

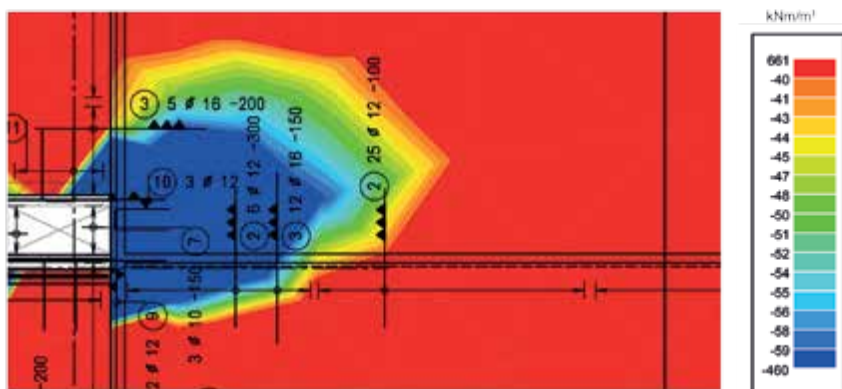
Verstevinging bollenplaatvloeren met voorspanning

Een spannend voorstel

Na een analyse van de vloeren op basis van het informatiedocument van het ministerie van BZK [1] kwam een winkelcentrum in de gemeente Vlaardingen als risicoproject naar voren. Gekozen is de vloeren te versterken met voorgespannen strippen. Toepassing van voorspanning heeft een aantal aantrekkelijke voordelen.

Het project in Vlaardingen betreft een eenlaags winkelcentrum, dat is voorzien van een 'bollenplaatvloer' die de belastingen in twee richtingen verdeelt naar de kolommenstructuur onder de plaatvloer. Een deel van de vloer is ingericht als daktuin met ontsluiting van de woningen die als tweelaagse woonblokken boven het winkelcentrum zijn gesitueerd. Bijkomende uitdaging vanuit het ontwerp was de afwijkende stramienmaat van de woningblokken ten opzichte van de stramienmaat van de ondergelegen winkels. Hierdoor komt de positie van de dragende betonwanden van de woonblokken niet direct overeen met de positie van de in de winkels opgenomen kolommen. Het winkelcentrum is inmiddels vijf jaar in gebruik, wat de zoektocht naar een adequate analyse van de vloer en het vinden van een bijpassende constructieve versterking complex maakt.

1



Analyse

Uit de eerste analyse van de vloer aan de hand van het in opdracht van BZK opgestelde informatiedocument [1], bleek al snel dat het hier een risicovolle vloer betrof. Een verdere analyse van de vloer op basis van stap 5 en 6 uit het stappenplan was benodigd.

Na analyse van de vloer op basis van NEN 8700 op zowel 'Verbouwniveau' als 'Afkeurniveau' bleven er twee locaties over waarbij de optredende schuifspanning onder de gegeven belasting bij 'Afkeurniveau' hoger waren dan de als voorlopige veilige grens aangemerkte waarde van $0,40 \text{ N/mm}^2$ conform het informatiedocument.

In overleg met de opdrachtgever is dan ook besloten de twee locaties, na het tijdelijk verlagen van de belasting door het beperken van de toegestane nuttige belasting, te voorzien van een constructieve versterking. Het was de vraag welke oplossing hiervoor in aanmerking zou komen.

De volgende oplossingen zijn overwogen:

- uitvoeren van een proefbelasting;
- versterking met (koolstof)lijmwapening;
- versterking met het aanbrengen van verticale ankers in de vloer 'door en door';
- versterking van de vloer met stalen strippen met verlijming en ankers.

Het aanbrengen van een proefbelasting was voor de opdrachtgever niet gewenst. De aanwezig binnentuin is slecht bereikbaar waardoor het aanbrengen van ballast een grote impact zou hebben op de bereikbaarheid van de woningen.

Ook het aanbrengen van lijmwapening was niet gewenst aangezien op het moment van het onderzoek nog weinig bekend was over het effect van delaminatie van de vloer op de lijmwapening.

Voor het door en door aanbrengen van ankers zou de daktuin inclusief de waterdichte laag in de vorm van de dakbedekking moeten worden verwijderd. Tevens zou ter plaatse van de woningen ankers moeten worden aangebracht in de afwerklaag van de woningen. Beide scenario's waren voor de opdrachtgever niet gewenst.

Kortom, er was behoefte aan een nog te ontwikkelen constructieve oplossing. In overleg met de opdrachtgever is gekozen voor een oplossing met een versteviging met twee stalen strip-
 pen, die zowel zijn verlijmd als verankerd. Belangrijk onderdeel van de oplossing is de mogelijkheid om in het midden van het systeem, ter plaatse van de plaatnaad, de strip-
 pen aan elkaar te koppelen met een verankeringsbout. Door deze bout kan het systeem onder een zeker mate van voorspanning worden gebracht (fig. 2).

Bij de twee projectspecifieke kritische plaatnaden waren positieve momenten aanwezig van circa 68 kNm/m¹, bij een vloerdikte van 340 mm en een aanwezige koppelwapening Ø12-150. Dit zou resulteren in een optredende schuifspanning van 0,54 N/mm². Deze schuifspanning is hoger dan de toetsingswaarde van 0,40 N/mm². Uitgangspunt hierbij was de toetsing op basis van 'verbouw'-niveau.

Bij een voorspankracht van 75 kN in de strip-
 pen zou een reductiemoment worden gecreëerd van 24,2 kNm/strip. Bij een hart-op-hartafstand van 600 mm zou dit een reductiemoment van 40,4 kNm/m¹ opleveren (tabel 1). Het resterende moment van 27,6 kNm/m¹ zou hierbij een schuifspanning opleveren van 0,21 N/mm², waarbij uiteraard reductie op basis van aanwezige delaminatie en bollenpatroon in rekening moet worden gebracht. Het systeem met strip-
 pen is echter ontworpen op een maximale systeemkracht van 150 kN per strip, waarbij een totaal optredend moment van 80,8 kNm/m¹ zou kunnen worden opgenomen. Ruim voldoende om bij het wegvallen van de resterende capaciteit van het schuifvlak een veilige situatie te creëren.

Tabel 1 en 2 Momentcapaciteit van versterking bij verschillende vloerhoogten en h.o.h.-afstanden

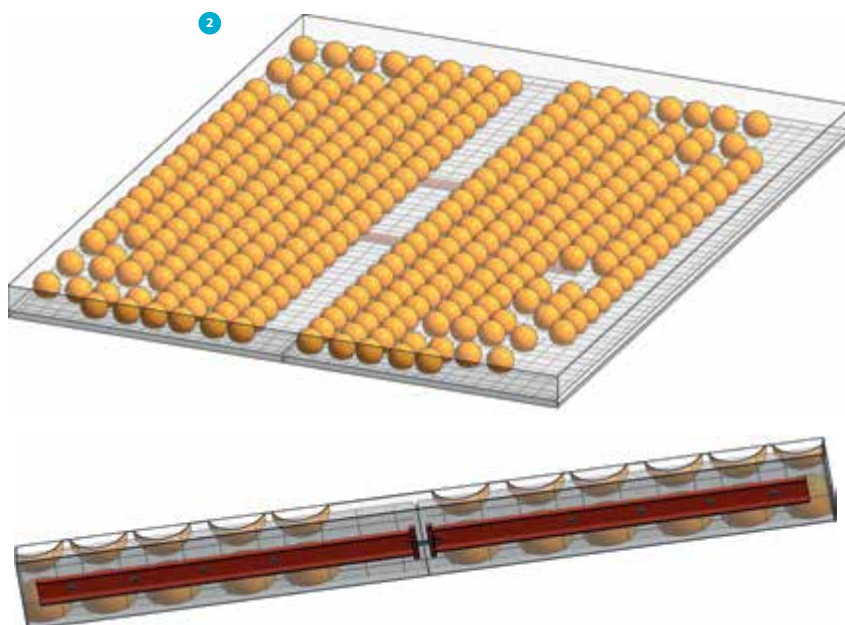
h.o.h.-afstand [mm]	$h_{\text{vloer}} = 340 \text{ mm}$	
	75kN M_{red} [kNm/m]	150kN M_{ugt} [kNm/m]
300	80,8	161,5
600	40,4	80,8
900	26,9	53,8
1200	20,2	40,4

h.o.h.-afstand [mm]	$h_{\text{vloer}} = 450 \text{ mm}$	
	75kN M_{red} [kNm/m]	150kN M_{ugt} [kNm/m]
400	80,2	160,3
800	40,1	80,2
1200	26,7	53,4

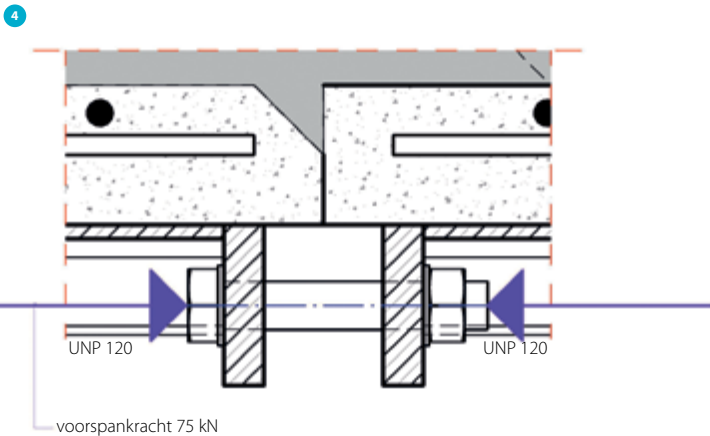
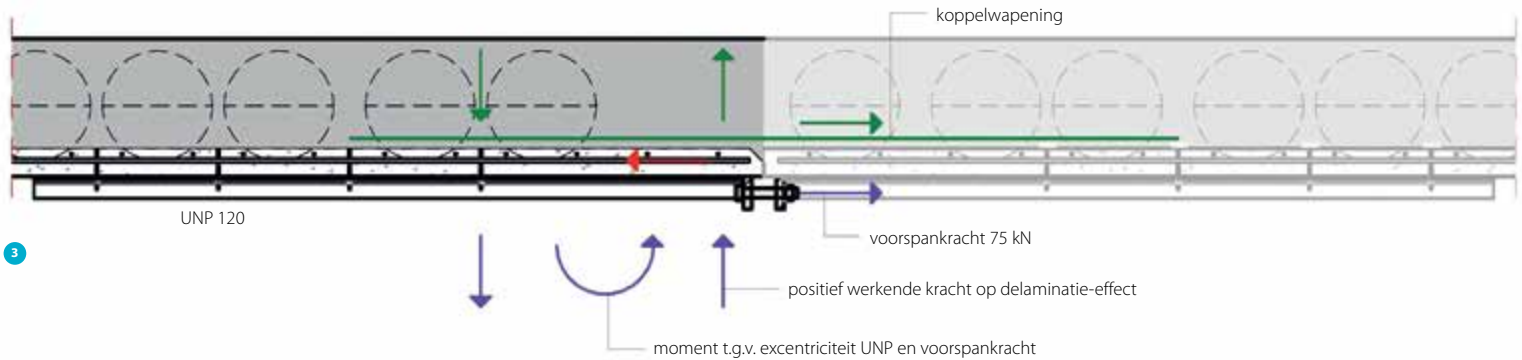
Verlijming van strip- pen en toepassing van ankers

Het verlijmen van de strip-
 pen in combinatie met het toepassen van ankers lijkt een dubbel systeem, wat in feite ook zo is. In basis is het systeem ontworpen om door het toepassen van drie boorankers per strip (Hilti-ankers HST-3 M12) een totale kracht van 75 kN over te kunnen brengen van de strip-
 pen naar de breedplaat (fig. 3). Er is specifiek gekozen voor drie ankers, gebaseerd op de toepasbaarheid van deze ankers in een relatief dun materiaal. Met een boorgatdiepte van maximaal 70 mm past het anker in de breedplaat-
 schil met een dikte van 70 mm, zonder dat hierbij het risico aanwezig is dat de aanwezige koppelwapening wordt doorboord. Uiteraard moet hierbij wel worden voorkomen dat de aanwezige wapening in de breed-
 plaatschil wordt doorboord. Voor uitvoering zal deze dan ook moeten worden gedetecteerd. Het toepassen van drie ankers

- 1 Toe te passen voegwapening op basis van optredende buigende momenten; NEN8700 'verbouwniveau'
- 2 Schematische weergave versterkingsvoorstel



¹⁾ Dick Bezemer heeft het artikel gereviewd namens VNconstructeurs.



- 3 Positief effect op delaminatie
- 4 Principedetail aanbrengen voorspankracht
- 5 Relatie versterking op niet-versterkte zone van de voeg

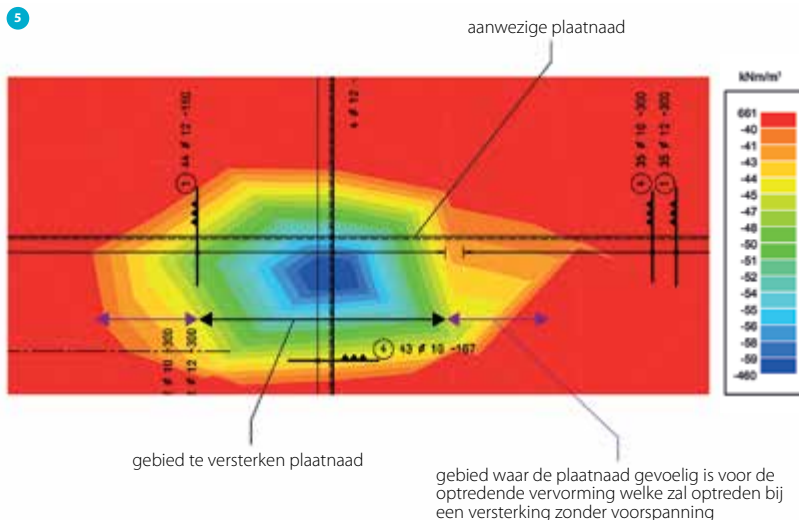
per strip biedt tevens de mogelijkheid het systeem te berekenen met de door de leverancier gevalideerde en beschikbaar gestelde programmatuur.

Met de capaciteit van 25 kN per anker zou het systeem een totaalcracht van 75 kN kunnen overbrengen via de plaatnaad. Deze kracht zou voor de projectsituatie voldoende zijn om, in combinatie met een aanwezige restcapaciteit van het door de koppelwapening gemobiliseerde schuifvlak, de schuifkracht als gevolg van het optredende positieve moment in de betreffende

plaatnaad op te kunnen nemen. Hierbij gaan echter onzekere factoren zoals delaminatie en gladheidsclassificatie (zie kader 'Glad versus zeer glad') van het bestaande afschuifvlak een rol spelen.

Naast de ankers voor het opnemen van de afschuifkracht van 75 kN, die worden aangebracht met boutgatvulling, wordt een vierde anker aangebracht zonder boutgatvulling. Deze is nodig om het moment als gevolg van de excentrische ligging van voorspanbout ten opzichte van de onderzijde van de vloer te compenseren (fig. 3).

Door het toevoegen van een verlijming van de verstevigingsstrippen kan de capaciteit van het systeem worden verhoogd van 75 kN op basis van ankers, naar 150 kN op basis van enkel verlijming. Door toepassing van een verlijming zou door het systeem dus een kracht van 150 kN kunnen worden overgebracht via de plaatnaad. Alleen verlijmen bleek echter geen optie. Verlijming is immers een systeem dat bij brand al vrij snel zijn waarde verliest, waardoor het tevens zijn constructieve werking zal verliezen. Een brandwerende bescherming zou de temperatuur bij brand moeten beperken tot maximaal 80 °C, wat in de praktijk niet haalbaar is. De oplossing met de aangebrachte ankers heeft hier geen last van en kan door een relatief eenvoudige brandwerende afwerking voldoende veiligheid bieden in de brandsituatie.



Voorspanning op basis van vervormingsgedrag

Een belangrijk onderdeel van het versterkingsvoorstel is het aanbrengen van een zekere mate van voorspanning in het systeem (fig. 4). Op basis van de maximaal opneembare ankerkracht (afschuiving) van 25 kN/anker wordt een voorspankracht gehanteerd van 75 kN. Dit levert een aantal aantrekkelijke voordelen op.

Zoals uit de eerste onderzoeken naar aanleiding van het bezwijken van de parkeergarage in Eindhoven is gebleken, lijkt het erop dat het bezwijkmechanisme van de maatgevende plaatnaad een 'bros' bezwijkstelsel is. In de optiek van IMd zou een versterking van een kritische plaatnaad dan ook geen extra vervorming mogelijk moeten maken, indien ook restwaarde aan het basissysteem wordt ontleend in de vorm van afschuiving tussen breedplaatschil en druklaag.

Het aanbrengen van een uitwendige versterking treedt pas in

werking indien er aanvullende vervorming in de vloer optreedt. Deze vervorming is echter op basis van het brosse bezwijkmechanisme van de kritische plaatnaad niet gewenst. Door het aanbrengen van een uitwendige voorspanning op de kritische plaatnaad ontlast dit het aanwezige schuifvlak. Op deze wijze kan de restcapaciteit van het aanwezige schuifvlak worden aangesproken, in combinatie met de aangebrachte voorspankracht.

Het aanbrengen van een voorspankracht heeft tevens een positieve uitwerking op de gebieden naast de kritische plaatnaad waar volgens het beoordelingsprotocol geen versterking benodigd zou zijn. Op basis van een versterking zonder voorspanning zouden deze gebieden een aanzienlijke extra vervorming moeten ondergaan om een uitwendig aangebrachte versterking daadwerkelijk zijn werk te laten doen. Deze aanvullende vervorming zou funest kunnen zijn voor de gebieden naast de beoogde versterking. (fig. 5).

In het versterkingsvoorstel op basis van een uitwendige voorspankracht, kan dus door het aanbrengen van een voorspankracht van 75 kN en bepaling van de restcapaciteit van het aanwezige schuifvlak de opneembare momentcapaciteit worden bepaald. Dit kan worden getoetst aan het optredende positieve moment in de betreffende plaatnaad. Als uiterst bezwijkmechanisme kan dan worden uitgegaan van de maximaal opneembare kracht van 150 kN, waarbij de restcapaciteit van het schuifvlak wordt verwaarloosd. Op deze wijze is altijd een tweede draagweg aanwezig indien de restcapaciteit van het aanwezige schuifvlak zou wegvallen.

Invloed op delaminatie

Een bijkomend positief effect van het toepassen van voorgespannen koppelstrippen onder de vloer is het positieve effect op het delamineren van de breedplaatschil ten opzichte van de druklaag (fig. 3). Door toevoeging van de strippen onder de vloer ontstaat onder de voorspankracht een tegenwerkend momentkoppel, wat het risico op delaminatie reduceert. De totale voorspanning van circa 75 kN wordt opgenomen door het koppel tussen de drukkracht in het systeem ter plaatse van

Glad versus zeer glad

Bij de beoordeling van het bestaande schuifvlak is de gladheidsclassificatie van het aanwezige schuifvlak een zeer belangrijk aandachtspunt. Op basis van de beschikbare productiegegevens is het bepalen van deze classificatie een lastige zaak. Voor het bepalen van de gladheidsklasse wordt in VARCE 12 vraag 39 [2] aanbevolen om voor de oppervlakte-eigenschappen van het aansluitvlak uit te gaan van 'zeer glad'. Bij de beoordeling van een kritische plaatnaad op basis van het versterkingsvoorstel met voorspanning hanteert IMd echter de classificatie 'glad'. De reden hiervoor is het feit dat bij dit specifieke ontwerp rekening wordt gehouden met het compleet ontbreken van de capaciteit van het schuifvlak in de uiterste grenstoestand. De capaciteit van de verbinding is dan ook maatgevend. Uiteraard moet bij aanwezige delaminatie in het betreffende gebied de toelaatbare schuifspanning op nul worden gesteld.

de plaatnaad en het eerste anker Hilti HST3 M12 (zonder boutgatvulling) vanaf de plaatnaad.

Spelen met hart-op-hartafstanden

Zoals in het voorgaande is omschreven, kan op basis van een voorspankracht van 75 kN/strip een negatief moment worden gecreëerd die het optredende positieve vloermoment ter plaatse van de kritische plaatnaad kan reduceren tot een opneembaar moment op basis van de restcapaciteit in het aanwezige schuifvlak.

Op een vrij eenvoudige wijze kan aan de hand van de toe passen hart-op-hartafstanden van de strippen de waarde van het reducerende moment worden bepaald (tabel 1 en 2). Een hart-op-hartafstand in combinatie met de dikte van de betreffende vloer geeft dan ook een reducerend moment per strekkende meter. Uiteraard moet er bij de toepassing van de hart-op-hartafstanden rekening worden gehouden met het aanwezige bollenpatroon.

Stand van zaken uitvoering

Op het moment van uitgeven van dit artikel zullen de eerste strippen in het werk zijn aangebracht. De conclusie is dat met dit voorstel vloerversterkingen kunnen worden gerealiseerd bij licht tot middelzwaar belaste vloeren, waarbij de schuifspanning is beperkt tot maximaal tweemaal de toelaatbare schuifspanning van 0,40 N/mm². ☒

LITERATUUR

- 1 Informatiedocument Onderzoek constructieve veiligheid breedplaatvloeren in bestaande bouwwerken opgeleverd na 1999. Rijswijk: Adviesbureau ir. J.G. Hageman, 5 oktober 2017.
- 2 Varce 12 Detaillering aansluitvlak breedplaatvloeren, Vraag 39 aansluitvlak breedplaatvloeren. *Cement* 2017/7.

OVERIGE BRONNEN

- Rapport 2017 R11127, Onderzoek naar de technische oorzaak van de gedeeltelijke instorting van de in aanbouw zijnde parkeergarage P1 Eindhoven Airport. Delft: TNO, 22 september 2017.
- Rapport 9663-1-0, Bezuiden parkeergarage Eindhoven Airport – Analyse naar de oorzaak. Rijswijk: Adviesbureau ir. J.G. Hageman, 25 september 2017.
- Bouwen aan constructieve veiligheid - Lessen uit instorting parkeergebouw Eindhoven Airport. Den Haag: Onderzoeksraad voor Veiligheid, oktober 2018.
- NEN-EN 1992-1-1:2005 - Eurocode 2: Ontwerp en berekening van betonconstructies - Deel 1-1: Algemene regels en regels voor gebouwen.
- NEN 13747:2005 - Vooraf vervaardigde betonproducten - Breedplaatvloeren.