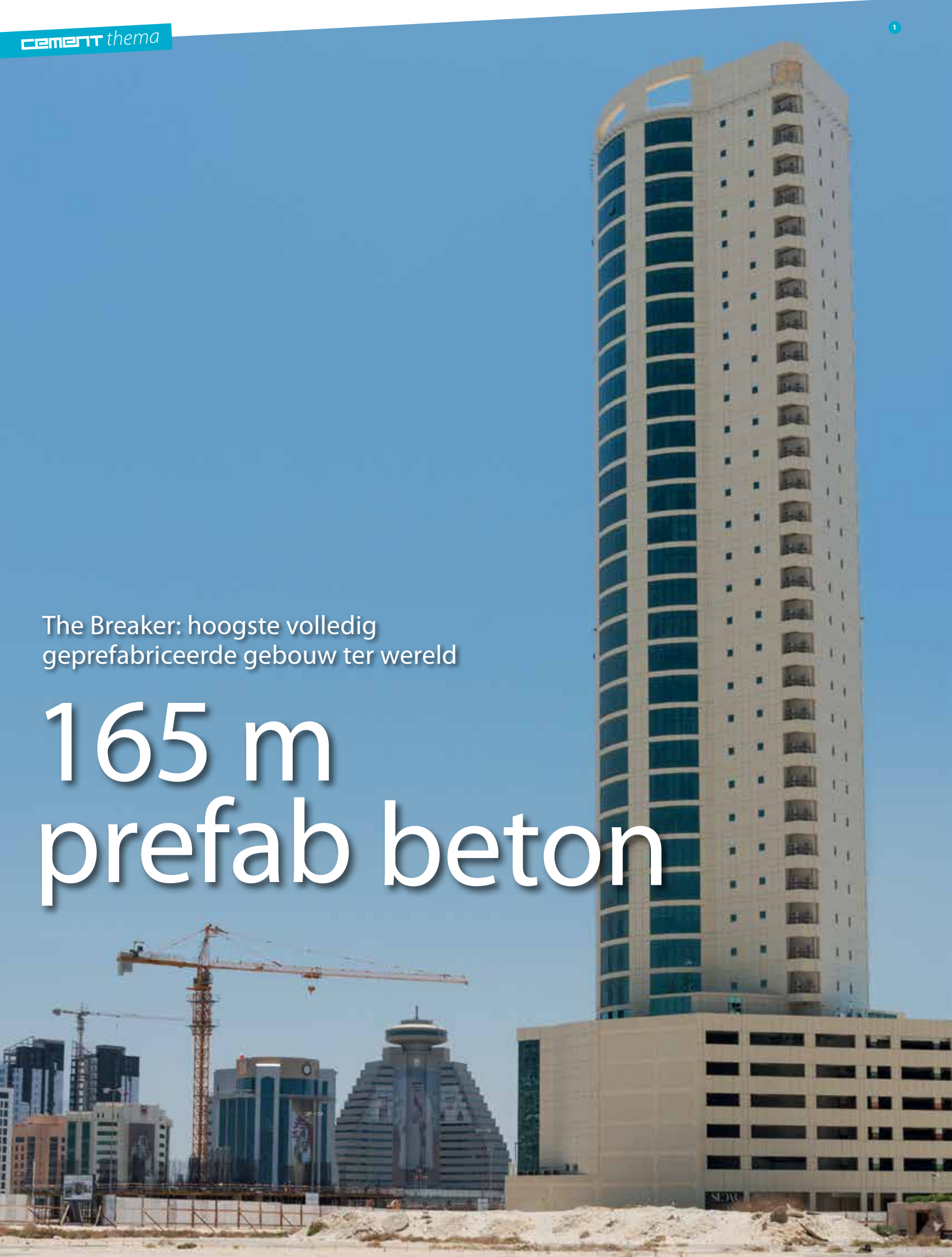


The Breaker: hoogste volledig
geprefabriceerde gebouw ter wereld

165 m prefab beton



Bronnen

Het ontwerp van de geprefabriceerde betonconstructie van The Breaker is gemaakt door de constructeurs van Bahrain Precast Concrete Co. W.L.L. (BPC). BPC heeft de prefab-betonconstructie geproduceerd en gemonteerd op de bouwplaats. Dit artikel was niet mogelijk geweest zonder de door BPC verstrekte informatie, tekeningen en foto's. De auteur is BPC zeer erkentelijk voor de bereidwilligheid deze gegevens ter beschikking te stellen.

The Breaker in Bahrein is het hoogste gebouw ter wereld dat is uitgevoerd met een volledig geprefabriceerde betonconstructie. De woontoren dateert uit 2014, is 165 m hoog en telt 35 verdiepingen. Wat was er nodig om dit record te vestigen? En zien wij kans een dergelijk kunststukje in Nederland uit te voeren?

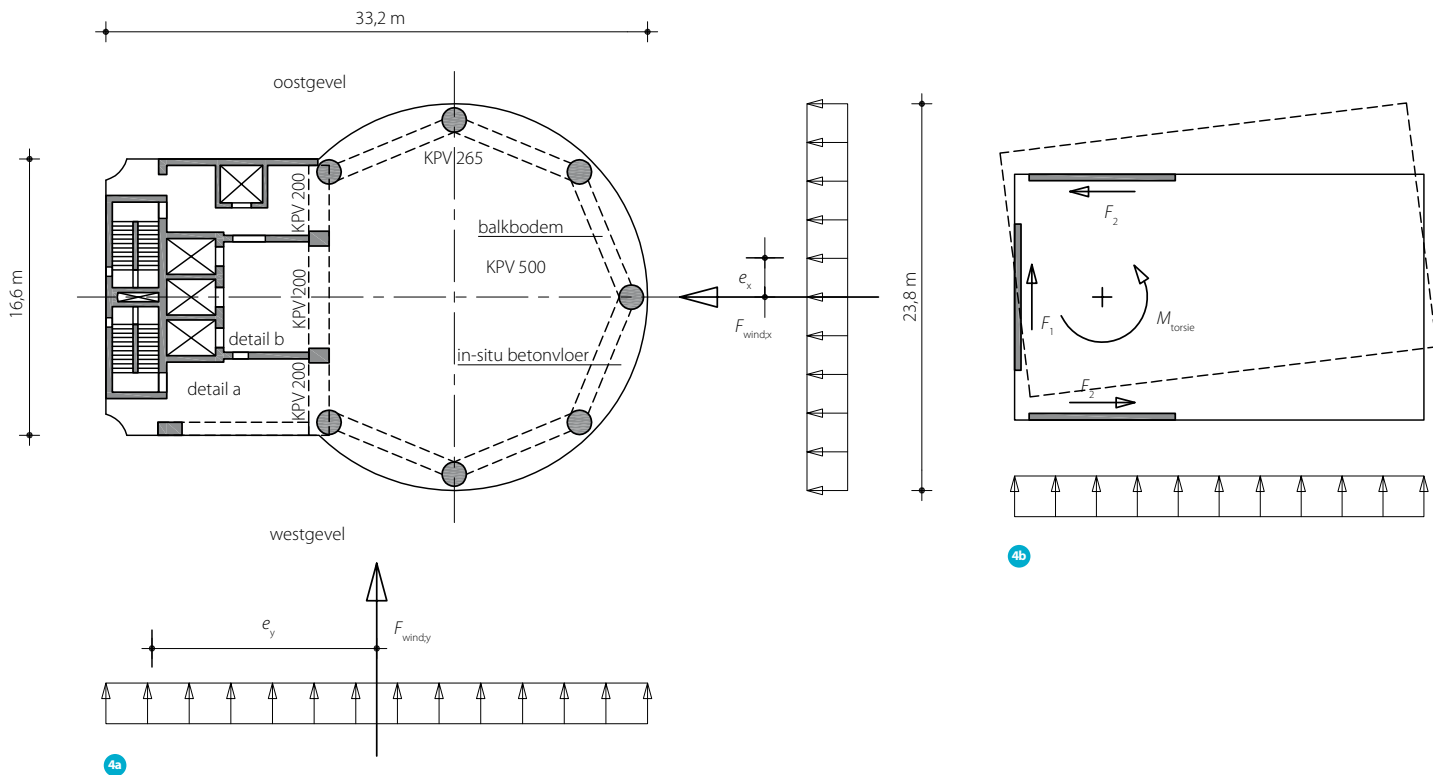
In de Perzische Golf voor de kust van Saoedi-Arabië ligt het eiland Bahrein. Het oliestaatje is een koninkrijk en was tot 1971 een kolonie van het Verenigd Koninkrijk. Bahrein heeft door zijn ligging, centraal in de oliewereld, een belangrijke economische en financiële positie kunnen innemen. De hoofdstad van Bahrein is Manama en in de wijk Seef werd in 2012 begonnen aan de bouw van de 165 m hoge Breaker Tower.

Ontwerp

The Breaker bestaat uit twee volumes: de bovenbouw (hoogbouw) en de onderbouw. De hoogbouw heeft de vorm van een cilinderslot (fig. 4a). De appartementen zijn in het ronde gedeelte van de hoogbouw ondergebracht. De ronde vorm is gekozen om de appartementen in alle richtingen zo veel mogelijk zicht op de omgeving te geven. Vanuit de appartementen heeft men dan ook een fenomenaal uitzicht op de hoofdstad en de Perzische Golf. Het rechthoekige gedeelte aan de achterzijde is op te vatten als de 'ruggegraat' van het gebouw. Hierin zijn namelijk de liften en de trappenhuizen en een gesloten draagstructuur aanwezig om de 'weke delen' aan de voorzijde te ondersteunen.

De onderbouw is een rechthoekig volume waarvan één hoekpunt is afgesneden (foto 3). De entree van het gebouw zit in deze afgeschuinde gevel welke aansluit op de ervoor gelegen secundaire weg. Een ontsluiting aan de voorzijde van het gebouw op de hoofdweg (foto 2) was niet mogelijk vanwege





het doorgaande karakter ervan. Het gebouw is echter wel ontworpen alsof de voorgevel aan de hoofdweg is gelegen. De voor- en zijgevels van de onderbouw zijn licht gebogen (foto 2). Deze gevels sluiten aan op de ronde vorm van de bovenbouw. Het architectonisch ontwerp wordt door de projectontwikkelaar gezien als ‘moderne architectuur met extravagant versierde afwerkingen’ [2].

De woontoren heeft een vloeroppervlakte van in totaal 29 800 m². De bouwkael is 1980 m² groot. Op de begane grond is een showroom gevestigd. In de erboven gelegen vijfde garage kunnen meer dan tweehonderd auto's parkeren. De ontsluiting van de parkeergarage is eveneens aan de secundaire weg. De 6e verdieping markeert de overgang van de onderbouw naar de bovenbouw. Op deze verdieping bevinden zich gemeenschappelijke voorzieningen zoals een zwembad, fitnessruimten en een recreatieve buitenruimte. De bovenbouw bestaat uit 28 verdiepingen met appartementen. Op de 6e tot 30e verdieping zijn steeds vier standaardappartementen ondergebracht. Daarboven volgen drie verdiepingen met penthouses die een hele verdieping groot zijn. De vrije hoogte tussen de vloeren in de appartementen is 4,2 m.

Constructief ontwerp

De draagconstructie van de hoogbouw bestaat uit een balkenkolomstructuur aan de voorzijde en dragende schijfwanden aan de achterzijde van het gebouw. Kolommen in het midden

van het ronde gedeelte waren niet wenselijk om zo veel mogelijk vrijheid te houden bij het indelen van de appartementen met verplaatsbare scheidingswanden. Dit is mogelijk gemaakt door kolommen met balken in de gevelzone te plaatsen.

De betonwanden aan de achterzijde van het gebouw vormen gezamenlijk de dragende stabiliteitsconstructie. Deze wanden zijn in de hoeken aan elkaar gekoppeld en dus feitelijk kernconstructies of wanden met flenzen. De 3D-samenwerking tussen deze elementen zijn in de rekenmodellen echter verwaarloosd: de wandschijven zijn geschematiseerd als losse stabiliteitswanden die verticaal uitkragend in de paalfundering zijn ingeklemd.

Omdat de betonwanden zich aan de achterzijde van het gebouw bevinden, ligt het zwaartepunt van de horizontale belastingen behoorlijk excentrisch (e_y) ten opzichte van het zwaartepunt van de stabiliteitsconstructie (fig. 4a). Ook in de andere richting is er een excentriciteit (e_x) aanwezig omdat in de westgevel geen stabiliteitswanden zijn geplaatst. Ook het zwaartepunt van de verticale belastingen ligt excentrisch ten opzichte van de zwaartepunten van de stabiliteitsconstructie. In de berekening zijn deze excentriciteiten met 10% verhoogd vanwege de aanwezigheid van ‘toevallige excentriciteiten’. Het gevolg is dat het gebouw niet alleen transleert ten gevolge van de horizontale en verticale belastingen, maar ook zal roteren zoals schematisch weergegeven in figuur 4b. De stabiliteitsconstructie wordt dus belast op buiging en torsie. De krachten in de betonconstructie ten gevolge van torsie bleken een stuk

- 5 Kanaalplaten 500 mm dik, 18,0 m lang
- 6 Kolommen en balkbodems in gevelzone
- 7 Wapening ten behoeve van aanstortstrook
- 8 Overzicht van een verdiepingvloer



5



6

groter dan de krachten als gevolg van buiging.
 Figuur 4b is een principeweergave van hoe de krachten uit de vloerschijven op de wanden worden verdeeld. Door het ontbreken van meerdere schijfwanden met voldoende onder-

linge afstand in de korte richting van de rechthoek moet de windligger als een in de achterzijde ingeklemde ligger worden geschematiseerd. De dwarskracht (F_1) wordt afgegeven aan de wand evenwijdig aan de richting van de belasting. De krachten



7



8



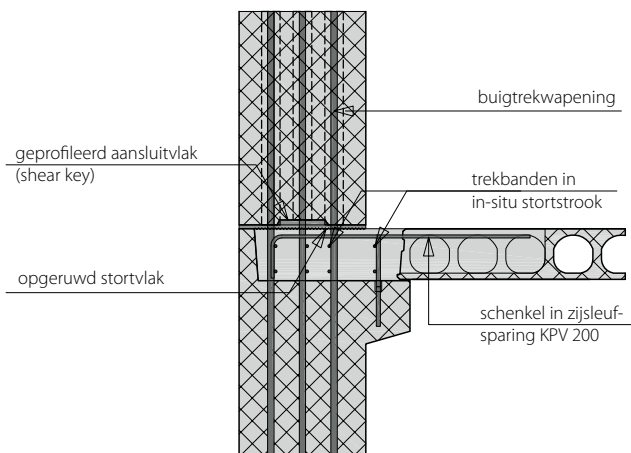
9

(F_x) uit het torsiemoment (M_{torsie}) worden afgegeven aan de wanden in de andere richting.

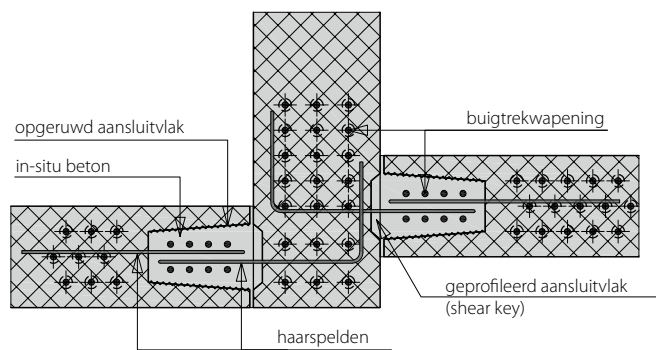
De stabiliteitsconstructie is gemodelleerd in een eindig-elementenprogramma. De resultaten uit deze berekening zijn vergeleken met de resultaten van een handberekening. De hele constructie is geverifieerd aan de Eurocode / British Standard.

Prefab-betonconstructie

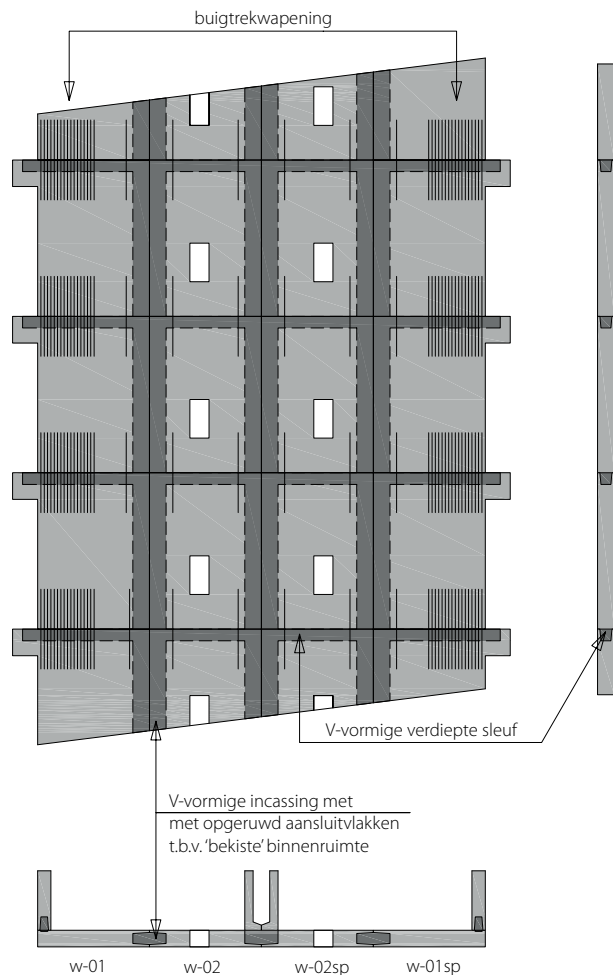
Ter plaatse van de appartementen moest vanwege de vrije indeelbaarheid een relatief grote overspanning van 18,0 m worden overbrugd. Hier zijn 500 mm dikke kanaalplaten met afgeschuinde kopse zijden toegepast (foto 5). Deze kanaalplaten liggen op balkbodems (foto 6) die tussen de kolommen zijn aangebracht. Met een strook in-situ beton tussen de balkbodems en de gevel is de ronde vorm aan



10



11



12

de vloer gerealiseerd (fig. 4 en foto 7). De kanaalplaten zijn via koppelankers in de kopsleuven aan de balken gekoppeld. De balkbodems liggen op consols aan de ronde kolommen. De kolommen hebben een diameter van 1,5 m. De kolommen zijn in het eindige-elementenmodel als pendelstaven geschematiseerd. De leverancier van de prefab-betonelementen heeft beton met verschillende sterkteklassen gebruikt. De gebruikte sterkteklassen waren echter niet hoger dan C55/67. Hogere sterkteklassen worden in het Midden-Oosten nog maar weinig gebruikt. Foto 9 geeft een overzicht van een verdiepingvloer. Hierin is zichtbaar dat de meeste vloeren zijn uitgevoerd met kanaalplaten. De trappen en vloerplaten rondom de trappen zijn gemaakt van massief prefab beton. Er zijn ook prefab betonnen vloerplaten gebruikt voor de inpandige balkons op de hoeken aan de achterzijde van het gebouw. Deze balkons zijn gebruikt voor het inpandig opstellen van de airco units die in verbinding met de buitenlucht moeten staan. Alle prefab wanden liggen op een doorgaande console aan de wanden (foto 9). Op die manier kon men in het rekenmodel aannemen dat de vloeren scharnierend aan de wanden zijn verbonden.

Schijfwerking

Voor de schijfwerking van de vloeren zijn rondom trekbanden toegepast. In de ronde in-situ randstroken aan de vloeren is

- 9 Haarspelden in inkassing
- 10 Verticaal aansluitdetail
- 11 Horizontaal aansluitdetail

- 12 prefab elementen achtergevel
- 13 Onderbouw in aanbouw



13

automatisch trekbandwapening aanwezig. De trekbanden lopen door over de prefab-betonwanden. Daar is ruimte tussen de kopse zijde van de kanaalplaat en een opstaande rand aan het gevelpaneel aanwezig zoals weergegeven in het detail van figuur 10.

Deze vormen de bekisting van de stortstrook die na het aanbrengen van de wapening is aangestort. Bij wanden waarop aan twee zijden een vloerplaten op liggen (op consoles aan de bovenzijde) ontstaat hier automatisch ruimte voor een gewapende stortstrook. Deze stortstroken versterken de vloerschijf. Ter plaatse van de achtergevel zijn vanwege het open trappenhuis geen vloeren aanwezig, terwijl een trekband voor krachtsinleiding en een horizontale steun voor de prefab-betonwanden wel gewenst is. Dit is opgelost door in elke prefab-betonwand aan de bovenzijde een V-vormige verdiepte sleuf te maken. Deze worden doorgaand gewapend en afgestort zodat ook in de achtergevel de trekband en een horizontaal steungevende balk aanwezig is.

Koppeling tussen wandelementen

De wandelementen zijn ter plaatse van de verticale voeg, via een gewapende in het werk gestorte stortstroken aan elkaar gekoppeld (fig. 12). In het wandelement is aan de kopse zijde een V-vormige incassing gemaakt. Bij twee tegenover elkaar geplaatste wanden ontstaat een 'bekiste' binnenruimte. Uit de



14

prefab-betonelementen steken ingestorte haarspelden (foto 9, fig. 12) die zodanig zijn gepositioneerd dat ze tijdens de montage langs elkaar schuiven. Van bovenaf kan men hier wapening in de inkassing laten zakken en het geheel vullen met beton zonder dat een traditionele bekisting nodig is. Wandelementen in elkaars verlengde die gezamenlijk een wandschijf vormen, zullen via de verticale stortstroken constructief moeten samenwerken. Dit betekent dat via de aansluitvlakken tussen de verticale stortstrook en de prefab-betonelementen afschuifkrachten moet worden overgedragen. Voor volledige samenwerking moet deze krachtoverdracht plaatsvinden met een afschuifstijfheid die gelijk is aan die het ernaast gelegen prefab-betonelement. Alleen dan werken de wandelementen construc-

tief samen zoals dat het geval is bij monoliet beton. Een aansluitvlak met een opgeruwd oppervlak in de inkassing (fig. 12) kan in staat zijn zelfstandig de schuifkrachten met voldoende afschuifstijfheid over te brengen. De afschuifcapaciteit moet dan uiteraard wel aantoonbaar en reproduceerbaar aanwezig zijn. Bij een geprofileerd aansluitvlak (*shear key*) is geen volledige samenwerking aanwezig omdat het vlakke en het gladde aansluitvlak vrijwel direct onthecht. Een *shear key* heeft een relatief hoge schuifsterkte. De afschuifstijfheid is wel een stuk lager waardoor van volledige samenwerking geen sprake is. In figuur 12 is te zien dat de prefab-betonelementen via verticale stortstroken aan elkaar zijn gekoppeld. De twee elementen hebben beide een inkassing met opgeruwde aansluitvlakken. Dit betekent dat als het opgeruwde aansluitvlak zelfstandig in staat de afschuifkrachten over te brengen er tevens volledige samenwerking tussen de prefab-betonelementen aanwezig is. Het gevolg is dat de verticale buigtrekspanningen zich zo concentreren aan de uiteinden van de samenstelling wandconstructie. Figuur 12 laat zien dat daar concentraties stekwapening aanwezig zijn. In figuur is steeds aan één zijde een aansluitvlak met *shear key* gemaakt. Dit is slechts een praktische afschuifverbinding omdat bij de modellering van de stabiliteitsconstructie is aangenomen dat er geen constructieve samenwerking in de hoeken aanwezig is. Het aansluitvlak tussen de stortstrook en de wand met inkassing (fig. 12) is wel voorzien van een opgeruwd vlak. Er is dus een volledige samenwerking tussen de stortstrook en het prefab-betonelement aanwezig waardoor ook de verticale wapening in de stortstrook als buigtrekwapening benut kan worden. Immers, ook geldt dat zonder samenwerking in het stortvlak de wapening niet wordt aangesproken.

Parkeergarage

De onderbouw bestaat uit een structuur van prefab-betonbalken en -kolommen waartussen kanaalplaatvloeren zijn aangebracht (foto 13). De stabiliteit van de laagbouw wordt deels geleverd door in de fundering ingeklemde betonkolommen.

Realisatie


De bouwsnelheid was bepalend bij de keuze van de bouwmethode. Door de relatief lage hoeveelheid in-situ beton kon de vooraf gewenste bouwsnelheid worden gerealiseerd. De prefab bouwer monteerde gemiddeld 2,5 verdieping per maand. Dat is voor bouwwerken in het Midden-Oosten een stuk sneller dan wanneer het met de gebruikelijke in-situ bekistingmethoden zou zijn uitgevoerd. Bij The Breaker Tower monteerde men gemiddeld één verdieping in dertien dagen. Er waren zeven dagen nodig voor de montage van de balken, kanaalplaten en trappen. De prefab kolommen en

wanden werden in de resterende zes dagen gemonteerd. De in-situ werkzaamheden vonden plaats binnen deze dertien dagen. De hele prefab montage was uiteindelijk een week eerder afgerond dan vooraf gepland.

De productie van de prefab-betonelementen in de betonfabriek liep steeds minstens twee maanden voor op de montage op de bouwplaats. Op die manier werd voorkomen dat eventuele vertragingen in de productie tot vertragingen op de bouwplaats zouden leiden. Tijdens de uitvoering werd de hoogste prioriteit gegeven aan de montage van de prefab elementen in het ronde gedeelte van het gebouw. De bouwkundig aannemer kon dan snel aan de slag met de afbouw in de appartementen.

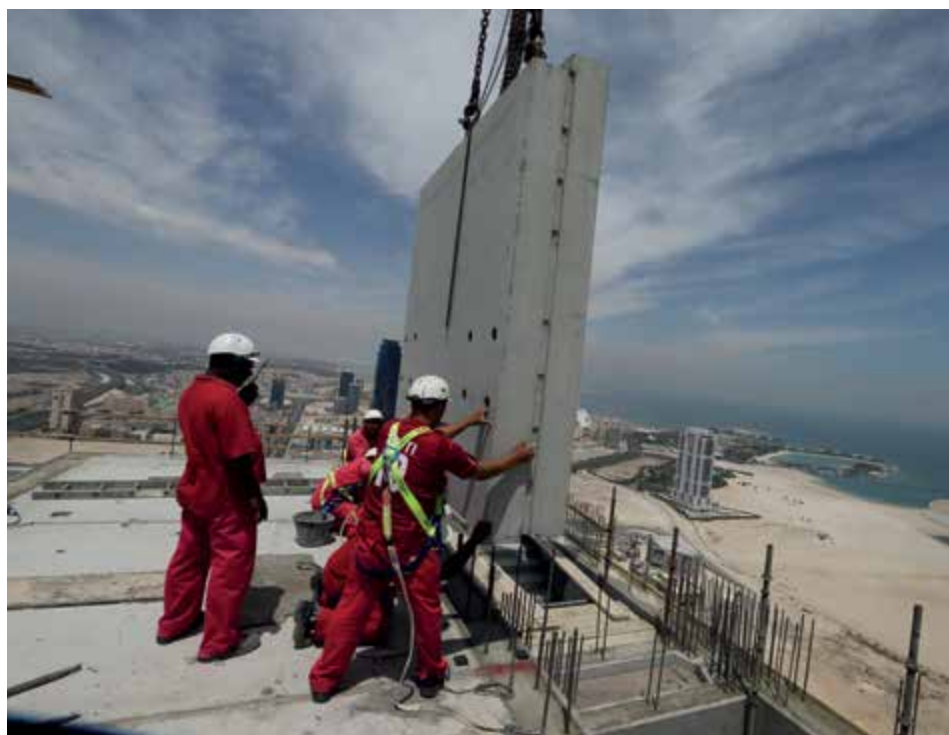
Het verticale en horizontale transport van de prefab-betonelementen op de bouwplaats was een enorme uitdaging. Voor het gewicht van de prefab elementen, de hoogte van het gebouw en de benodigde vlucht van de kraan was een standaard torenkraan niet toereikend. Deze kraan moest 100 m boven zijn laatste bevestigingspunt kunnen opereren. Bij de start van de montage kon het gebouw de kraan immers nog niet steunen. Daarnaast moest de kraan prefab elementen van 24 ton in combinatie met een horizontale vlucht van 43 m kunnen hijsen en verplaatsen. Uiteindelijk is de grootste kraan uit de regio gehuurd. De enorme kraan had een haakhoogte van 168 m en kon 12 ton hijsen en verplaatsen op een horizontale vlucht van 60 m.

Een Nederlands hoogterecord?

Nederland doet niet echt mee in de hoogbouwcompetitie die wereldwijd wordt gespeeld. Hoge gebouwen zijn elders in absolute zin veel hoger. Nederland loopt echter voorop met kennis en ervaring op het gebied van de toepassing van prefab beton. Er is in de afgelopen decennia een aantal relatief slanke geprefabriceerde betonconstructies voor hoge gebouwen gerealiseerd. Daarnaast kijkt men in het buitenland nog steeds verbaasd naar de efficiënte wijze waarop de prefab-betonconstructies van het Erasmus MC en de Delftse Poort met hijsloodsen zijn gebouwd. Het is te verwachten dat in de komende jaren in Nederland rond de 200 m hoog gebouwd gaat worden. Wanneer een van deze gebouwen volledig in prefab beton wordt uitgevoerd, is een hoogbouwhoogterecord voor Nederland binnen handbereik. Wie gaat deze uitdaging aan? 



15



16

● PROJECTGEGEVENS

project The Bahrain Tower

ontwikkelaar Bin Faqeeh Real Estate Investment

architect & Constructeur Arab Architects

hoofdaannemer Al Taitoon Contracting Co. S.P.C.

prefabbeton (ontwerp, productie en montage) Bahrain Precast Concrete Co. W.L.L.