



Vloeren versterkt met stalen strippen

# Verbetering bollenvloeren Polak-gebouw

1 Het Polak-gebouw op de campus van de Erasmus Universiteit in Rotterdam

foto: Sebastiaan van Damme i.o.v. Paul de Ruiter Architects

2 Interieur van het gebouw

foto: Jeroen Musch i.o.v. Paul de Ruiter Architects

*Een deel van de bollenvloeren in het Polak-gebouw op de campus van de Erasmus Universiteit in Rotterdam bleek niet voldoende sterk. Diverse oplossingen zijn onderzocht. Na een uitvoerige studie is besloten de vloeren te versterken met verankerde stalen strippen. Ongeveer een jaar nadat het gebouw uit voorzorg werd ontruimd, is het in het voorjaar van 2018 weer geopend.*

Het Polak-gebouw is een fraai bouwwerk dat vooral is bestemd als onderwijsruimte voor de studenten (foto 1 en 2). Op de begane grond is ook een aantal commerciële ruimten ondergebracht. De vloeren zijn uitgevoerd als puntvormig ondersteunde bollenplaatvloer, die in twee richtingen draagt. Na de instorting van de parkeergarage in Eindhoven, waar een vergelijkbaar vloersysteem was toegepast, heeft ontwerpend constructeur Van Rossum een analyse gemaakt van de risico's van de vloeren in het gebouw. Dit naar aanleiding van én op basis van het 'Informatiedocument Beoordeling veiligheid breedplaatvloeren' van BZK. De conclusie was dat er wel dege-lijkelijk delen aanwezig waren waar maatregelen noodzakelijk waren. Het gebouw zat in categorie rood, conform het genoemde informatiedocument. Voorgesteld werd als nood-

maatregel stempels aan te brengen. Direct na die analyse besloot de Erasmus Universiteit het gebouw tijdelijk buiten gebruik te stellen.

### Second opinion

Na overleg tussen de diverse partijen is na het sluiten van het gebouw besloten een geheel onafhankelijk ingenieursbureau te vragen 'mee te denken'. Royal HaskoningDHV (RHDHV) is in eerste instantie gevraagd een second opinion te geven op de stukken zoals die er lagen, en in tweede instantie om een voorstel voor herstel te doen.

Ook bij de second opinion is het gebouw getoetst volgens het genoemde informatiedocument. In dit document wordt geadviseerd te werk te gaan volgens een stappenplan. Er worden vier categorieën onderscheiden, naar gelang het risico (fig. 3). Het stappenplan is overgenomen in een spreadsheet die voor verschillende projecten kan worden toegepast (fig. 4).

De conclusies van RHDHV kwamen in hoofdzaak overeen met de conclusies van Van Rossum. Dit hield in dat er 'urgente maatregelen' nodig waren. Het tijdelijk buiten gebruik stellen van het gebouw is een dergelijke urgente maatregel.



2

### Berekening schuifspanningen

Na stap 4 is het van belang de schuifspanningen te berekenen tussen breedplaat en in het werk gestort beton, ter plaatse van de koppelstaven. De schuifspanningen ter plaatse van de plaatnaden zijn berekend uitgaande van de momenten volgens de oorspronkelijke vloerberekening.

Als de berekende schuifspanningen lager zijn dan  $0,4 \text{ N/mm}^2$ , adviseert het stappenplan voorlopig niets te doen, maar ook om een toename van de belasting te vermijden. Deze vloeren moeten, nadat meer bekend is over de constructieve mogelijkheden en de verantwoord aan te houden schuifspanningen, opnieuw worden beschouwd.

Indien de schuifspanningen groter zijn dan  $0,4 \text{ N/mm}^2$ , moet volgens het stappenplan een risicoanalyse worden uitgevoerd. Afhankelijk van hoe de risico's worden ingeschat moeten dan, al dan niet urgent, maatregelen worden getroffen.

De plaatsen met een schuifspanning hoger dan  $0,4 \text{ N/mm}^2$  zijn aangegeven op de tekeningen (fig. 5). De door RHDHV gemarkeerde plaatsen komen nagenoeg overeen met wat Van Rossum had aangegeven. De risicoanalyse geeft naar het oordeel van Van Rossum en RHDHV aan dat het risicoprofiel op diverse plaatsen in het gebouw hoog is. Deze conclusie is vooral gebaseerd op het oordeel dat bij een aantal vloeren op de bovenste verdiepingen er te weinig herverdelingsmogelijkheden waren mocht de naad plaatselijk bezwijken. Wel is te zien dat slechts een relatief klein gedeelte van de voegen boven de gestelde grens komt. In totaal is circa 145 m voeg aangemerkt als te herstellen.

### Advies voor herstel

RHDHV heeft geadviseerd voor de roodgemarkeerde voegen versterkingen toe te passen. Uitgangspunt daarbij zou moeten zijn dat na versterking deze vloerdelen ook zullen voldoen, onafhankelijk van de uitkomsten van de lopende onderzoeken.

Het was op voorhand echter niet heel eenduidig welke versterkingsmethode de meest optimale was. Hierover werd en wordt nog door betrokkenen gediscussieerd en aan de TU Eindhoven wordt nader onderzoek gedaan. Er kon echter niet worden gewacht op de uitslagen van deze discussies en onderzoeken. Om tot een werkbare, economische en constructief verantwoorde herstelmethode te komen, is een aantal stappen doorlopen. In eerste instantie een grove inventarisatie van de mogelijkheden.

Er komen grofweg zes reparatiemethoden in aanmerking (fig. 6).

Project:	Polak EUR			
Opgeleverd:	2015	Versie 1.0		
Stap 1	Verzamelen eerste informatie - constructietekeningen - legplan breedplaten	beschikbaar? beschikbaar?	Ja Ja	<kies Ja of Nee> <kies Ja of Nee>
Stap 2	Beoordelen krachtsverdeling - positief moment ter plaatse van naden tussen breedplaten?		Ja	<kies Ja of Nee>
Stap 3	Verzamelen aanvullende informatie - wapeningstekeningen - wapeningsberekeningen - informatie over eventuele constructieve gebreken	beschikbaar? beschikbaar? beschikbaar?	Ja Ja Ja	<kies Ja of Nee> <kies Ja of Nee> <kies Ja of Nee>
Stap 4	Beoordelen uitvoering breedplaten - breedplaten van niet-opgeruwd zelfverdichtend beton toegepast?		ja	<kies Ja of Nee>
Stap 5	Bepalen grootte schuifspanning in aansluitvlak bij fundamentele belastingscombinatie volgens NEN 8700 - schuifspanning in aansluitvlak $> 0,40 \text{ N/mm}^2$ ?		Ja	<kies Ja of Nee>
Stap 6	Uitvoeren risicoanalyse door constructeur - hoog risico?		Ja	<kies Ja of Nee>
Conclusie:	Urgent maatregelen treffen (belastingen aanpassen en/of constructie versterken)			

3

#### Categorieën

Geen maatregelen noodzakelijk.
Vooralsnog geen maatregelen noodzakelijk. Wachten op nader onderzoek.
Geen toename van belasting. Wachten op nader onderzoek.
Urgente maatregelen treffen (belastingen aanpassen en/of constructie versterken).

4

1. Koolstoflijmwapening, gedimensioneerd op sterkte  
Bij deze oplossing worden aan de onderzijde koolstofstrippen gelijmd die even sterk zijn als de op de plaat liggende koppelwapening. Deze werken pas als het schuifvlak is bezwaken. Daarbij zal dan een relatief grote rek optreden omdat koolstof meer zal vervormen dan betonstaal. Er bestaan twijfels over de effectiviteit van deze methode, ook ten aanzien van dwarskrachtcapaciteit. Daarnaast zijn koolstofstrippen onvoldoende brandwerend en zijn ze ook niet brandwerend te maken door een bekleding. De temperatuur waarbij de lijm bezwijkt, is relatief vrij laag. Zie ook het daarover gemelde bij oplossing 2.

2. Koolstoflijmwapening, gedimensioneerd op stijfheid  
Bij een tweede oplossing worden aanzienlijk meer strippen toegepast dan bij oplossing 1. Door de overmaat aan koolstofstrippen worden ze zodanig stijf dat ze een deel van de koppelkracht gaan opnemen zonder dat de schuifverbinding is bezwaken. Dit effect kan worden versterkt door de vloer in bepaalde mate omhoog te drukken voor het aanbrengen van de strippen. Indien de schuifverbinding toch bezwijkt, kunnen de strippen de kracht overnemen, maar dan, in tegenstelling tot oplossing 1, zonder veel rek.

Ook hier geldt dat de strippen niet tegen hogere temperaturen kunnen. Tijdens brand zijn ze dus niet betrouwbaar. Er kan worden geredeneerd dat tijdens brand de betonconstructie zichzelf draagt, dat doet deze immers nu ook. Voorwaarde is dan wel dat de vloer op dat moment niet is gedelamineerd en dat de betonconstructie zodanig wordt beschermd dat deze door brand niet achteruitgaat of alsnog delamineert. De brandwerende bekleding is dus bedoeld om de betonconstructie zelf tijdens brand niet minder sterk te doen zijn dan nu.

- 3 Ingevuld stappenplan voor het Polak-gebouw
- 4 Categorieën volgens het informatiedocument
- 5 Voorbeeld van het markeren van de voegen met een schuifspanning groter dan 0,4 N/mm<sup>2</sup>
- 6 Eerste inventarisatie van de herstel mogelijkheden

### 3. Gelijmde en vervolgens verankerde stalen strippen

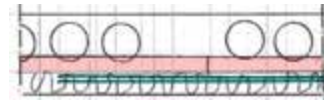
Bij deze oplossing worden stalen strippen eerst opgelijmd. De lijm is alleen in de eerste fase nodig. Nadat alle strippen zijn gelijmd, worden ankers ingeboord. De in te boren ankers mogen niet leiden tot het doorboren van de koppelstaven op de breedplaat.

Voor de brandwerendheid kunnen de strippen worden gecoat met een opschuimende coating. Door de stijfheid van de gelijmde strip ten opzichte van de koppelstaven nemen de strippen een deel van de kracht die naar de koppelwapening gaat weg en verminderen daarmee ook de kracht die door het schuifvlak gaat. Dit effect kan worden versterkt door de vloer in bepaalde mate omhoog te drukken voor het aanbrengen van de strippen. Als laatste stap wordt de ruimte tussen strip en ankers in het boutgat gevuld met een mortel om er zeker van te zijn dat alle ankers tegelijkertijd worden belast. De strippen worden als eerste gelijmd. Tijdens het boren van de ankers waarborgt de lijm de sterkte en veiligheid van de constructie.

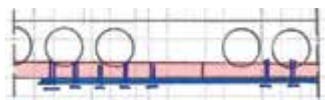
6



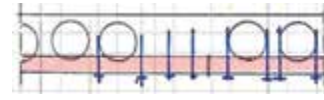
1. Koolstoflijmwapening, gedimensioneerd op sterkte



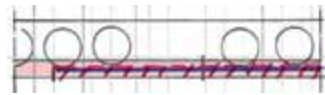
2. Koolstoflijmwapening, gedimensioneerd op stijfheid



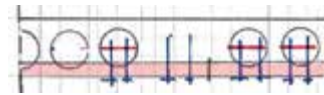
3. Gelijmde en vervolgens verankerde stalen strippen



4. Boorankers



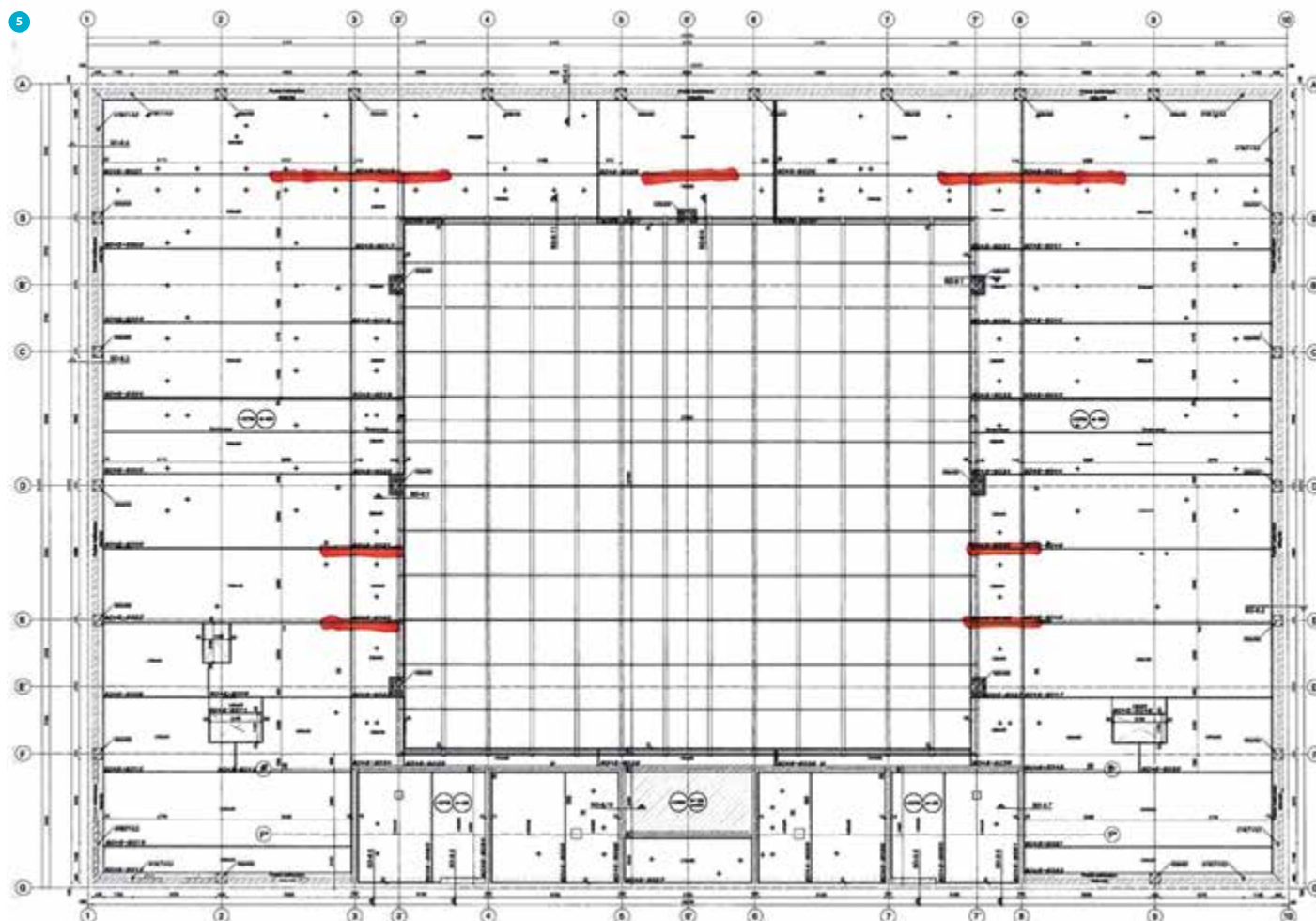
5. Infrezen wapeningsstaven

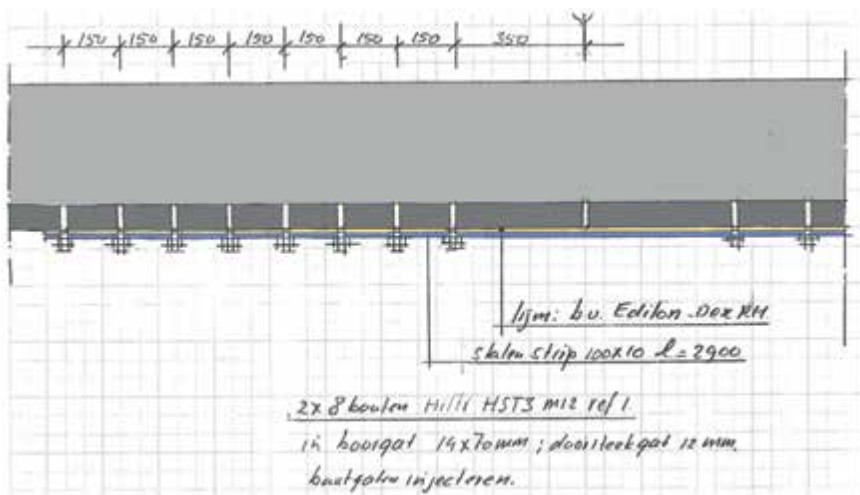


6. Bolankers

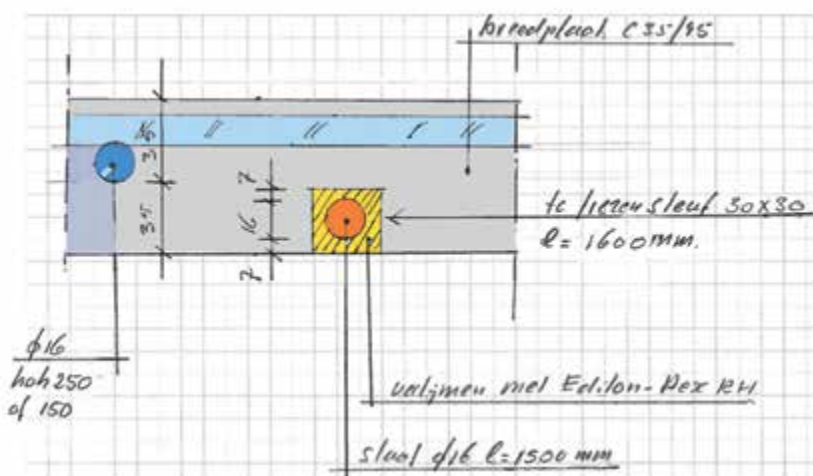
### 4. Boorankers

Bij deze oplossing worden ankers geboord dóór de breedplaat in het beton. Hiermee is eerder een proef uitgevoerd door BAM met goede resultaten. Probleem is wel dat het boren van de ankers niet mag leiden tot het doorboren van koppelstaven. Tevens moeten maatregelen worden getroffen om de veiligheid tijdens het boren te waarborgen.





7



8

### 5. Infrezen wapeningsstaven

Bij deze oplossing worden sleuven in het beton gefreesd (vergelijkbaar met de methode waarop elektrabuizen in het beton worden gefreesd). Vervolgens wordt betonstaal in de sleuf gelijmd. Daarmee wordt technisch een goede oplossing verkregen die ook brandwerend is. De haalbaarheid is afhankelijk van de mogelijkheden van de freestechniek. Tevens moeten maatregelen worden getroffen om de veiligheid tijdens het frezen te waarborgen.

### 6. Bolankers

Bij oplossing 6 worden ankers aangebracht nadat de bollenrijen in het verankeringsgebied half met mortel zijn gevuld. Technisch is dit een prima oplossing. Een vraagteken zijn de kosten ervan.

### Afvallers

De verschillende oplossingen zijn bestudeerd door opdrachtgever en aannemer en zijn samen met RHDHV in detail besproken. In eerste instantie zijn drie opties afgefallen waarna er een shortlist van drie andere oplossingen overbleef.

### Afvaller: optie 1

Optie 1 (koolstoflijmwapening, gedimensioneerd op sterkte) is afgefallen. De reden is dat de koolstof weliswaar grote trekkrachten kan opnemen, maar dat de elasticiteitsmodulus niet hoger is dan die van staal. Omdat er slechts heel dunne koolstofstrippen nodig zijn, zijn deze dus veel minder stijf dan de koppelwapening die op de breedplaten ligt. In dit geval is dan de verwachting dat de strip pas in werking treedt als de delaminatie van de breedplaatkoppeling een feit is. Dan zijn er al grote vervormingen in de naad en vloer opgetreden en zal de vloer een onveilige indruk geven. Er bestaat ook twijfel of de strip na delaminatie nog goed verlijmd blijft. Mogelijk wordt de strip 'afgepeld', zoals ook plakband kan loskomen.

Een nog niet opgelost probleem is de brandveiligheid. De lijm en de koolstofstrippen kunnen niet tegen hogere temperaturen.

### Afvaller: optie 2

Bij optie 2 (koolstoflijmwapening, gedimensioneerd op stijfheid) wordt de wapening al geactiveerd voordat de delaminatie optreedt. Toch is deze optie 2 afgefallen, omdat hier veel meer koolstoflijmwapening voor nodig is. De kosten worden daarvoor veel hoger dan die van andere opties. Ook hier zal nog een oplossing moeten worden gevonden voor de brandveiligheid.

### Afvaller: optie 4

Bij optie 4 worden lijmanekers heel dicht naast de bollen ingeboord. Om de koppelwapening niet te doorboren, wordt deze van tevoren gedetecteerd en gemarkeerd. Uit één proef op de TU Eindhoven is gebleken dat deze oplossing goed werkt. Deze oplossing kan echter niet via een berekening worden onderbouwd. Om deze oplossing met voldoende zekerheid te kunnen toepassen, moeten nog meer proeven worden gedaan, wat veel tijd zal vergen. Daarom is ook deze optie afgefallen.

### Nadere uitwerking drie opties

Er bleven dus drie opties over: toepassing stalen strippen, infrezen wapeningsstaven en toepassing bolankers.

### Aanbrengen stalen strip

Bij deze optie wordt een stalen strip van  $10 \times 100 \text{ mm}^2$  met een lengte van 2900 mm tegen het beton gelijmd nadat het oppervlak van het beton enigszins is opgeruwd. Nadat de lijm is gehard, doet de strip zijn werk. De strip kan in principe de koppelwapening vervangen, zodat ook na delaminatie de veiligheid van de vloer is gewaarborgd. Bij toenemende belasting zal de koppelkracht zich verdelen over de strip en de koppelwapening, naar verhouding van de stijfheid. Hoe minder kracht naar de koppelstaven gaat, hoe minder schuifspanning

- 7 Aanbrengen stalen strippen
- 8 Infrezen wapeningsstaaf
- 9 Aanbrengen ankers in de bol
- 10 Aanbrengen lijmmankers en ankers in één bollenrij

in het aansluitvlak zal optreden. Het aandeel van de strip kan nog worden vergroot door de vloer enigszins omhoog te drukken voordat de strip wordt opgelijmd (fig. 7). Vanwege de stijfheid van de strip gaat er bij toename van de belasting tot uiterste grenstoestand een redelijk deel van de belasting naar de strip. Het omhoogdrukken wordt daarom uiteindelijk niet nodig geacht. Dit houdt ook in dat het bij deze oplossing niet nodig is stempels te plaatsen. De bouten hebben een inboordiepte van 70 mm waardoor er geen risico is dat de koppelstaven op de plaat worden doorboord.

De bouten dienen er hoofdzakelijk voor om de sterkte tijdens brand te waarborgen. De lijm is waarschijnlijk niet brandbestendig. De strip zelf en de boutkoppen moeten worden beschermd door het aanbrengen van een brandwerende coating of beplating. De ruimte in het boutgat tussen strip en ankers moet worden gevuld met mortel om er zeker van te zijn dat alle ankers tegelijkertijd worden belast.

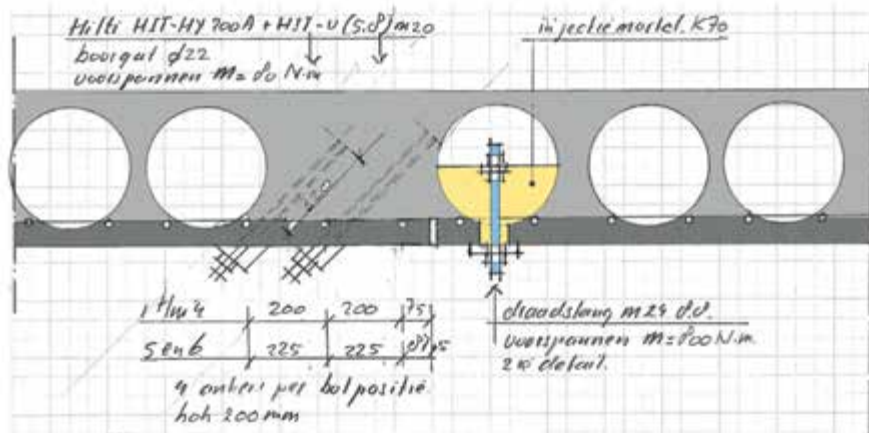
#### Infrezen wapeningsstaven

Bij deze optie wordt een sleuf in de onderzijde van de breedplaat gefreesd: lang 1,6 m, hart-op-hart 175 mm (fig. 8). In deze sleuf wordt een wapeningsstaaf  $\varnothing 16$  gelijmd met een plastische lijm. Voordeel van deze methode is dat de koppelwapening als het ware wordt aangebracht op de plek waar deze hoort, zo dicht mogelijk bij de wapening in de breedplaat. Het is een bewezen techniek, de brandveiligheid is gewaarborgd en de onderzijde van de vloer is na herstel vlak. Nadeel is dat er moet worden gefreesd. Dit geeft in basis stof- en lawaaioverlast. Daarnaast geeft het trillingen in de vloer. Trillingen zouden als 'trigger' kunnen werken voor de delaminatie van schil en druklaag. Hierdoor neemt het risico van instorten toe. Om de veiligheid tijdens de uitvoering te waarborgen, moeten daarom bij de werkzaamheden stempels worden aangebracht.

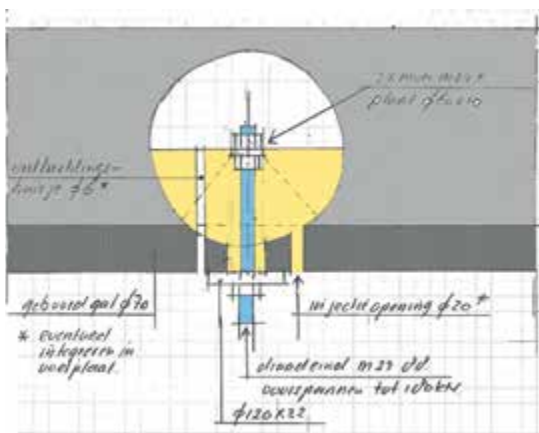
#### Ankers in de bollen

Onder in de bol wordt een gat rond 70 mm geboord. Daarin wordt een anker opgehangen met aan de bovenzijde een plaat rond 60 mm (fig. 9). Nadat het anker tijdelijk is gefixeerd (bijvoorbeeld door lijm of een lichte schroefverbinding), wordt de bol door middel van injectie voor de helft gevuld met gietmortel K70. Na verharding van de gietmortel wordt de bout voorgespannen, waardoor de betonnen druklaag op de breedplaat wordt geklemd. Om de bol te kunnen injecteren, is het ook nodig een ontluuchtingsbuisje toe te passen.

Ter plaatse waar geen bollenrij aan de rand aanwezig is, kunnen lijmmankers worden ingeboord, vier stuks per weggelaten bol (fig. 10). Ook hier moet, net als bij het met infrezen van wapeningsstaven, de vloer tijdens het boren van de lijmmankers om veiligheidsredenen worden gestempeld.



9



10

Bij veel bollenplaatvloeren is langs de rand aan één zijde een bollenrij weggelaten. Daar kunnen dan ankers worden ingeboord.

#### Keuze: stalen strippen

De kosten voor deze drie opties zijn grof geraamd. Daarbij ook rekening houdend met het verwijderen en terughangen van de plafondeilanden. Hieruit bleek dat het kostenverschil tussen de drie opties niet significant is.

In overleg met opdrachtgever en aannemer is de voorkeur uitgesproken voor de optie met stalen strippen. Dit vooral omdat het een bekende techniek is, snel kan worden uitgevoerd en er geen stempels nodig zijn.

De versterking is dus vooralsnog alleen uitgevoerd waar de berekende schuifspanning tussen breedplaat en druklaag groter is dan de grenswaarden zoals gesteld in de notitie die door het ministerie van BZK is gepubliceerd. Of later bij de overige naden nog reparaties nodig zijn, is afhankelijk van nader uit te voeren onderzoek. De naden waar de genoemde reparatie wordt uitgevoerd, voldoen in ieder geval ook later en kunnen dus als definitief worden beschouwd.

- 11 Detail uitgevoerde oplossing
- 12 Voorbeeld van een deel van een werktekening
- 13 Verdeling kracht over de ankers

### Uitwerking

Voor de uit te voeren werkzaamheden zijn eenvoudige werktekeningen gemaakt (fig. 11 en 12). Uitgangspunt is de aanwezige koppelwapening op de schil Ø16-175. De strippen worden zodanig gedimensioneerd dat ze dezelfde kracht kunnen opnemen als die koppelwapening. In verband met de plaatsing van de strippen tussen de bollen, zijn 2,5 strippen per meter mogelijk. Dat houdt dan in dat de kracht per strip moet zijn  $F = 201 \cdot 435 \cdot 1000 / (1000 \cdot 175 \cdot 2,5) = 200$  kN per strip. Bij toepassing van 8 bouten dus  $200 / 8 = 25$  kN / bout. Om niet het risico te lopen dat de koppelwapening zou worden doorboord, is in overleg met Hilti Nederland gekozen voor bouten Hilti HST3 M12, waarbij de boutgaten worden gevuld. Dit zijn mechanische bouten. De inboordiepte voor deze ankers is slechts 70 mm, gelijk aan de dikte van de breedplaatschil, waardoor er geen risico is dat de koppelwapening wordt doorboord. De strippen zijn in staat de functie van de koppelwapening geheel over te nemen. Daarmee is de oplossing onafhankelijk van het al dan niet toelaten van schuifspanningen tussen breedplaat en druklaag.

De oplossing is op verzoek van opdrachtgever kritisch getoetst door Adviesbureau Hageman en is vervolgens getoetst door Bouwtoezicht Rotterdam. Ook de Technische Werkgroep Breedplaatvloeren van VNconstructeurs heeft, nadat de herstelwerkzaamheden waren afgerond, nog een technische review gedaan. De punten die daarbij aan de orde kwamen, waren het aantal ankers achter elkaar en de brandwerendheid.

### Te veel ankers achter elkaar

Volgens de gangbare rekenregels voor korte ankers mogen maar drie bouten achter elkaar worden geplaatst. Bij het plaatsen van meer ankers achter elkaar bestaat het risico dat de eerste ankers veel meer kracht krijgen dan de andere. Dan zou het eerste anker kunnen bezwijken waarna het tweede anker het eerste anker wordt, enzovoort.

Dit mogelijke probleem is nader onderzocht. Stel dat alle bouten evenveel kracht krijgen: elk 25 kN. Dan is het verschil in rek tussen punt 1 en 8 in de stalen strip als volgt te berekenen (zie ook fig. 13).

$$\sigma_{\text{staal}} = 8 \times 25.000 / (10 \cdot 100) = 200 \text{ N/mm}^2$$

$$\Delta_L = (1200 / 2) \cdot 200 / 210.000 = 0,6 \text{ mm}$$

Het verschil in rek tussen punt 8 en 1 in de betonnen schil is als volgt te berekenen.

Indien beton ongescheurd:

$$\sigma_{\text{beton}} = 200 \cdot 1000 / (0,5 \cdot 200 \cdot 400) = 5 \text{ N/mm}^2$$

(trekzone 200 mm hoog)

$$\Delta_L = (1200 / 2) \cdot 5 / 30.000 = 0,1 \text{ mm}$$

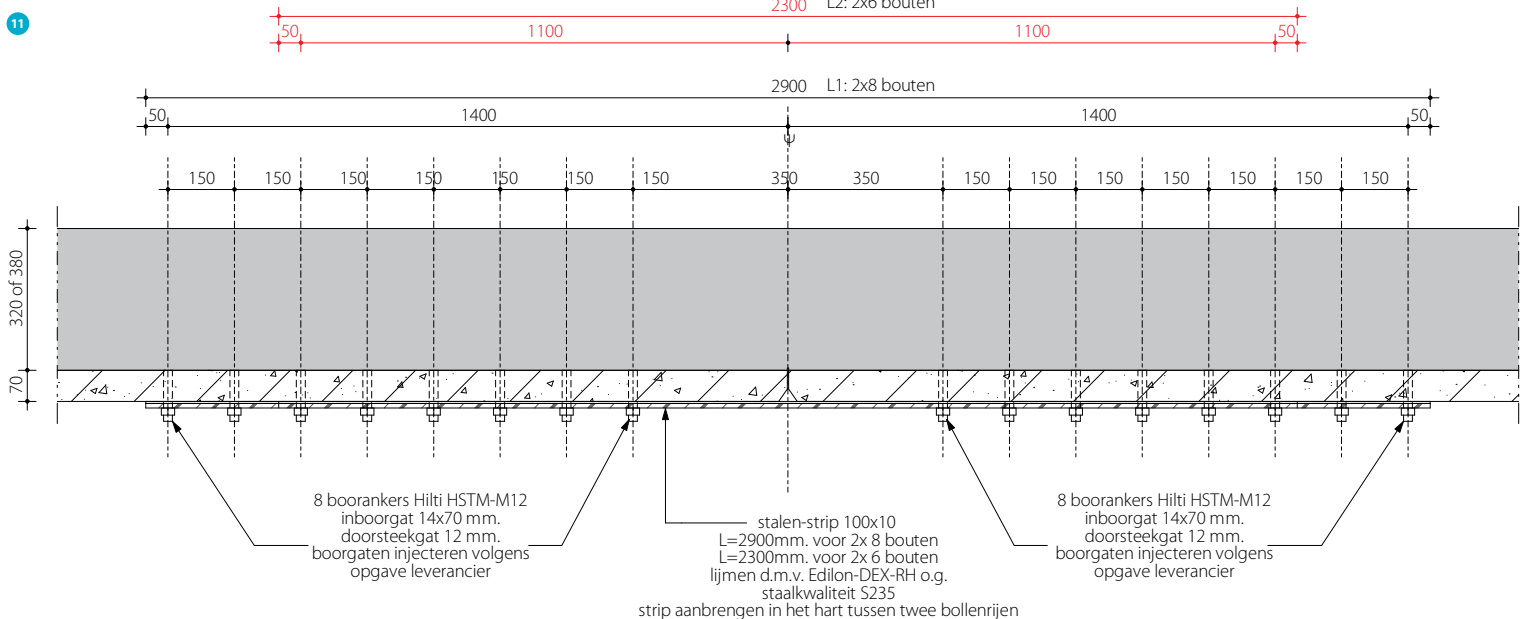
Indien beton volledig gescheurd:

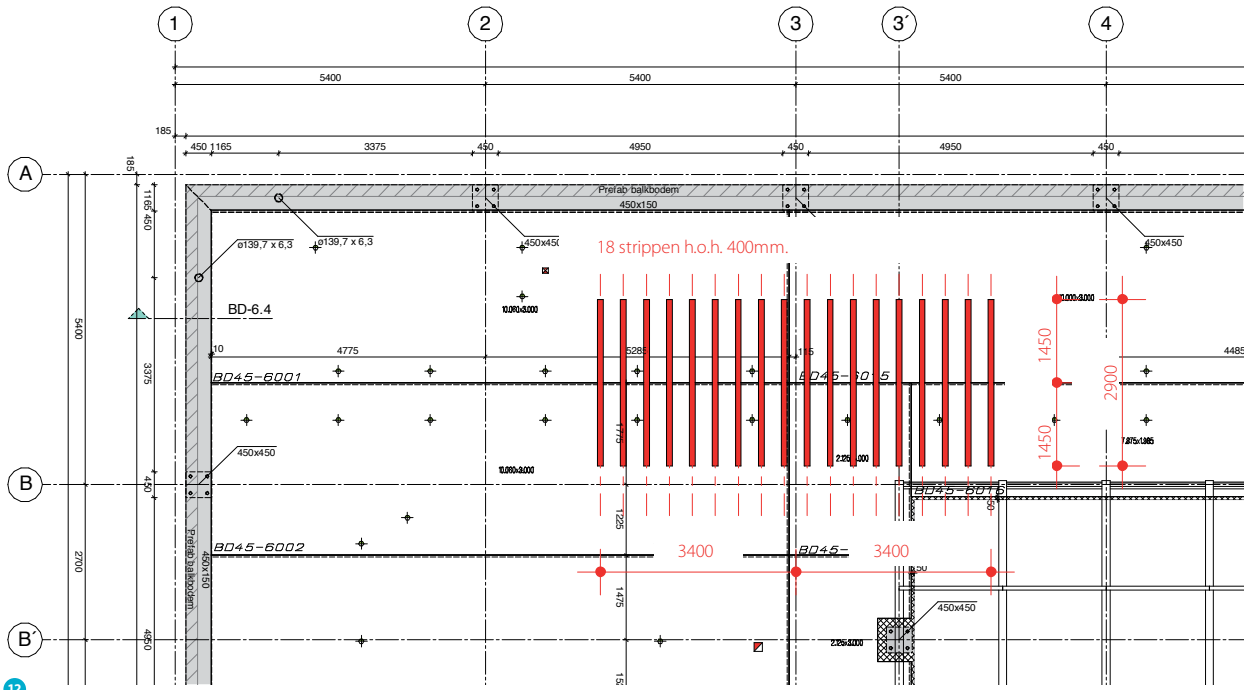
$$\sigma_{\text{wapening}} = 435 \text{ N/mm}^2$$

$$\Delta_L = (1200 / 2) \cdot 435 / 210.000 = 1,2 \text{ mm}$$

Het gemiddelde verschil in rek in het beton bedraagt circa 0,7 mm.

Het verschil in vervorming tussen bout 1 en bout 8 is dan slechts orde van grootte  $0,7 - 0,6 = 0,1$  mm.





12

De vervorming van de bout (lineair-elastisch) is volgens gegevens van Hilti circa 1,85 mm bij een kracht van 25 kN. Verschil in vervorming van 0,1 mm komt dus overeen met een krachtsverschil van  $(0,1 / 1,85) \cdot 25 = 1,35$  kN, ofwel 5%. Verspreid over de twee uiterste bouten, komt dat neer op 2,5% per bout. Dit is te verwaarlozen. Bovendien heeft dit soort bouten ook nog een plastisch traject na het bereiken van de uiterst opneembare kracht. Voorwaarde voor deze werking is wel dat alle ankers – door middel van opvullen van de boutgaten in het staal met mortel – alle tegelijkertijd kunnen worden belast.

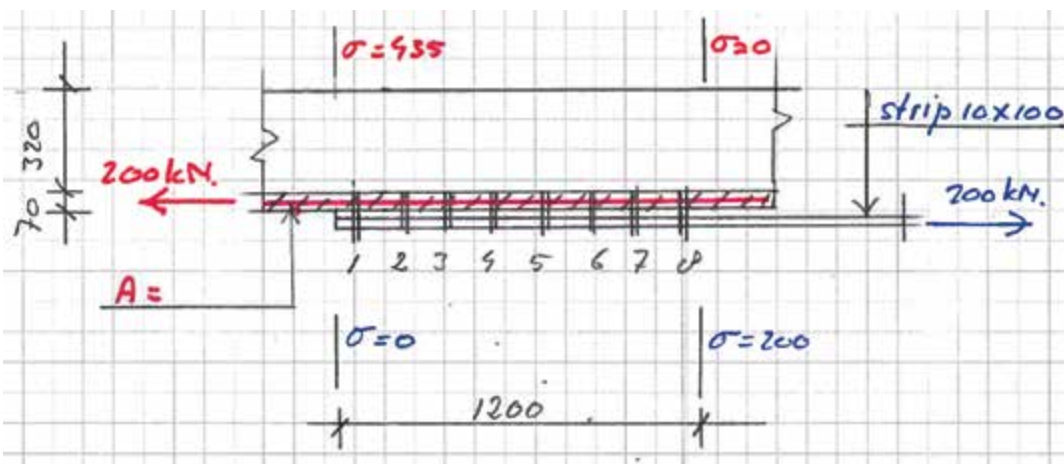
#### Brandwerendheid

Bij brand moet ervan worden uitgegaan dat de platen ter plaatse van de plaatnaden gedelamineerd zijn. Ofwel dat de breedplaatschil hier niet meer heel erg vastzit aan de bovenliggende druklaag, zodat de ingestorte koppelwapening niet meer kan functioneren. Dan moet de aangebrachte versterking op zichzelf voldoende sterk zijn en daartoe worden beschermd tegen brand.

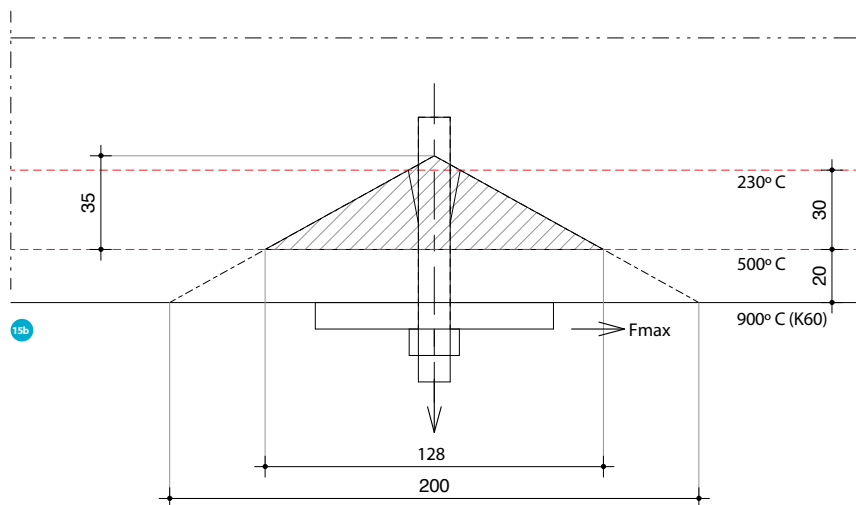
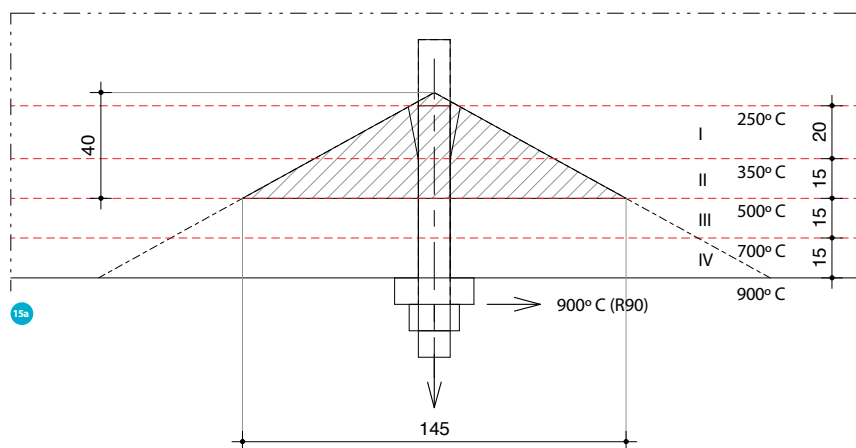
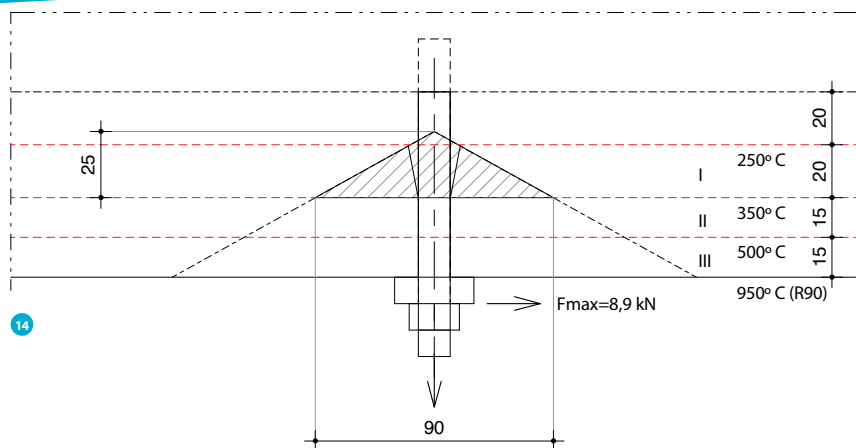
Ook dit aandachtspunt is bekeken. De strip en de boutkoppen worden beschermd door het aanbrengen van een brandwerende coating. Deze coating zorgt dat de temperatuur in het staal tijdens brand beperkt blijft tot 450 °C. Daarbij is de krachtsafname slechts zo'n 10%. Bij brand kunnen de belastingsfactoren op 1 worden gesteld. Dat geeft een reductie in de kracht van circa 30%.

De vereiste brandwerendheid voor dit gebouw is 60 minuten. De brandwerendheid van dit type ankers is gedeeltelijk getest door Hilti bij 90 minuten brandwerendheid. Bij dit soort ankers is de treksterkte van het beton maatgevend. Voor die treksterkte geldt een maximale temperatuur van 500 °C. Daarboven kan daar niet meer op worden gerekend. Door een vergelijking te maken tussen het deel van de conus dat beneden de 500 °C-grens blijft bij 90 minuten (getest) en bij 60 minuten (niet getest), kan een redelijke schatting worden gemaakt van de opneembare kracht bij de toegepaste ankers in brandsituatie.

13







Dit is toegelicht in figuur 15 en 16. De in de figuren gestippelde temperatuurlijnen zijn ontleend aan NEN-EN 1992-1-2. De sterkte van de conus kan worden benaderd door het oppervlak van de conus waar de temperatuur lager is dan 500 °C. Bij een effectieve diepte van 50 mm is dat oppervlak (fig. 15):

$$O = \pi r \sqrt{(r^2 + h^2)} = \pi \cdot 45 \cdot \sqrt{(45^2 + 25^2)} = 7277 \text{ mm}^2$$

Volgens de test van Hilti is de uittrekwaarde  $F$  van een anker met een effectieve verankeringslengte van 65 mm  $F = 20,8 \text{ kN}$ . Bij die lengte is het oppervlak van de conus waar de temperatuur lager is dan 500 °C (fig. 15):

14 Concrete pryout failure bij een effectieve diepte van 50 mm (a) en van 65 mm (b), temperaturen volgens R90

15 Concrete pryout failure bij een effectieve diepte van 50 mm, temperaturen volgens R60

$$O = \pi r \sqrt{(r^2 + h^2)} = \pi \cdot 72,5 \cdot \sqrt{(72,5^2 + 40^2)} = 18.860 \text{ mm}^2$$

Gezien de verhouding van de oppervlakken zou de uittrekwaarde  $F$  bij een effectieve verankeringslengte van 50 mm (fig. 15) dan zijn:

$F = (7277 / 18.860) \cdot 20,8 = 8,0 \text{ kN}$ . De test van Hilti geeft hiervoor 8,9 kN. Dus de vergelijking met de oppervlakken van de kegel gaat redelijk goed.

In figuur 15 zijn de temperaturen gegeven die horen bij een brand na 60 minuten. Ook daar kan een conus worden genomen waar de temperatuur lager is dan 500 °C. Het oppervlak daarvan is:

$$O = \pi r \sqrt{(r^2 + h^2)} = \pi \cdot 67,5 \cdot \sqrt{(67,5^2 + 35^2)} = 16.123 \text{ mm}^2$$

Dit geeft dan in vergelijking met de conus bij 90 minuten:

$$F = (16.123 / 18.860) \cdot 20,8 = 17,8 \text{ kN}$$

Deze waarde geldt voor C20/25. Toegepast is C35/40. Vermengvuldiging met de verhouding voor de treksterkten geeft dan  $F = (2,2 / 1,5) \cdot 17,8 = 26,1 \text{ kN}$ . Dit is veel hoger dan de benodigde 15,25 kN. Dus kan worden geconcludeerd dat de ankers ook voldoen in de brandsituatie.

### Uitvoering

De uitvoering van het herstel is voorspoedig verlopen. Er zijn circa 5000 ankers ingeboord (foto 17). De wapening in de breedplaat was goed op de tekeningen aangegeven en in de praktijk bleek dit ook redelijk te kloppen. Slechts een klein percentage van de bouten kon niet worden geboord. Ook zijn er altijd plaatsen waar dingen in de weg zitten. Op die plekken zijn in overleg tussen RHDHV en de uitvoerende partijen aanvullende werkzaamheden uitgevoerd.

Door de uitvoerende partijen zijn methoden bedacht om zonder uitzonderlijke inspanningen veel gaten boven het hoofd te boren. Voor het veilig aanbrengen van het aandraaimoment behorend bij het type anker is ook gebruikgemaakt van een automatische momentsleutel (foto 17). Met dit nieuwe gereedschap SI-AT-A22 van Hilti worden alle ankers met het juiste aandraaimoment gemonteerd door het scannen van een barcode op de doos van de betreffende ankers. Tegelijkertijd wordt een registratie gemaakt van alle aangebrachte aandraaimomenten die vervolgens in rapportages kunnen worden verwerkt. De snelheid en veiligheid van het plaatsen van de ankers werd hierdoor aanzienlijk vergroot.

- 16 Een deel van een vloer dat gereed is
- 17 Gecontroleerd aanbrengen van het juiste voorspanmoment van de ankers



### Tot slot

Het Polak-gebouw was het eerste gebouw dat moest worden hersteld na buitengebruikstelling. Er was een grote urgentie het gebouw weer veilig te maken. Er is daarom gekozen voor een techniek die met behulp van bestaande rekenregels en technieken tot het gewenste resultaat zou leiden. Het herstel bleek in de praktijk goed uitvoerbaar. Het is natuurlijk niet uitgesloten dat goedkopere of handigere methoden voor versterking kunnen worden ontwikkeld. Die moeten dan wel deugdelijk worden onderbouwd. Waarschijnlijk zijn daar laboratoriumtesten voor noodzakelijk. ☒

### PROJECTGEGEVENS

- gebouweigenaar** Erasmus Universiteit Rotterdam (EUR)
- ontwerpend constructeur VO** Van Rossum Raadgevende Ingenieurs
- opdrachtnemer (D&C)** SMT Bouw & Vastgoed
- coördinerend constructeur**
- uitvoeringsfase** Ingenieursbureau A. Palte
- leverancier bollenplaatvloeren** BubbleDeck
- engineering vloeren** Ingenieursbureau Isometric
- beoordeling vloeren en versterkingsmethode** Royal HaskoningDHV
- leverancier ankers** Hilti Nederland

17

