieve invloed hebben.

De verhouding tussen veranderlijke en permante belasting is hierbij wezenlijk van belang. Zodra er een vloer aanwezig is



waarop continu een hoge permanente belasting aanwezig is (bijvoorbeeld tuindak met 0,5 m hoog zandpakket), is de impact van de veranderlijke belasting vele malen minder dan wanneer het een monolithisch afgewerkte vloer van een parkeergarage betreft. Het constructief oordeel dat van een constructeur op dit punt wordt gevraagd, is na te gaan hoe groot de invloed is van het type belasting en hoe groot het aandeel hiervan is ten opzichte van de totale belasting.

3. Belastingshistorie

De belastingshistorie (derde punt) zegt natuurlijk ook veel over de capaciteit van de vloer. Zo kan worden nagegaan aan de hand van bijvoorbeeld foto's hoe de ondersteuning onder de vloer heeft gestaan en hoeveel bovenliggende vloeren deze vloer ten tijde van de bouwphase heeft gedragen. Daarnaast kan ook naar voren komen dat in het verleden op de vloer over een bepaald gebied vaker bijeenkomsten of dergelijke hebben plaatsgevonden. Deze belastingsgeschiedenis geeft inzicht in de capaciteit van de vloer.

4. Betonmengsel en ruwheid

De ruwheid en het betonmengsel van de vloer is een wegingspunt voor het beoordelen van de vloerconstructie. Alleen bij onderbouwning met foto's en dergelijke dat de vloer en de bewuste naad zijn opgeruwd, kan dit punt enige verlichting geven. Normaliter is dit altijd een negatief punt in de risicoanalyse.

5. Herverdeling

Het vijfde punt in de risicoanalyse is de mogelijke herverdeling van de belasting. Dit punt kan worden meegenomen om de capaciteit van de vloer te onderbouwen. Dit is echter veelal een arbeidsintensieve sessie. De constructeur moet een rekenkundige onderbouwning maken, waarbij met de aanwezige bovenwapening van de vloer de belasting kan worden herverdeeld. Ten gevolge van de herverdeling van de belastingen zal de spanning op de kritische naad dermate ver moeten terugzakken, dat deze mini-

maal onder de waarde van de kritische schuifspanning moet blijven (in de berekening van stap 5 uit het stappenplan). Het is uiteraard vanzelfsprekend dat de onderliggende constructies voldoende capaciteit moeten hebben om de belastingen van de herverdeling te kunnen dragen.

Bij het maken van de herberekening is het verstandig te kijken naar de uitgangspunten van de eerdere detailberekening van de vloer. De parameters die in die berekening zijn meegenomen, zorgen er soms al voor dat je laag hangend fruit kunt plukken. Al meerdere keren konden door het meenemen van een verend ingeklemde kolom in plaats van een scharnierende kolom, de eerste quick wins worden behaald.

6. Locatie van naad

Het zesde punt van de risicoanalyse is het nagaan of het een kopnaad of een langснаad betreft. Bij kopnaden lopen de tralieggers door tot aan de rand van de vloer, waardoor dit een lager risico geeft.

7. Vaststellen delaminatie

Het zevende punt is het beoordelen van eventuele delaminatie van de vloer. Hierbij zal de vloer op locatie moeten worden beschouwd en worden afgeklopt om te horen of er delaminatie aanwezig is. Dit is een tijdrovend en lastig punt. Bij inspecties ter plaatse komen er nog wel eens verrassingen voor. De ene keer kan men overal relatief eenvoudig bij, een volgende keer wordt een inspectie misschien gehinderd door de aanwezigheid van stucwerkplafonds, installatieleidingen of andere hindernissen.

Op veel plekken wordt beperkte delaminatie ontdekt ter plaatse van een zone van 100 à 150 mm langs de randen van de vloer. Dit komt ook voor op plekken waar geen positieve momenten aan de onderzijde van de breedplaatvloer aanwezig zijn. Bijvoorbeeld naast de middenkolommen waar vanzelfsprekend een steunpuntsmoment aanwezig is. Deze beperkte delaminatie langs de randen van de vloerplaten wordt niet beschouwd als een verhoogd risico.

8. Regelmatige inspectie

Regelmatige inspectie (achtste punt) is een beheeronderdeel dat alleen wordt ingezet voor kortere perioden. Deze inspecties, waarbij frequent de kritische situaties moeten worden beoordeeld, zijn arbeidsintensief. Hierbij is het essentieel om vooraf de randvoorwaarden vast te stellen met gebouw eigenaar en gebruikers en hoe hier moet worden gehandhaafd.

9. Proefbelasting

Het doen van een proefbelasting is een onderdeel van de risicoanalyse om aan te tonen dat de kritische naad en vloerconstructie in staat zijn de belastingen te kunnen dragen/afvoeren. Hierbij zal volgens de aanvulling op het informatiedocument wel een analyse op moeten worden toegepast omtrent de manier van belasten en tot hoever een en ander kan worden belast.

Tijdens het proefbelasten is het van belang aanvullende maatregelen te nemen om bij bezwijken van de voeg de schade te beperken. Door het toepassen van een tijdelijke ondersteuning onder de vloer, die circa 100 mm vrij staat, kan bij een calamiteit van de proefbelasting voortschrijdende instorting worden voorkomen.

10. Gedrag constructie bij bezwijken kritische naad

Het laatste punt van de risicoanalyse is het voorspellen van het gedrag van de constructie bij het uitvallen/bezwijken van de kritische naad. Dit kan door middel van een rekenexercitie. Hierbij is het uiteraard van belang dat de omliggende kritische naden en onderliggende constructies de belastingen kunnen afdragen naar de fundering. Deze voorspelling is een intensieve en tijdrovende bezigheid, waarbij het van belang is op de hoogte te zijn van alle afwijkingen of veranderingen vanaf het ontwerp tot aan het heden.

Sommige werken blijken te zijn voorzien van trekbanden conform NEN 1991-1-7 [3], waardoor de voorspelling bij bezwijken wat eenvoudiger kan.

Weging aanwezige risico

Na het beoordelen van deze tien punten van de risicoanalyse is het voor de constructeur mogelijk een weging te maken van het aanwezige risico van de kritische naad. Deze risicoanalyse moet worden uitgevoerd per locatie waar een overschrijding van de spanning in stap 5 aanwezig is. In tabel 1 staat een risicoanalyse van een willekeurige, kritische naad in een project.

Een risicoanalyse is een middel om na te gaan in hoeverre de constructieve veiligheid van de vloerconstructie in gevaar komt. De afweging is een subjectief oordeel van een constructeur. Het is geen berekening, maar een handvat om een oordeel te kunnen afwegen. Het is daarbij van belang teksten zo te formuleren dat een niet-bouwkundige begrijpt waar het over gaat en de juiste conclusies hieruit overneemt. De gevolgen van de risicoanalyse moeten niet het direct ontruimen en sluiten van een geheel gebouw zijn, maar bijvoorbeeld rondom de kritische naden beperkingen opleggen en aanvullend maatregelen vaststellen met gebouw eigenaren en gebruikers. In goed overleg met elkaar moeten er vervolgstappen worden geformuleerd en de situatie worden beheerst. Van daaruit kan de strategie verder worden bepaald. ☒

● LITERATUUR

- 1 Informatiedocument Onderzoek constructieve veiligheid breedplaatvloeren in bestaande bouwwerken opgeleverd na 1999. Rijswijk: ir. J.G. Adviesbureau Hageman, 5 oktober 2017.
- 2 Toelichting op informatiedocument beoordeling constructieve veiligheid breedplaatvloeren. Rijswijk: ir. J.G. Adviesbureau Hageman, 21 december 2017.
- 3 NEN-EN 1992-1-1:2005 - Eurocode 2: Ontwerp en berekening van betonconstructies - Deel 1-1: Algemene regels en regels voor gebouwen.

Tabel 1 Risicoanalyse van willekeurige, kritische naad in project

beschouwing	beoordeling	risico	toelichting/commentaar
1. quasi-blijvende belasting	voldoet	hoger	
2. type belasting	quasi-statisch	lager	geen dynamische belasting aanwezig
3. belastingshistorie	aanwezig	-	
4. betonmengsel en ruwheid	zelfde producent	hoger	
5. herverdeling		-	
6. locatie naad	kopnaad	lager	
7. vaststellen delaminatie	n.v.t.	-	exacte locatie niet beoordeeld
8. regelmatige inspectie	n.v.t.	-	
9. proefbelasting mogelijk	n.v.t.	-	niet zinvol/noodzakelijk
10. gedrag constructie bij bezwijken kritische voeg	trekbanden	lager	trekbanden aanwezig volgens NEN EN 1991-1-7, A5