



Constructie en uitvoering parkeergarage met bollenplaatvloer

# Herbouw **Multi Purpose Building** Eindhoven Airport



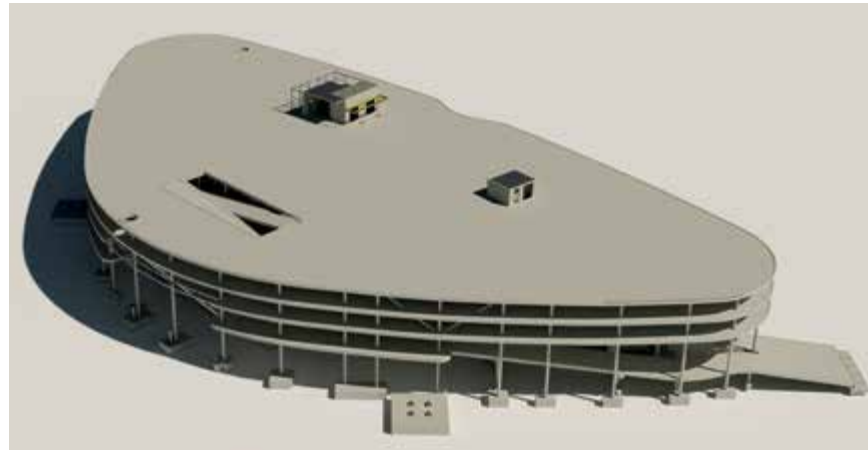
### 3D-model

Het hele gebouw is in een 3D-model gezet. Daarbij is ook de input van de leveranciers gevoegd. In het 3D-model zijn in een vroeg stadium ook de veiligheidsvoorzieningen ten behoeve van de uitvoering opgenomen

*BAM en Eindhoven Airport hebben gezamenlijk besloten tot de herbouw van de parkeergarage P1 Airport Eindhoven. Een geheel nieuw uitvoerings- en engineeringsteam realiseren een kwalitatief beter en constructief veiliger gebouw. De uitvoering is gestart in april 2018 en inmiddels in volle gang. De eerste verdiepingvloeren zijn al gestort en alle vloeren worden weer gerealiseerd met (bollen)breedplaten, uiteraard wel met de nodige aanpassingen.*

ing. Ron van Dijk,  
ir. Vincent van der Wal RO  
BAM Advies en Engineering

- 1 Impressie van de nieuwe P1 parkeergarage bij Eindhoven Airport
- 2 Overzicht constructie



De parkeergarage is onderdeel van het Multi Purpose Building. Dit MPB moet onderdak bieden aan:

- een commerciële zone op de begane grond (o.a. McDonalds) en een HOV-busterminal die Eindhoven Airport zal verbinden met het centrum van Eindhoven;
- op de eerste verdieping een laag ingericht voor verkeer van Arrivals & Departures (Kiss and Ride);
- op de tweede, derde en vierde laag: parkeren.

### Tekortkomingen constructie

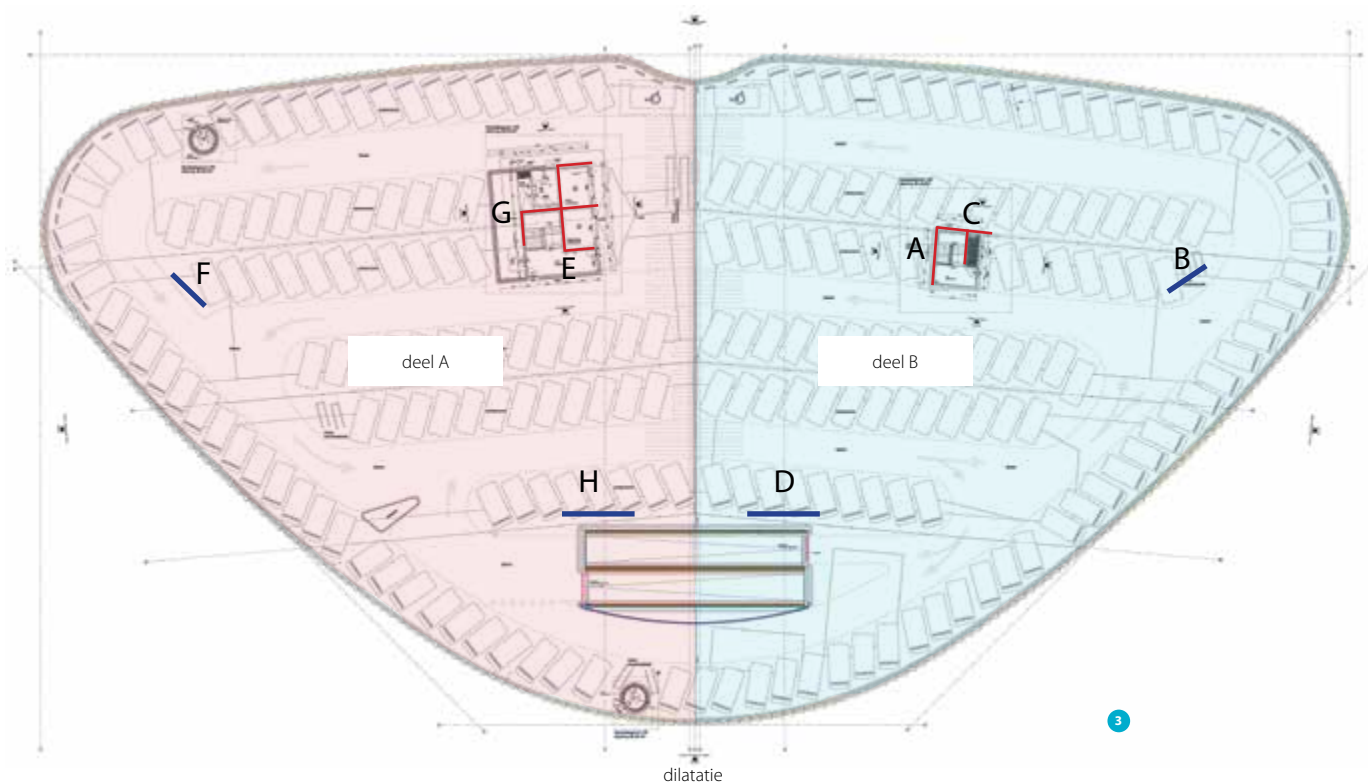
Aanleiding voor de herbouw was de gedeeltelijke instorting op 27 mei 2017, op het moment dat de parkeergarage nog in aanbouw was. Uit alle onderzoeken naar de oorzaak van deze instorting kwam de conclusie dat de meest aannemelijke oorzaak was: onvoldoende afschuifsterkte van het aansluitvlak tussen de prefab breedplaat en de ter plaatse gestorte druklaag. Dit resulteerde in te weinig momentcapaciteit in het veld van de vloer ter plaatse van de langsnaden tussen de breedplaten. Voor een samenvatting van de onderzoeken wordt verwezen naar het artikel 'Oorzaken instorting parkeergarage Eindhoven', elders in dit nummer.

Uit onderzoek van BAM en Adviesbureau Hageman B.V. zijn naast de tekortkoming in de vloer ook een aantal andere tekortkomingen geconstateerd in de constructie van het MPB. Deze tekortkomingen hebben niet direct geleid tot de instorting, maar waren wel voldoende ernstig om het gehele gebouw opnieuw door te rekenen en daar waar nodig te verbeteren.

### Opzet constructief ontwerp

De hoofdconstructie bestaat uit een skelet van in het werk gestorte vloeren en kolommen (fig. 2). Het bouwwerk bestaat uit twee vrijwel identieke delen. De twee delen zijn met een dilatatie van elkaar gescheiden. Elk bouwdeel is op zichzelf gestabiliseerd. De stabiliteit wordt verzorgd door de twee betonkernen (wanden bij G-E en A-C) en enkele stalen wind-





verbanden (F, H, D, B) (fig. 3). De betonwanden worden in het werk gestort en hebben een dikte van 250 mm. De kolommen zijn ingeklemd in de fundering en nemen ook een klein deel van de stabiliteitskrachten op. De kolommen hebben, afhankelijk van de belasting, verschillende diameters van 450, 600 en 750 mm. De fundatie bestaat uit poeren met twee of meerdere mortelschroefpalen met een diameter van 550 mm, waarbij de paalwapening tot 4 à 5 m onder de poer reikt. De vloeren hebben een dikte van 450 mm en zijn op afschot gestort. De vloeren worden uitgevoerd met voorgespannen bollenplaatvloeren in combinatie met in het werk gestorte stroken.

### Noodzakelijke aanpassingen

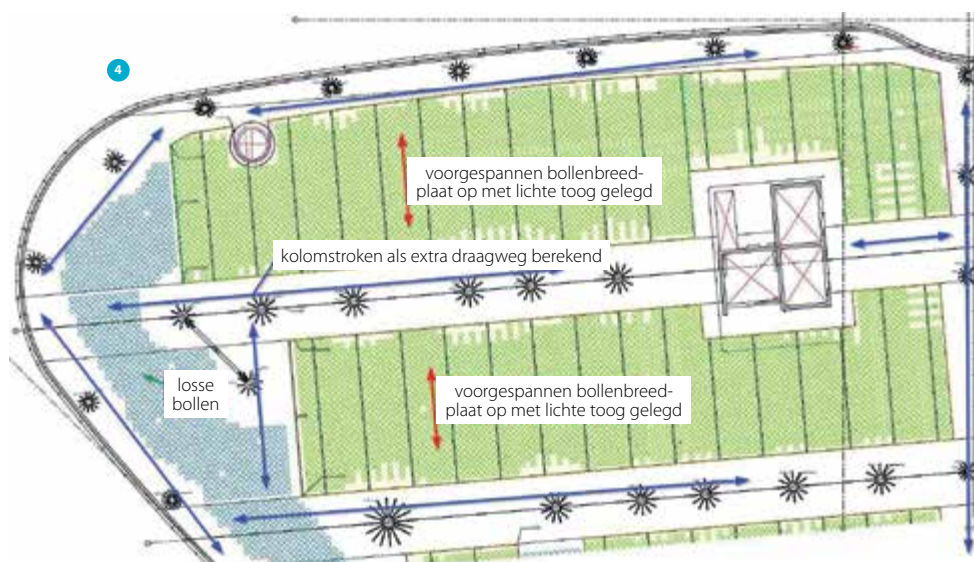
Zoals gezegd, bleek het nodig de gehele constructie opnieuw te beschouwen. In het oude plan waren een aantal zaken onderbelicht of niet beschouwd, zoals:

- horizontaalkracht uit de stabiliteitselementen op de fundatie;
- beschouwing van de temperatuur en de effecten hiervan op de constructie;
- brandwerendheidsvoorzieningen staal;
- kolom-vloerverbinding;
- detaillering ponswapening;
- aanrijdbelasting kolommen;
- positionering van de leidingen in de vloer.

Daarnaast bleven de uitgangspunten van het oorspronkelijke ontwerp geldig. De afgegeven omgevingsvergunning moest worden gevolgd. De vormgeving van de garage ligt daarmee dus vast en het toepassen van bijvoorbeeld extra kolommen was niet mogelijk.

Bij de engineering van de nieuwe garage is van de volgende zaken uitgegaan:

- handhaving gebouw- en verdiepingshoogte;
- handhaving vrije ruimte en dus dezelfde vloerdikte;
- handhaving vloergewicht om bestaande fundatie te hergebruiken;
- hergebruik bestaande fundatie;
- BREEAM-eis zo veel mogelijk volgen;
- volledig nieuwe beschouwing gehele hoofdconstructie in 3D-rekenmodel;
- nieuwe beschouwing vloersysteem;
- verwerking van genoemde noodzakelijke aanpassingen;
- herzien uitvoeringsplan en aanscherping kwaliteitsborging uitvoering.



- 3 Plattegrond met stabiliteits-elementen
- 4 Deelplattegrond eerste verdieping met plaatindeling en in het werk gestorte delen

## Hergebruik fundatie

Uitgangspunt voor de herbouw was het gebruik van de al aanwezige fundatie. Er moest echter rekening worden gehouden met de herziene belastingen vanuit de opbouw, onder andere uit de inklemming van de kolommen en de aanrijdbelasting. Ten gevolge van paalbreuk door de instorting of sloop zijn op verschillende posities extra palen geplaatst.

In samenspraak met de geotechnisch adviseur zijn de juiste veerstijfheden van de paalfundering bepaald, om deze vervolgens in het EEM-model mee te kunnen nemen. De palen zijn na de sloop van de garage opnieuw akoestisch doorgemeten. Dit moest van onder de fundatie gebeuren, omdat metingen vanaf de bovenkant fundatie geen juist beeld geven. De metingen zijn op de zijkant van de palen uitgevoerd op een inkeping in de paal. Door vergelijking van de nieuwe metingen met de metingen uit juli 2016 is uiteindelijk bepaald welke palen niet meer gebruikt konden worden. In totaal zijn 72 nieuwe palen aangebracht.

## Vloerconstructie

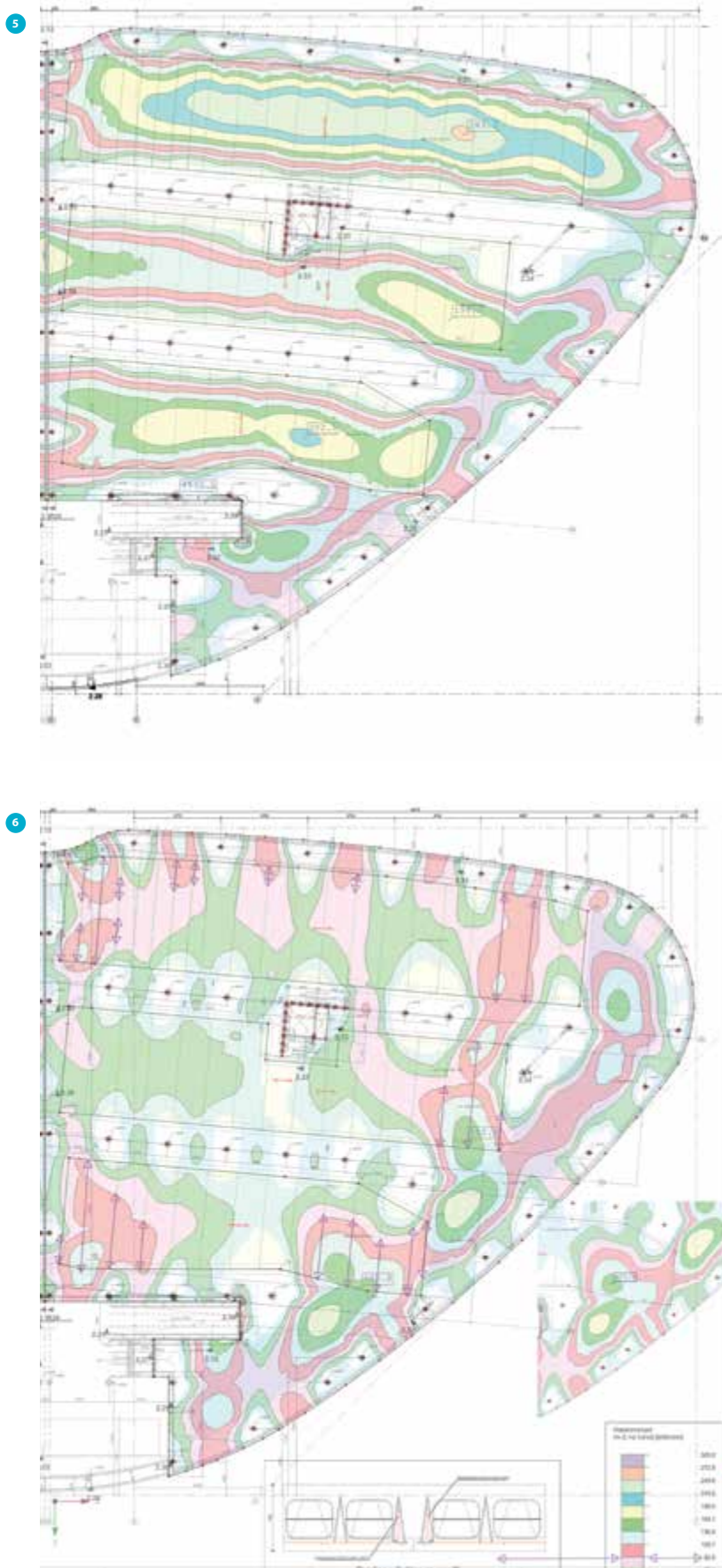
De nieuwe vloer moest minimaal in een dikte van 450 mm worden uitgevoerd, overeenkomstig het oude plan. Ook het gewicht moest overeenkomen met het oude ontwerp in verband met het hergebruik van de fundatie. Het was dus noodzakelijk gewichtsreductie in de vloer aan te brengen. Vanuit de uitvoering was er het verzoek een deel van de vloer met breedplaten uit te voeren, zodat de gewichtsreducerende elementen in de fabriek konden worden aangebracht.

Om te bepalen of de vloer met eerdergenoemde randvoorwaarden kon worden gerealiseerd en voldoende vertrouwen kon krijgen van alle betrokken partijen, is in samenwerking met de leverancier van het Cobiax-systeem (Gelissen Beton) een proeven serie opgezet. Aan de hand van deze proeven is onderzocht of deze vloer veilig kon worden uitgevoerd.

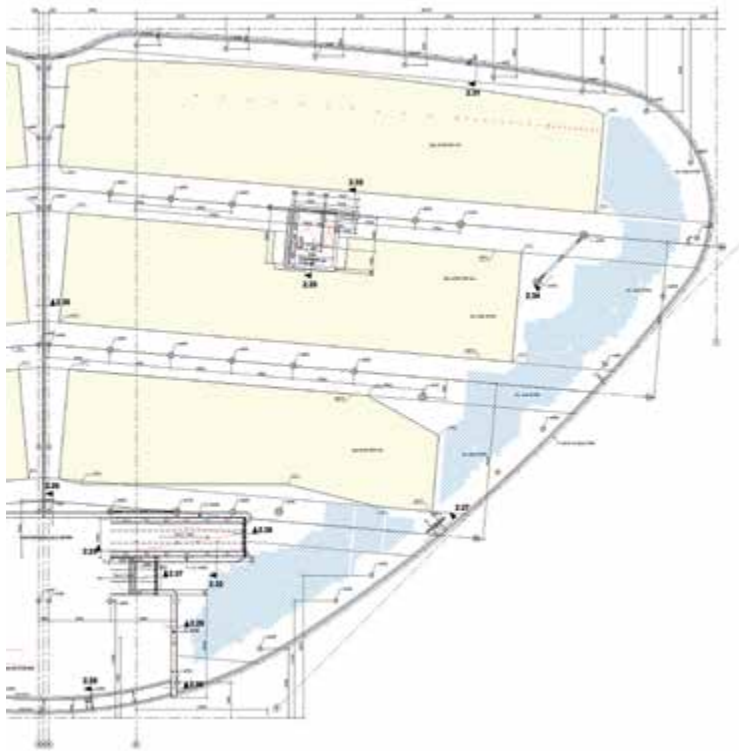
Bij de engineering en uitvoering van de vloeren zijn de volgende aandachtspunten meegenomen:

1. Breedplaten in één richting overspannen, overeenkomstig de richting van de hoofdmomenten, en meer in het werk gestorte gebieden (o.a. kolomstroken) (fig. 4). Hierdoor blijft de toepassing van kritische voegen tot een minimum beperkt.
2. Verschillende berekeningswijzen: naast een volledige berekening van de vloer in een EEM-, is de vloer ook uitgerekend als in één richting overspannende vloerplaten die de belasting afdragen in verborgen in het werk gestorte stroken boven de kolommen (berekening als ligger).

- 5 My-momenten volgens EEM met legplan breedplaat en in het werk gestorte delen
- 6 Mz-momenten volgens EEM met legplan breedplaat en in het werk gestorte delen







7

7 Overzicht in situ en breedplaat tweede verdieping deel B

3. Verbetering van de verbinding bij de naden in de vloer op basis van resultaten van experimenteel onderzoek.
  - a. Experimenteel onderzoek.
  - b. Verwerking proefresultaten in oplossing voor MPB.
4. Overige verbeteringen:
  - Betere interactie tussen kolommen met vloeren met aandacht voor juiste verwerking van de ponskracht in de detaillering. Kolommen mee laten werken in de stabiliteit, waardoor een juist krachtenspel in de knopen met fundatie en vloeren ontstaat. Hiervoor zijn ook de kolommen in eenzelfde diameter tot aan de bovenste (dak)vloer doorgevoerd.
  - Juiste temperatuurbeschouwing door deze in de EEM mee te nemen, met op de dakvloer een hogere temperatuurgradiënt.
  - Maatregelen ter verkleining van de scheurwijdte ( $w \leq 0,15$ ) aan de bovenzijde van de vloer.
  - Verbetering ligging van de leidingen in de vloer (door afstemming in 3D-model met de bollen in de vloer).
  - Aandacht voor afwatering.
5. Optimaliseren onderstempelingsplan, schrikplan en monitoring van de betonsterkteontwikkeling.

### 1-2: Ander legplan en andere berekeningswijze

Van de gehele constructie is een EEM gemaakt. Resultaten uit het model zijn gecontroleerd met handberekeningen volgens richtlijnen COBc, waarbij ook de invloeden van uiterste materiaaltijfheden zijn beoordeeld.

De vloerwapening is bepaald op basis van dit EEM-model. Zowel onder- als bovenwapening (incl. de voorspanwapening in de breedplaten).

Zoals gezegd wordt de vloer ten behoeve van extra veiligheid berekend als een in één richting overspannende vloer. De vloeren dragen de belasting daarbij af aan verborgen stroken over de kolommen, die als ligger worden berekend. Dit is een tweede draagsysteem (naast de berekening van in twee richtingen met het EEM). De maatregel is ook genomen in verband met de onduidelijkheid over een toekomstige aanpassing van regelgeving rond dit soort vloeren. De stroken over de kolommen zijn ook berekend op een tweede draagweg indien een kolom wegvalt. Dit is beschouwd als een bijzonder belastingsgeval met aangepaste belastingsfactoren.

### Ter plaatse gestorte vloerdelen

In gebieden waar geen breedplaat is toegepast in verband met de in twee richtingen aanwezige grote veldmomenten, worden losse Cobiax-bollen geplaatst (fig. 7). Deze bollen zijn noodzakelijk om de benodigde gewichtsreductie te realiseren. De uitvoering hiervan gebeurt in twee verschillende stortstapen. De stort van de eerste laag beton van circa 110 mm is nodig om het wapeningsrekje van de bollen goed te verankeren tegen opdrijven van de bol. Deze laag wordt enkele dagen vóór de definitieve stort aangebracht. Voor de samenwerking tussen de twee betonlagen worden hier extra tralies en verticale stekken in het betreffende vloerveld aangebracht. Deze verbinding is berekend op de optredende langsschuifspanning, waarbij de classificatie 'glad' conform NEN 1992-1-1+C2:2011 art. 6.2.5 wordt aangehouden ( $c = 0,2$  voor het betonaandeel en  $\mu = 0,6$  voor het wapeningsaandeel). De vloer is vervaardigd met traditioneel grindbeton (niet-zelfverdichtend) met een nominale korrel 16.

### 3a: Verbetering verbinding bij naden – Experimenteel onderzoek

Bij de start van de engineering van de parkeergarage is veel aandacht besteed aan de toepassing van de bollenplaatvloer. Samen met de leverancier is een serie proeven uitgevoerd. Naast de beproeving van de in het verleden toegepaste configuratie van de vloer, zijn ook verschillende andere configuraties beproefd. In totaal zijn voor zes verschillende configuraties elk drie proefstukken vervaardigd en beproefd in het Structures Laboratory Eindhoven van TU/e:

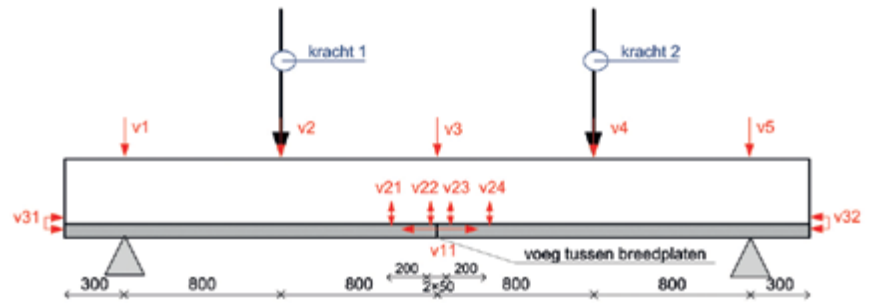
1. bestaand Cobiax-systeem 70 mm breedplaat;
2. bestaand Cobiax-systeem 90 mm breedplaat;
3. 90 mm breedplaat voor MPB versterkt met tralie;
4. 90 mm breedplaat voor MPB versterkt met tralie (korte koppelwapening);
5. 90 mm breedplaat voor MPB versterkt met wapening uit de plaat;
6. 90 mm breedplaat kopvoeg voor MPB.

Doel van het onderzoek was aan te tonen dat de afschuifcapaciteit van de voeg aan de gestelde eisen voldoet. Het onderzoek is opgezet op basis van dezelfde uitgangspunten als het onderzoek dat is uitgevoerd naar aanleiding van de gedeeltelijke instorting en het onderzoek dat voor het ministerie van BZK wordt uitgevoerd in het kader van de breedplaatproblematiek.

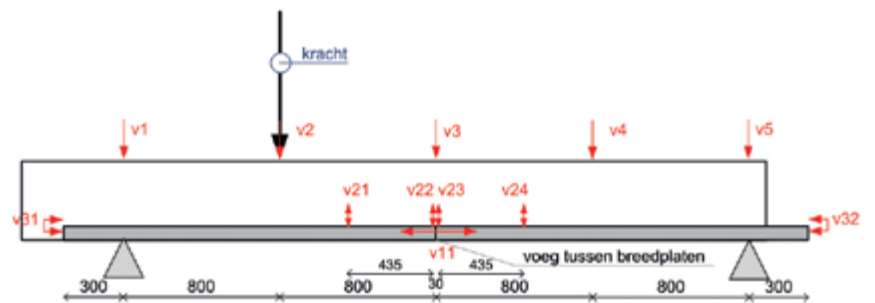
Proef 1 en 2 zijn uitgevoerd om inzicht te krijgen in de afschuifcapaciteit van de Cobiax-vloeren die in het verleden zijn geproduceerd. Voor de realisatie van het MPB is gekozen deze niet toe te passen, dus daar wordt verder niet op ingegaan. Proeven van serie 3 t/m 5 zijn uitgevoerd met vierpuntsbuigproeven (fig. 8). Serie 6 is beproefd met een driepuntsbuigproef (fig. 9).

### Resultaat proef 3

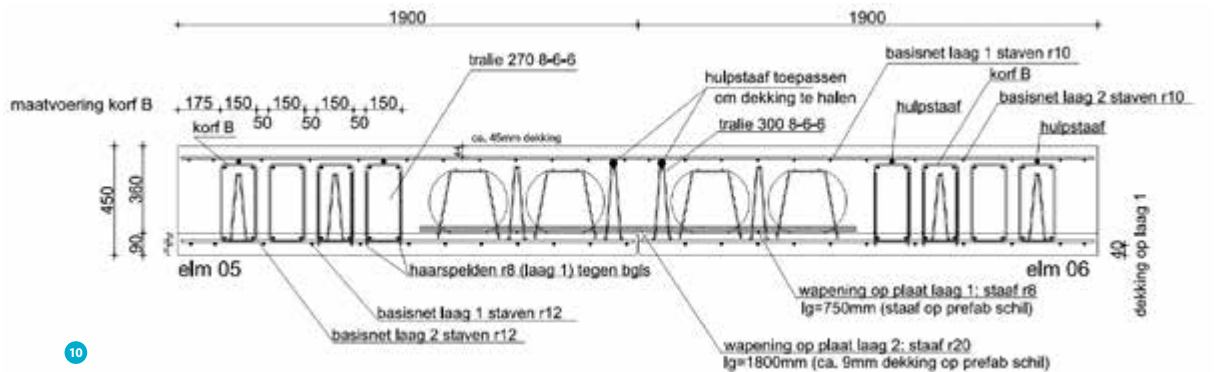
In proefstuk 3 is op de rand van de plaat een extra tralie geplaatst. Door deze extra tralie is de verdeling van de bollen en overige tralies over de breedte van de breedplaat gewijzigd ten opzichte van de configuratie in het verleden. In totaal zijn nu zes tralies in een breedte van 3 m aanwezig. In het verankeringsgebied van de koppelwapening bevinden zich nu twee tralies (fig. 10).



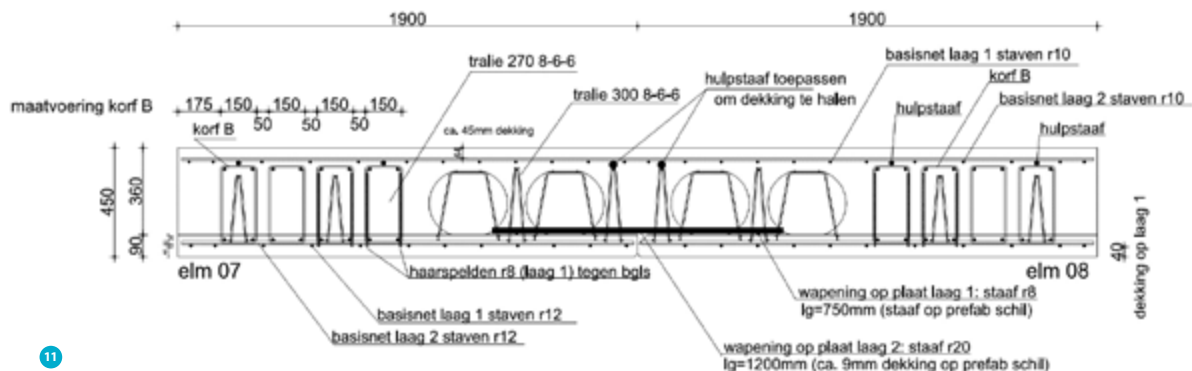
8



9



10



11

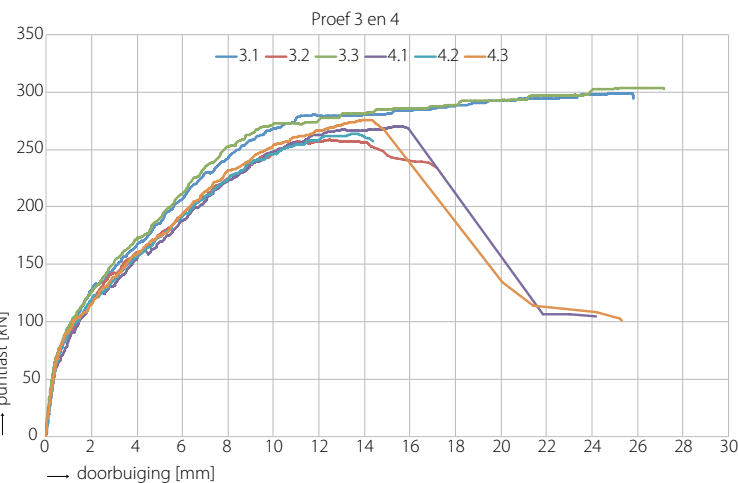


12

- 12 Bezijken proefstuk 3.2
- 13 Last-doorbuigingsgrafiek proef 3 en 4
- 14 Wapening van element proef 5 (wapening uit de breedplaat)
- 15 Eindpunt test proefstuk 5.3
- 16 Last-doorbuigingsgrafiek 5.1, 5.2 en 5.3

Duidelijk is dat de horizontale afschuifbreuk in het overdrachtsgebied over de gehele lengte van de staaf plaatsvindt en de verticale breuk achter de koppelstaaf optreedt (foto 12).

De bezwijkkracht van proef 3.1 en 3.3 is gemiddeld 300 kN (fig. 13). Dit komt overeen met een moment van circa 240 kNm en een schuifspanning in het aansluitvlak van circa 1,0 N/mm<sup>2</sup>. Het bezijken van het proefstuk vindt pas plaats bij een grote verplaatsing door het vloeien van de koppelwapening. Het proefstuk laat een ductiel gedrag zien. Bij proef 3.2 is een afwijkend gedrag waargenomen. Daar is delaminatie opgetreden bij een vjzkelkracht van 258 kN.



13

#### Resultaat proef 4

De proefstukken 4 zijn identiek aan de proefstukken 3 met uitzondering van de lengte van de koppelwapening. De koppelwapening is bij proefstuk 4 1200 mm ten opzichte van de lengte van 1800 mm in proefstuk 3 (fig. 11). De bezwijkkracht bij proef 4 is gemiddeld 270 kN. Wat overeenkomt met een moment van circa 215 kNm en een afschuifspanning in het aansluitvlak van circa 1,3 N/mm<sup>2</sup>. Het proefstuk bezwijkt door het ontstaan van een horizontale scheur in het aansluitvlak tussen de breedplaat en de druklaag. De eerste tralieligger bij de voeg tussen de breedplaten is uit de breedplaat getrokken.

#### Resultaat proef 5

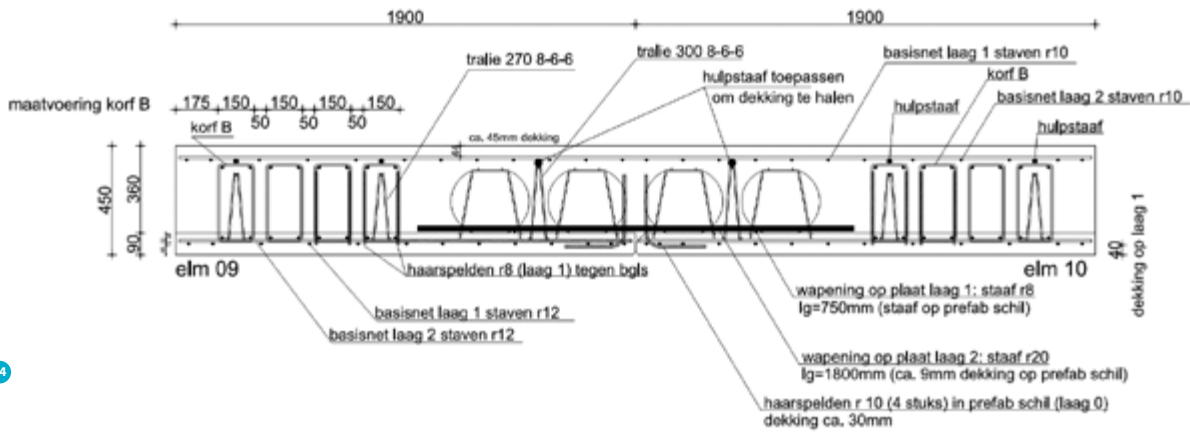
In proefstuk 5 is in plaats van de tralieligger wapening in de vorm van haarspelden toegepast op de plaatrand (fig. 14). De toegepaste hoeveelheid haarspeldwapening is 50% van de koppelwapening.

De proef is gestopt bij een kracht tot 300 kN in de vjzels (fig. 16). Dit komt overeen met een moment in het proefstuk van 245 kNm. De proef is gestopt omdat de koppelwapening vloeide en er dus alleen nog maar een grotere verplaatsing werd gemeten en geen toename van de vjzkelkrachten was te meten. Het proefstuk liet een nog ductieler gedrag zien dan proefstuk 3. De ontstane scheurvorming in het proefstuk komt vrijwel overeen met een monoliete constructie (foto 15).

#### Resultaat proef 6

Met proef 6 is inzicht verkregen in het gedrag van de koppeling tussen twee breedplaten indien in de verbinding naast een

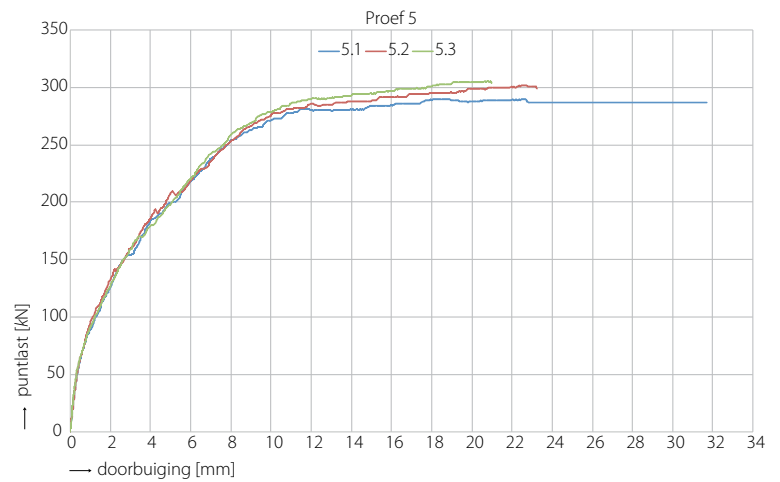




14

moment ook een dwarskracht aanwezig is. De proefopstelling is aangepast op zo'n wijze dat aan één zijde van de plaatnaad met de vijzels een kracht wordt aangebracht. Het element is 1,55 m breed gemaakt zodat er drie tralies in het proefstuk aanwezig zijn (fig. 17 en 18).

Resultaat bij twee proeven (6.2 en 6.3) is een vijzel-bezwijkkracht van 800 kN met een normaal scheurpatroon. Het derde proefstuk (6.1) is niet tot bezwijken belast, omdat de capaciteit van de toegepaste krachtmeetdozen daarvoor te beperkt was. De andere twee proefstukken zijn bezweken door het vloeien van de koppelwapening. Ter plaatse van de naad tussen de breedplaten is het bezwijkmoment  $320 \text{ kNm} / 1,55 \text{ m} = 206 \text{ kNm/m}$  en de bezwijkdwarskracht  $V_{\text{max}} = 200 \text{ kN} / 1,55 \text{ m} = 129 \text{ kN/m}$  (foto 19 en fig. 20).

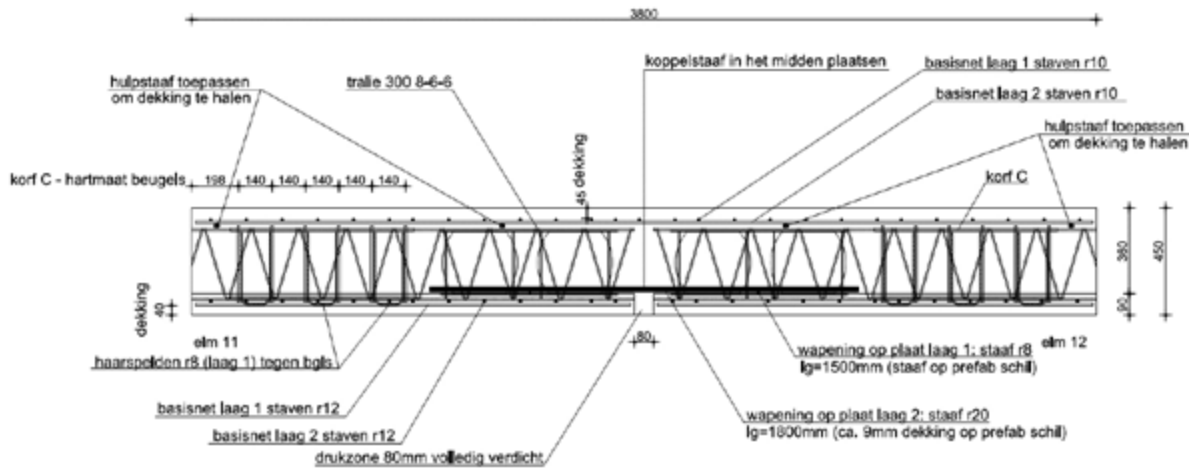


16

15





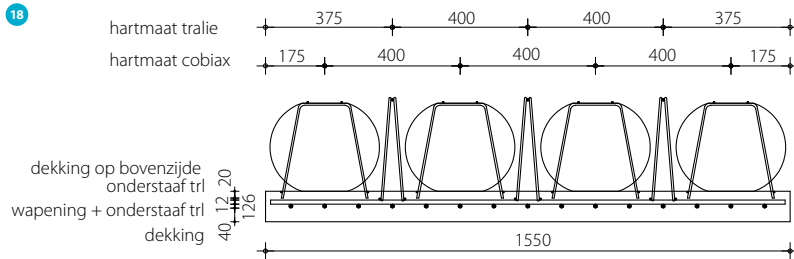


17

### 3b: Verbetering verbinding bij naden – Verwerking proefresultaten

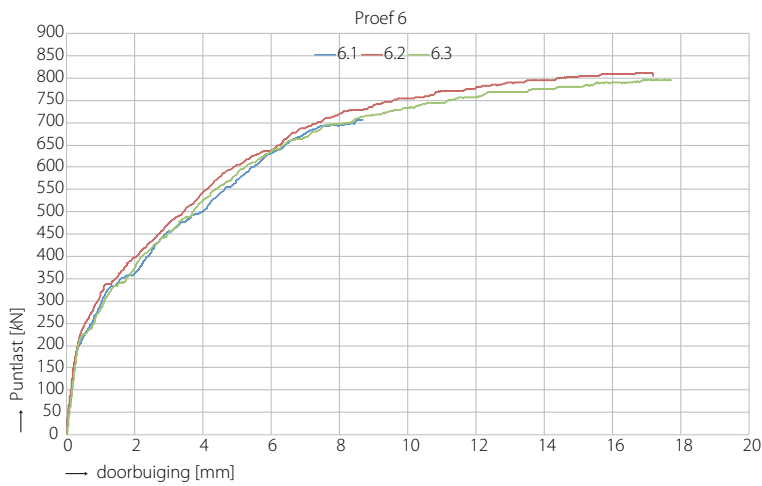
De toegepaste (bollen)breedplaat met een dikte van 90 mm is vervaardigd met zelfverdichtend beton (ZVB) met voorspanwapening. Aan de voorspanwapening wordt een (B500B) wapeningsnet toegevoegd voor de wapening in secundaire draagrichting. De dikte van de breedplaat wordt bepaald door de ligging van de voorspanstrengen en de benodigde dekking aan de onderzijde voor de 120 minuten brandwerendheid van de vloer. Maar ook de dekking aan de bovenzijde is van belang om de (bollen)rekjes te verankeren tegen opdrijven.

In de fabriek wordt in een lange baan de voorspanwapening en verdeelwapening aangebracht. Na het storten van de 90 mm ZVB in de mal worden rekjes met Cobiak-bollen aangebracht, waarbij het wapeningsrekje tot op de hoofdwapening in de



18





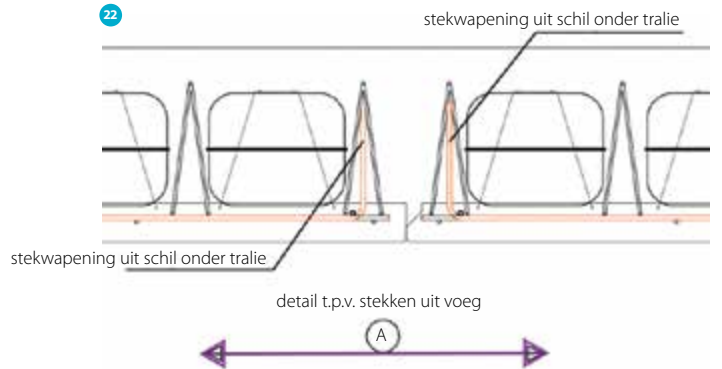
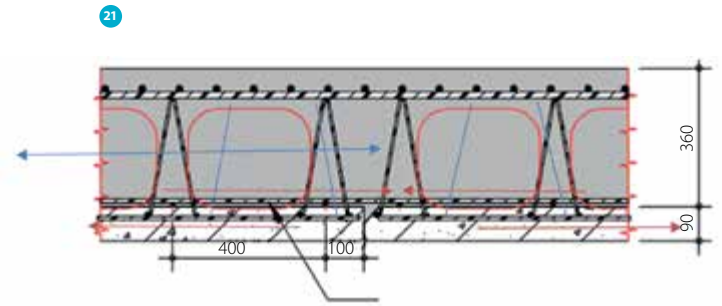
20

beton wordt gedrukt. Op deze manier is de kans op ontmenging van het beton in de breedplaat gering. Op basis van de aanwezige tralies en de ruwheid van het betonoppervlak wordt de sterkte van het overdrachtsgebied bepaald en daarmee de benodigde koppel(voeg)wapening op de naad. Verdeeltaven zijn onder de koppelstaven aangebracht om deze een betere verankering te geven.

#### Langsnaden

Bij de langsnaden naast de eerste bol is aan weerszijden een extra tralie aangebracht ter voorkoming van delaminatie (fig. 21). De eerste tralie zorgt ook voor de opvang van de verticale spanningen langs de rand. Dit blijkt ook uit de onderzoeken die zijn verricht, waarbij de inleiding van de eerste scheurvorming op de plaat is te zien. De eerste tralies staan in het overdrachtsgebied van de koppelstaven en zorgen samen met de betonwrijving voor de opname van de schuifspanning in het aansluitvlak. Deze configuratie is beproefd in de proevenserie 3 en 5.

De lengte van het overdrachtsgebied wordt bepaald op basis van de minimaal benodigde overlappingslengte tussen de koppelstaaf en de wapening in de breedplaat. Voor een situatie met maximaal 2 Ø16 h.o.h. 400 mm (tussen afstand bollen) is de overlappingslengte conform de norm bepaald op 1020 mm.

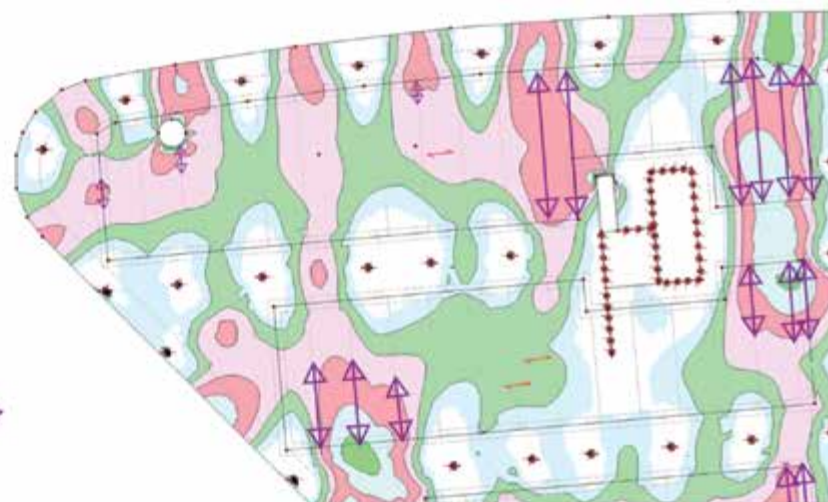
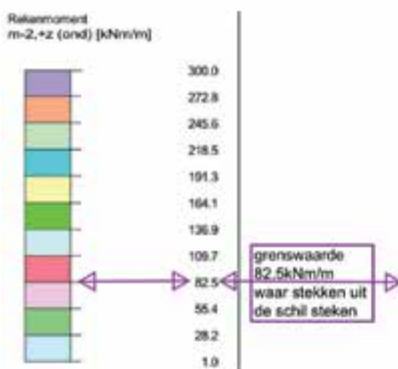


Toegepast wordt een staaflengte van 2100 mm.

Op basis van de proeven is een verantwoorde grens gesteld met als maximaal moment  $M_{rdi} = 82,5 \text{ kNm/m}$  ( $F_t = 250 \text{ kN/m}$ ), waarbij de extra randtralie (conform proef 3) wordt toegepast. In de proevenserie is een bezwijkmoment van  $240 \text{ kNm} / 0,8 \text{ m} = 300 \text{ kNm/m}$  behaald.

Voor de waarden boven deze  $M_{rdi} = 82,5 \text{ kNm/m}$  worden volgens de aanbeveling van VARCE 12 – vraag 39 extra verticale stekken langs de plaatrand aangebracht ter grootte van 50% van de koppel- of plaatwapening (fig. 22). Dit is beproefd in serie 5. In figuur 23 zijn deze gebieden aangegeven. In verband met de arbeidsveiligheid is besloten om over de uitstekende wapening nog een tralie te plaatsen. Op deze manier kan veilig over de vloer worden gelopen en is er geen gevaar door de rechtopstaande stekwapening.

23



- 17 Wapening van element proef 6
- 18 Dwarsdoorsnede proefstuk 6
- 19 Eindpunt proefstuk 6
- 20 Last-doorbuigingsgrafiek 6.1, 6.2 en 6.3
- 21 Doorsnede toegepaste vloer
- 22 Detail plaatrand met stekken
- 23 Overzicht plattgrond met aanduiding van stekken i.p.v. tralie langs plaatrand



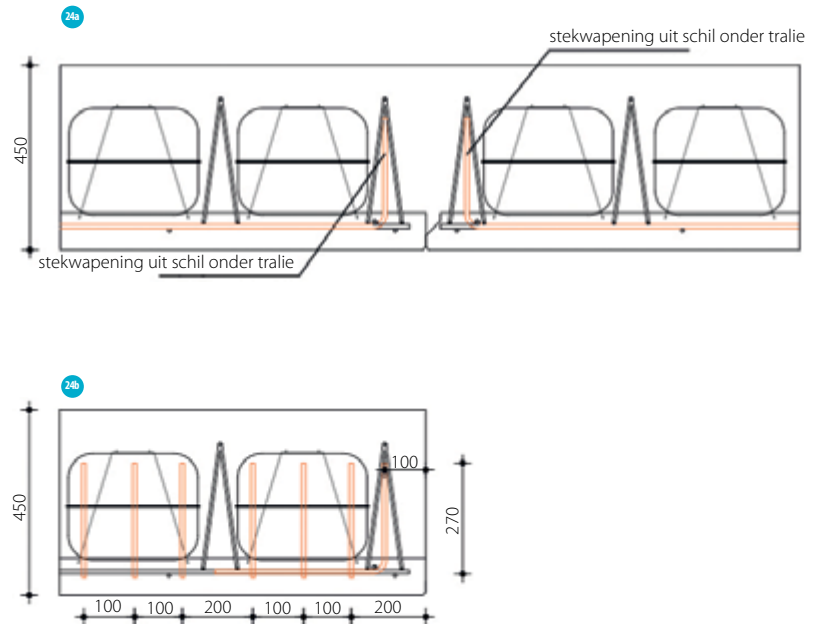


25

### Kopnaden

Aan de kopse kant van de plaat, nabij het momentennulpunt, wordt de verbinding voornamelijk op dwarskracht belast. Uit de onderzoeken (proevenserie 6) blijkt een normaal bezwijkpatroon te ontstaan. Alleen in de vierde verdieping (dakvloer) worden bij de kopnaden stekken geplaatst in verband met de hoge momenten uit de temperatuurgradiënt.

De op te nemen schuifkracht in het overdrachtsgebied wordt dus bepaald door aanwezige verticale wapening samen met de betonwrijving. De opneembare kracht van de tralies en de wapeningsstekken wordt bepaald volgens de norm NEN-EN 13747. Het betonaandeel wordt bepaald op basis van de oppervlakte van het overdrachtsgebied (op 100 mm vanaf de rand), met een reductie van 31% door Cobix-bollen,  $c = 0,2$  en  $\mu = 0,6$  bij 'glad', en  $f_{ctd} = 1,5 \text{ N/mm}^2$  (C35/45). Op basis van alle uitgevoerde proeven is dit een veilige benadering.



## 4: Overige verbeteringen

### Temperatuurbeschouwing vloeren

Er wordt uitgegaan van extreme temperatuurbelastingen: in de winter  $-25 \text{ }^\circ\text{C}$  en in zomer  $30 \text{ }^\circ\text{C}$  (1e t/m 3e verdieping) en voor de dakvloer  $45 \text{ }^\circ\text{C}$  gemiddeld ( $\Delta T_u = +35 \text{ }^\circ\text{C}$ ).

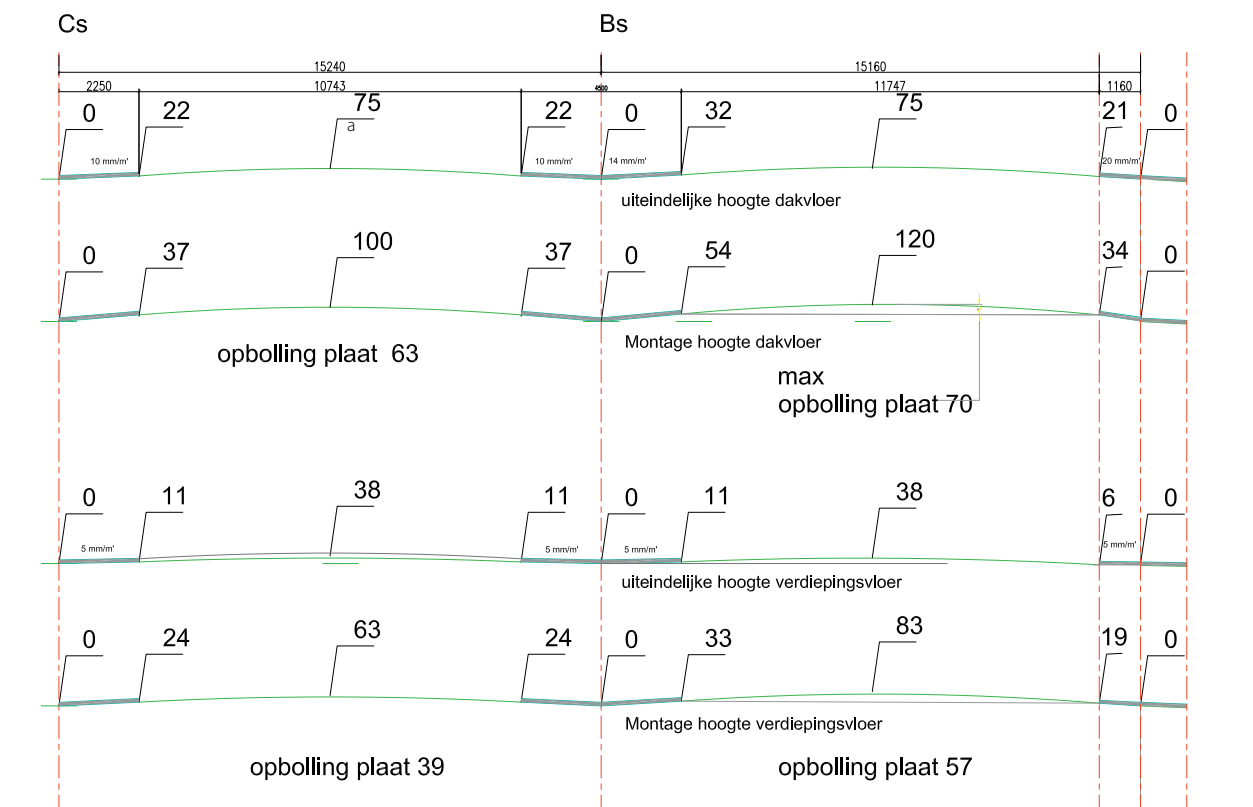
Op basis van de afwerking (kleur coating) op de bovenkant van de dakvloer wordt er aan de onder- en bovenkant van de vloer een temperatuurgradiënt van in totaal  $22 \text{ }^\circ\text{C}$  over de vloerdikte aangehouden. Deze temperatuurgradiënt veroorzaakt aan de onderkant van de gehele dakvloer een verhoogde spanning. Voor de opname van deze spanningsverhoging worden in de dakvloer, zowel bij de langnaad als bij de kopse kant van de plaatrand, extra opgebogen stekken toegepast (fig. 24).

### Maatregel ter verkleining scheurwijdte

Om scheurvorming nog meer te beperken en overeen te laten komen met de maximaal toelaatbare scheurvorming voor de coating op de vloer, is de scheurwijdte-eis naar  $w \leq 0,15$  gebracht, in plaats van de lichtere eis volgens voorschrift van  $w \leq 0,20$ . Dit betekent wel meer bovenwapening in de vloer. Bij de locatie van de kolommen is ten behoeve van de uitvoerbaarheid van het betonstorten, de bovenwapening in meerdere lagen aangebracht. Daarnaast is er in afwijking met het oude plan, nu over het gehele vloerveld een basisbovennet toegepast.

### Verbetering positie leidingen in de vloer

Bij het nieuwe plan is veel aandacht geschonken aan de leidingen in de vloer. De leidingen zijn in het 3D-model gemodelleerd en gecontroleerd. Bij het ontwerp van de leidingen is rekening gehouden met de locatie van de bollen. Zo zijn ook halfhoge bollen toegepast, waarop de leidingen gebundeld zijn aangebracht (foto 25).



- 24 Toepassing extra opgebogen stekken, bij de langsnaad (a) en bij de kopse kant van de plaatrand (b)
- 25 Leidingen op bollen met halve hoogte
- 26 Vereiste toog
- 27 Wireframe met toogplan

26

#### Aandacht voor de te bereiken afwatering

De afwatering van de vloeren is een belangrijk aandachtspunt in het ontwerp. Door de grote overspanningen is dit ook een kritisch onderdeel. Hoe gedraagt de constructie zich bij het schrikken van de vloer, hoeveel kruipt de vloer nog en wat is de doorbuiging in het gebruik?

In samenwerking met de leverancier van de voorgespannen breedplaten is een stijfheid van de vloer bepaald. De E-modulus is rekenkundig vastgesteld op  $E = 12.000 \text{ N/mm}^2$ . Uit de uiteindelijk gemeten vervorming bleek deze waarde een realistische keuze.

Na het schrikken van de eerste- en tweede verdiepingsvloer bleken de gemeten vervormingen goed overeen te stemmen met de berekende vervormingen. Op basis van de berekeningen is een toogplan gemaakt (fig. 26).

Het afschot wordt vanuit het midden van de rijbaan tot naar de kolomrij toe aangebracht. Dit houdt in dat het hoogste punt in het midden van de vloeroverspanning ligt. Uitgangspunt is een goed werkend afschot van 5 mm/m voor de eerste tot en met de derde verdieping en 10 mm/m voor de dakvloer in de eindfase. Daarbij wordt rekening gehouden met de te verwachten vervorming van de vloer door eigen gewicht en bijkomende vervorming door kruip en veranderlijke belasting.

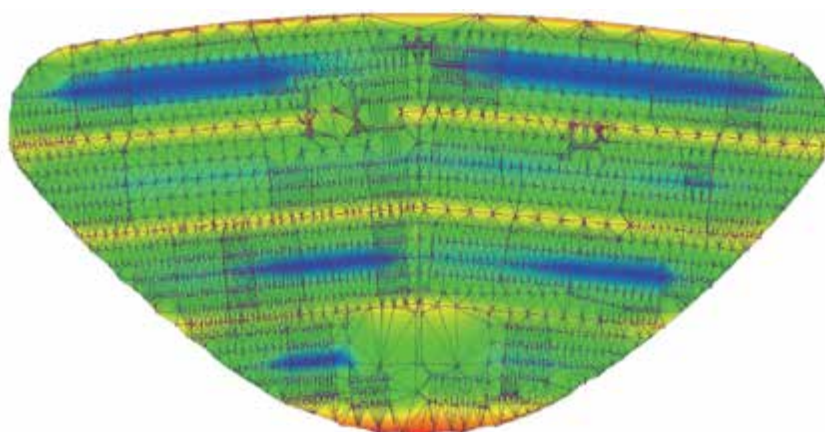
Na vaststelling van de vereiste toog rees de vraag of dit uitvoerbaar zou zijn voor de gekozen bollenplaatvloer. Voor de leverancier is het niet mogelijk een voorgespannen breedplaat met

toog te fabriceren. Daarom wordt de bolling van de breedplaten (max. 70 mm bij 11,5 m lengte breedplaat) in het werk aangebracht door de onderstempeling op de juiste hoogte te stellen.

Het toogplan is omgezet naar een wireframe (fig. 27) met een plug-in voor Revit. Deze data voor Digital Terrain Modelling (DTM) stuurt het total-station aan, waarmee tijdens het storten de bovenkant van de vloer op de juiste hoogte wordt gecontroleerd.

Op basis van het toogplan zijn er op kritische plekken nog extra afvoeren aangebracht. In verband met de haalbaarheid van de grote hoeveelheid bovenwapening zijn in de dakvloer de goten vervangen door putjes.

27





- 28 Resultaat temperatuur (a) en druksterkte (b) op basis van gewogen rijpheidsmetingen
- 29 Natte jute op de vloer (goed te zien is de toog met het laagste punt bij de kolomrij)

### 5: Optimalisatie storten, onderstempelen en schrikken van de vloer

Bij de uitvoering van de vloer zijn diverse wijzigingen ten opzichte van het oude plan doorgevoerd. Ten eerste is ervoor gekozen de vloer per bouwdeel te storten en niet verder op te delen in kleinere stortstips om geen stortnaden in de vloer te introduceren. In het oude plan was het noodzakelijk de vloer in kleinere delen te storten om de planning te kunnen halen. De extra tijd die nodig is om de vloeren per bouwdeel te storten, is ongeveer drie weken per vloer. In totaal is de benodigde tijd voor de realisatie van de ruwbouw dus minimaal twaalf weken langer.

Ten tweede wordt het hele gebouw in de ondersteuning gezet en de vloeren langer onderstempeld gehouden ten opzichte van het oude plan.

Ten derde is er onderzoek gedaan naar het schrikken van de vloeren. Het schrikken van de vloeren is noodzakelijk omdat het niet mogelijk is de ondersteuning van de vloeren zo uit te voeren dat deze de volledige stortbelasting van alle vloeren kan dragen. Per verdieping moet de vloer dus zijn eigen gewicht kunnen dragen, voordat de volgende vloer kan worden gelegd en afgestort. Het schrikken van de vloeren gebeurt volgens een schrikplan. Het tijdstip hiervan wordt vastgesteld op basis van de benodigde gemiddelde betonsterkte (35 N/mm<sup>2</sup>) en/of een minimum van tien dagen.

De ontwikkeling van de betonsterkte wordt gevolgd door middel van rijpheidsmetingen (fig. 28). De benodigde data voor het opstellen van de regressielijn en de daarvan afgeleide ijklijn is aangeleverd door de betonmortelcentrale.

Bij stort 2A, de eerste koude periode (eind november) waren twaalf dagen nodig om de benodigde sterkte te bereiken. Als dit ook voor de rest van de vloeren zou worden aangehouden, zou dit een extra vertraging opleveren. Voor de winterperiode daarna is daarom de betonsamenstelling aangepast met een reactiever mengsel. Dit heeft een positief effect op de sterkteontwikkeling van het beton. Het moment dat met het schrikken van de vloer mag worden gestart, wordt bepaald door de beton-technoloog in samenwerking met de constructeur. Uiteindelijk geeft de coördinerend constructeur de toestemming voor het laten schrikken van de vloer.

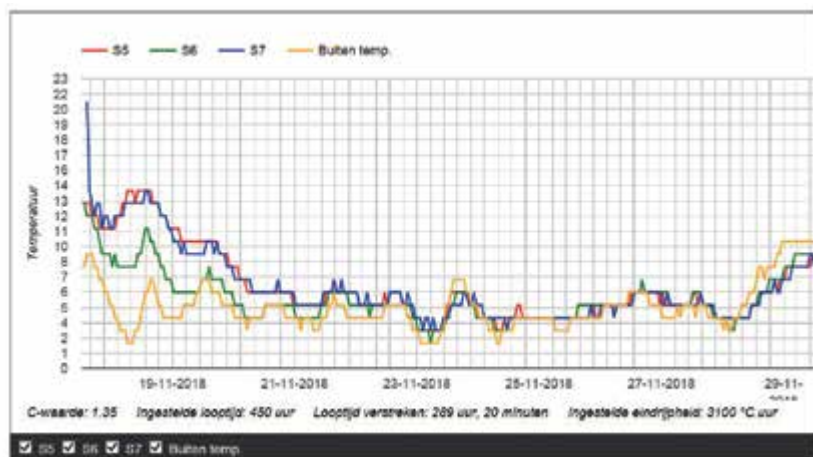
Elke vloer wordt voor en na het schrikken gemonitord op vervormingen. De resultaten zijn goed en de vloeren gedragen zich volgens verwachting.

Wanneer alle verdiepingvloeren zijn gestort en de dakvloer is geschrokken, zal de onderstempeling van bovenaf worden verwijderd. Afwijking hierop is dat de stempels onder de eerste verdieping worden verwijderd als de vierde (dak)vloer is geschrokken. Hierdoor kan eerder worden begonnen met de infra op de begane grond.

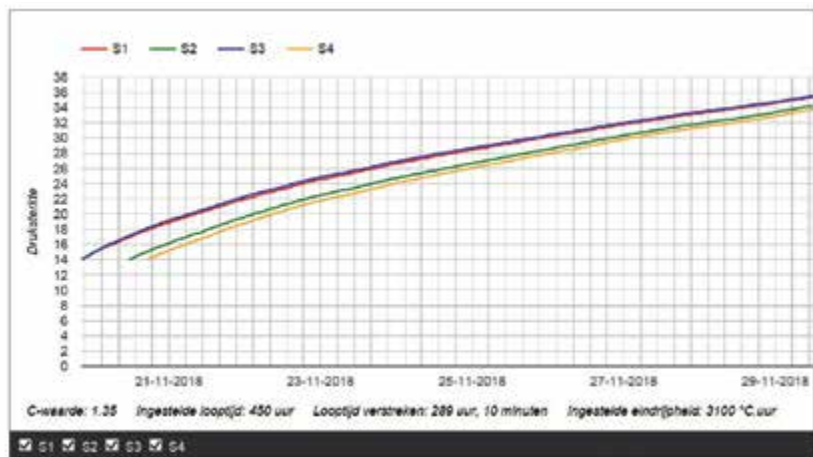
Om te veel krimp door uitdroging tijdens de eerste dagen van de (gevlinderde) vloer tegen te gaan, wordt deze de eerste dagen bedekt met jute dat met sproeiers wordt natgehouden (foto 29). Deze nabehandeling zorgt voor een uitstekend resultaat.

### Uitvoering

De uitvoering van het MPB loopt conform planning. Tijdens de uitvoering wordt van alle betrokken partijen veel aandacht gevraagd om de constructieve veiligheid te borgen. Alle werkzaamheden worden minimaal gecontroleerd volgens het viero-



28



29



## Constructieve samenhang

BAM A&E heeft als coördinerend constructeur de constructieve samenhang bewaakt en de constructieve veiligheid geborgd. Intensieve samenwerking met uitvoering, betontechnoloog, leveranciers, onderaannemers is hiervoor de basis geweest. Rekenmodellen voor tijdelijke situaties en uitgebreide kwaliteitscontroles tijdens engineering, op de bouw en in de fabrieken zijn ook onder leiding van BAM A&E uitgevoerd.

29

genprincipe, maar veel vaker door zes, acht of zelfs nog meer ogen. Alle keuringen worden aantoonbaar vastgelegd in een database. De keuring van de vloer wordt bijvoorbeeld opgedeeld in het keuren van de breedplaten (deels in de fabriek en deels op het werk), keuring van de onderwapening, dwarskrachtwapening en bovenwapening. Bij de stort van de vloer (ca. 1000 m<sup>3</sup> op een dag) is altijd de betontechnoloog aanwezig. De gemeente Eindhoven is ook zeer betrokken bij het werk, zowel vanuit de controlerend constructeur als de buiteninspecteur.

### Tot slot

Na het gedeeltelijk instorten van het MPB Eindhoven Airport lag de engineering en realisatie van de herbouw van dit project onder een vergrootglas. Het engineerings- en uitvoeringsteam heeft dan ook alles uit de kast getrokken om hier een van de veiligste gebouwen van Nederland te realiseren, waar iedereen na oplevering in oktober 2019 met een gerust hart gebruik van kan maken. ☒

#### ● PROJECTGEGEVENS

**project** Multi Purpose Building Eindhoven Airport

**opdrachtgever** Eindhoven Airport

**architect** De Bever Architecten, Eindhoven

(oorspronkelijk ontwerp)

**bouwkundige, constructieve en installatietechnische engineering** BAM Advies & Engineering

**review engineering** Adviesbureau ir. J.G. Hageman

**geotechnisch adviseur** Inpijn-Blokpoel

**leverancier bollenplaatvloer** Gelissen Beton / Cobiax

**leverancier betonmortel** A. Jansen B.V.