



‘Frietzak’ en ‘spagaat’

Knik in woontoren The Muse in Rotterdam zorgt voor uitdagend krachtenspel

Het Wijnhaveneiland in Rotterdam is sinds kort een markante woontoren rijker: The Muse. Deze 75 m hoge toren bestaat uit een vijfslagse onderbouw (zogenoemde Rotterdamse laag) met hierboven een toren die optisch is geknikt. Deze knik zorgt bij de beide zijgevels voor een uitdagend krachtenspel.

The Muse ligt in het Maritiem District tussen de Maas en Blaak, met de voorzijde aan de historische Wijnhaven en de achterzijde aan de Wijnstraat (fig 2).

Programma

The Muse is een luxe woontoren met 94 koopappartementen, in grootte variërend van 40 tot ruim 209 m². 38 van deze woningen zijn uniek en in het ontwerp zijn er veel verschillende plattegronden met respectievelijk 2, 3, 4 of 5 woningen per laag.

Op de begane grond zijn twee commerciële ruimtes gemaakt en is een hellingbaan voorzien voor de parkeergarage.

Deze parkeergarage bevindt zich op de 2e, 3e en 4e verdieping en kan straks worden uitgebreid naar de naastgelegen kavel, waar momenteel de woontoren Casa Nova wordt gerealiseerd. Imd heeft ook aan de wieg gestaan van het constructieve ontwerp van deze naastgelegen toren en heeft daardoor in het ontwerp van The Muse hier



**IR. MATTHIJ
MOONS RC**

Projectconstructeur
IMd Raadgevende
Ingenieurs



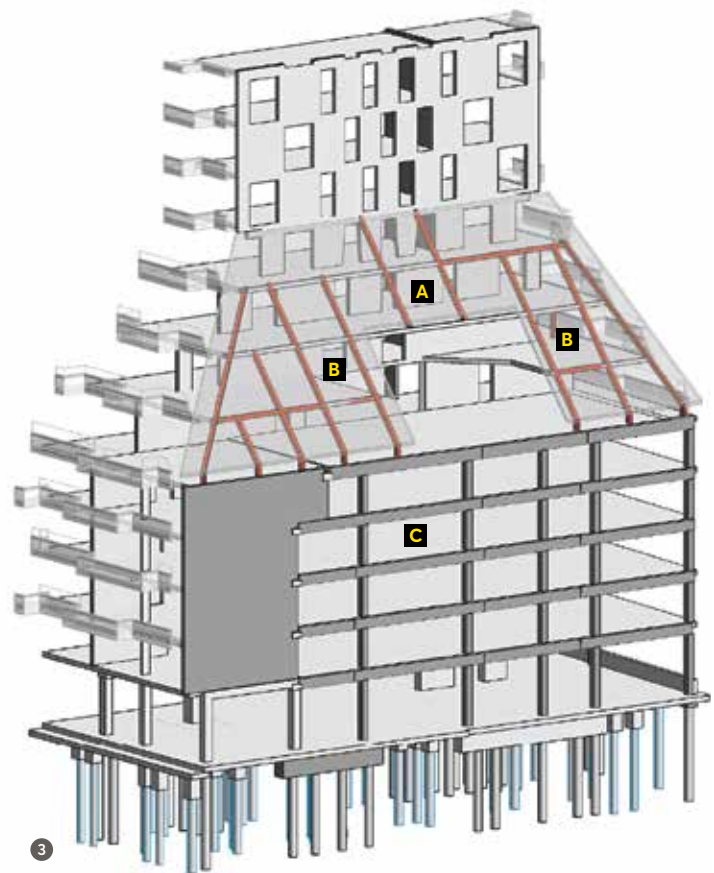
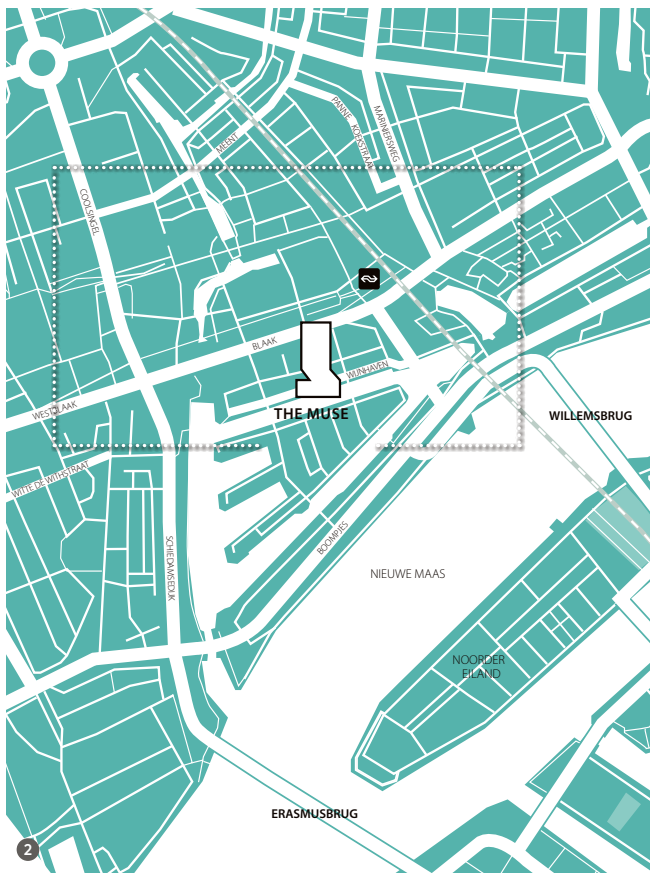
**IR. PAUL
KORTHAGEN RC**

Raadgevend ingenieur/
partner
IMd Raadgevende
Ingenieurs

rekening mee kunnen houden. Dit is onder andere gedaan door aan die zijde een kolomstructuur met betonbalken te ontwerpen. De betonbalken zijn breder gemaakt waardoor de vloeren van de parkeergarage van Casa Nova er gedilateerd kunnen worden opgelegd (zie ‘C’ in fig. 3).

Voor de levendigheid zijn aan de Wijnhavenzijde als afdekking van de garage kade-woningen gemaakt met een gevel van ruim 14 m breed. Aan de achterzijde (zijde Wijnstraat) loopt de garage wel door tot de gevel. Ook hier is bijzondere aandacht besteed aan de leefbaarheid van de straat door een groene gevel met plantenbakken in schoonbeton op te nemen (foto 4). Hierdoor is hier nauwelijks een parkeergarage te herkennen.

In de overgangslaag tussen de vijfde en negende verdieping is visueel een knik gerealiseerd in twee richtingen. Hier is de toren excentrisch op de onderbouw geplaatst, zodat deze goed past tussen de andere hoogbouwprojecten in de directe nabijheid. Het zwaartepunt verschuift hierdoor in →



↓
PROJECTGEGEVENS

project
The Muse, Rotterdam
opdrachtgever
V.O.F. Wijnhaven 69
architect
Barcode Architects
constructeur
IMd Raadgevende
Ingenieurs
**bouwkundige
uitwerking**
ABT
engineering
prefab beton
Snijders Ingenieursgroep
aannemer
Smit's bouwbedrijf
**leveranciers prefab
beton**
Decomo, Geelen beton
oplevering
zomer 2020

westelijke richting en tegelijkertijd wordt de diepte van de toren kleiner (fig. 5).

De woningen in deze overgangslaag zijn voorzien van diepe balkons aan de Wijnhaven en hebben bijzondere vormen door de schuine gevels in zowel horizontale als verticale richting.

Constructieve oplossing knik

De knik vormde een flinke uitdaging voor het constructieve ontwerp, waarvoor verschillende opties zijn ontworpen. Aanvankelijk liep de draaglijn niet door en zijn diverse varianten ontworpen, zoals schuine kolommen die de hele constructie dragen of een vakwerk die de uitkraging opvangt (fig. 6). Deze varianten bleken lastig in te passen in het bouwkundig ontwerp: bij de schuine kolommen waren voorzieningen nodig voor de grote spatkrachten en de zwaarbelaste kern. En de diagonalen van het vakwerk hinderden de toegankelijkheid van de appartementen.

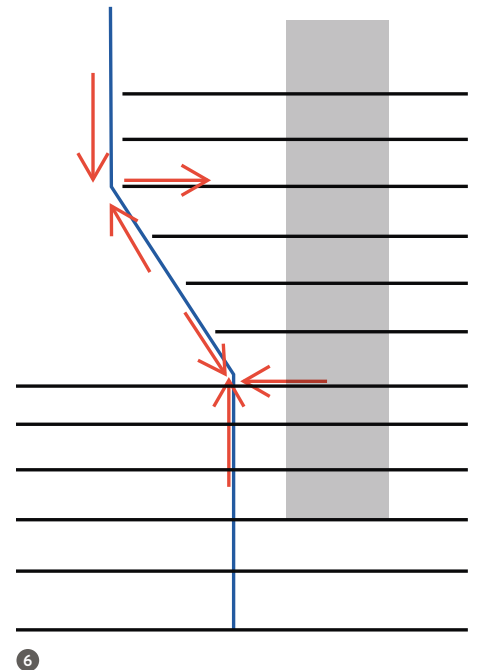
In nauw overleg met de architect is het ontwerp zodanig vormgegeven dat de knik bouwkundig weliswaar aanwezig is, maar dat ook de draaglijnen van de beide kopgevels (net als de andere wanden) constructief kunnen doorlopen tot in de fundering. Dit is gedaan door aanpassingen in beide kopgevels. Hierdoor blijft de constructieve opzet logisch zonder dat dure overgangsconstructies nodig zijn. Wel ontstaat in bij de beide kopgevels door de visuele knik een bijzondere krachtswerking. Beide wanden worden nader toegelicht.

Westelijke kopgevel ('frietzak')

Om de visuele knik te realiseren is de wand op as B tussen de 5e en 9e verdieping ingesnoerd. De belasting uit de bovenbouw wordt op die manier geconcentreerd in het midden van de wand (fig. 7). Binnen het ontwerpteam werd dit al snel de 'frietzak' genoemd. | →



*De knik is
bouwkundig
weliswaar aan-
wezig, maar het
is gelukt om ook
de draaglijnen
van de kopgevels
constructief te
laten doorlopen
tot in de
fundering*



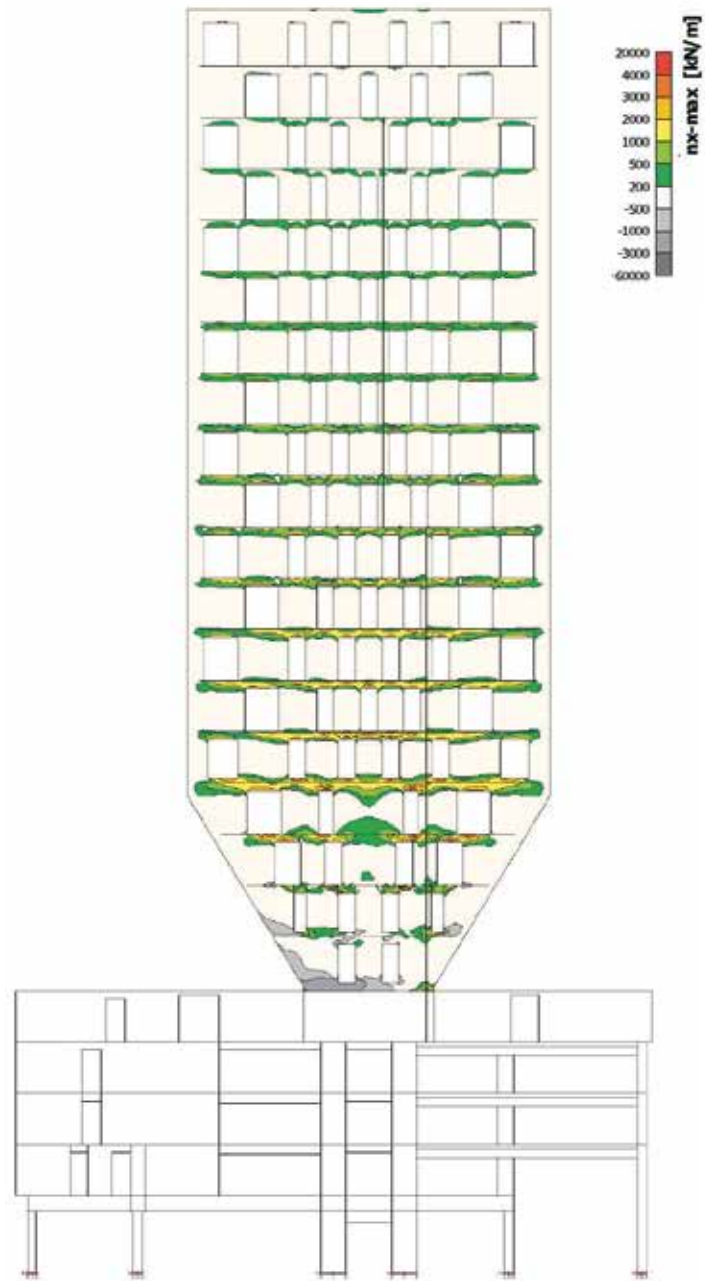
4 Aanzicht vanaf Wijnstraat met plantenbakken in schoonbeton, foto: Studio Hans Wilschut

5 'Open geklapt' 3D-model

6 Beschouwde alternatieven krachtwerking knik



7



8

Door de insnoering ontstaan grote trekkrachten in de lateien en borstwering tussen de 7e en 10e verdieping (fig. 8). Vanwege deze trekkrachten is de gevel tot de 10e verdieping geheel in het werk gestort (C55/67). Het skelet is vanaf de 6e verdieping met een tunnelkist uitgevoerd (beukmaat 7,75 m). Vanaf de 10e verdieping zijn de trekkrachten kleiner en bleek het mogelijk om voor de

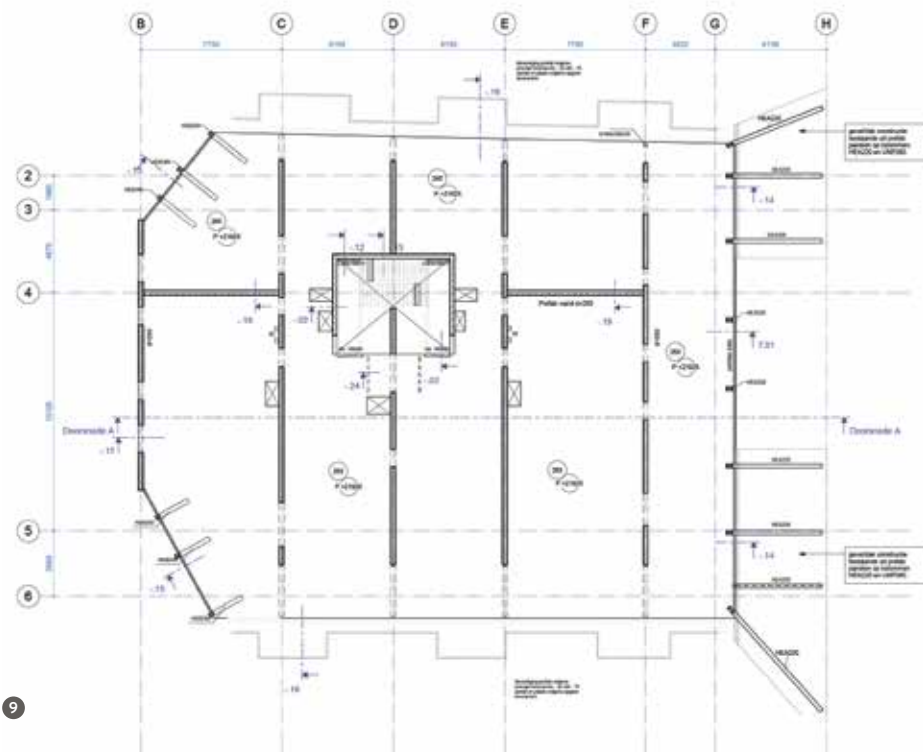
gevel prefab sandwichelementen toe te passen. Deze elementen zijn geïntegreerd in de tunnelcyclus.

In verband met de spanningen bij de insnoering is de wand op de 4e verdieping dikker uitgevoerd (600 mm in plaats van 250 mm), zodat deze goed aansluit op de twee kolommen in de onderbouw waarop deze kopwand rust (afmeting 1400 x 500 mm²).

Elk van deze kolommen draagt circa 24.000 kN belasting. In een robuustheidsanalyse is de krachtswerking geanalyseerd wanneer een van beide kolommen wegvalt en de andere de volledige belasting volgens de bijzondere belastingcombinatie draagt. Uit deze analyse bleek dat er voldoende robuustheid in het ontwerp aanwezig was en geen aanvullende voorziening nodig waren.

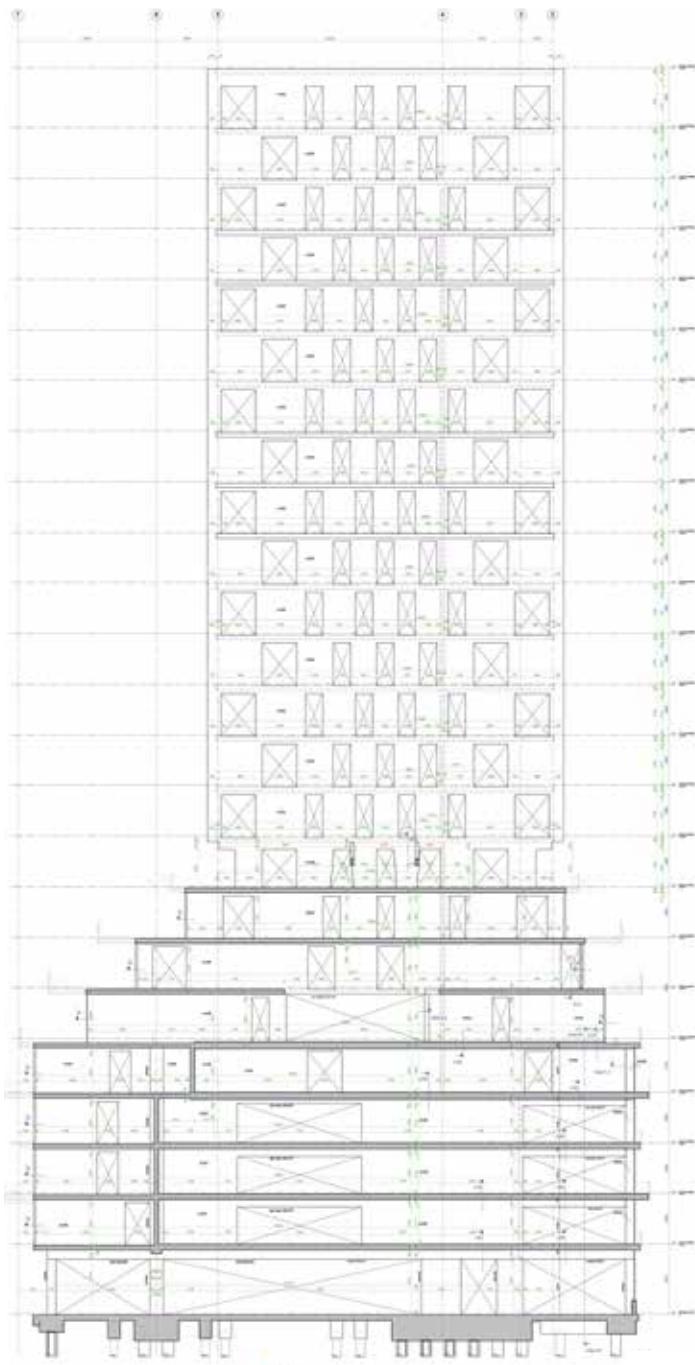
Door de insnoering van de gevel heeft de vloer op de 6e t/m 9e verdieping tussen as B en C geen volledige oplegging. In het schuine gevelvlak zijn daarom schuine stalen kolommen in de gevel opgenomen (zie plattegrond van de 7e verdieping in fig. 9). Deze kolommen dragen een klein deel van de vloer en dragen de belasting af op liggers die volledig in de 5e verdiepingvloer zijn geïntegreerd (foto 10). →

Door de insnoering in de wand in as B ontstaan grote trekkrachten in lateien en borstwering



9 Plattegrond 7e verdieping met aan beide zijden schuine stalen kolommen

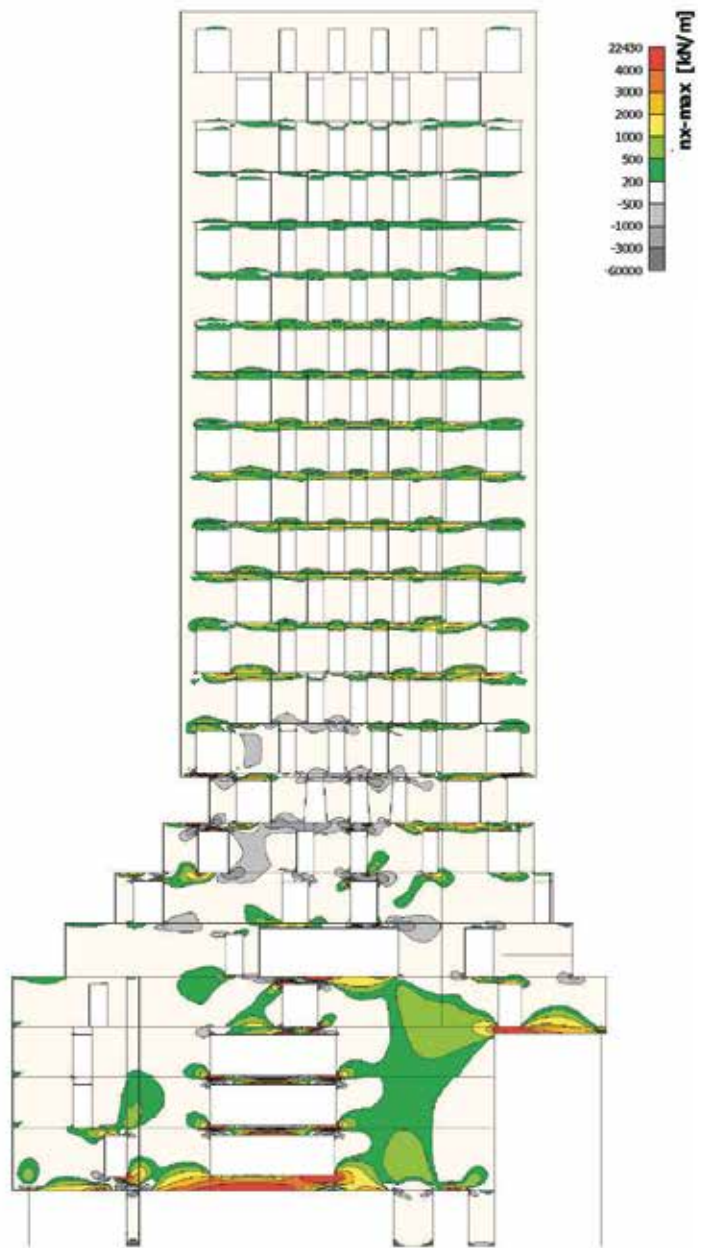
10 Stalen liggers ingestort in de 5e verdieping voor het opvangen van de kolommen in de schuine gevel



11

Oostelijke kopgevel ('spagaat')

Bij de andere kopgevel op as F worden de krachten juist naar buiten gebracht (fig. 11). Op deze manier kon op de 1e t/m 3e verdieping een doorrijopening voor de parkeergarage worden gerealiseerd en op de 5e verdieping een brede opening voor de toegang tot de collectieve daktuin die The Muse en Casa Nova met elkaar verbindt. Dit resul-



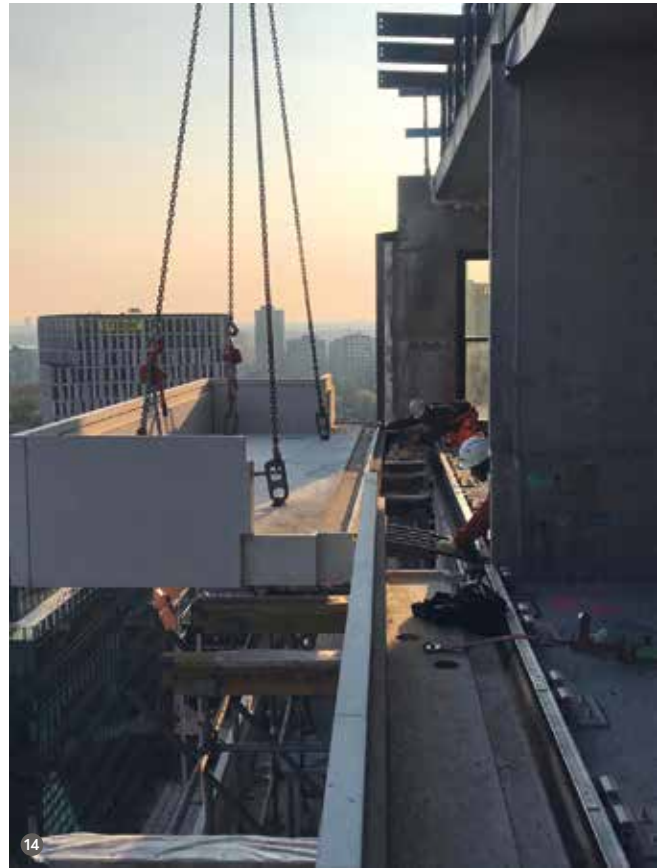
12

teert in een spectaculaire overspanning op de begane grond van ruim 15 m (fig. 11). Deze overspanning is mogelijk gemaakt door de bovenliggende wanden te ontwerpen als wandligger van circa 30 m hoog (tot 10e verdieping).

In de onderbouw ontstaan grote spatkrachten, met name bij de 1e verdieping (fig. 12). Voor de trekkracht is hier een →



13



14

BALKONS

Een belangrijk onderdeel in het architectonische ontwerp van The Muse zijn de balkons en plantenbakken die in wit beton zijn uitgevoerd, als contrast met het antraciete beton van de kopgevels (foto 13). Deze balkons zijn ontworpen met het iTens-systeem van Normteq, om vervormingsverschillen zoveel mogelijk te beperken zodat het lijnenspel van de balkons doorloopt. Het beperken van de vervormingsverschillen is mogelijk doordat de vloer al volledig uitgehard is als de balkons gemonteerd worden en er – in tegenstelling tot bijvoorbeeld isokorven – geen hoekverdraaiing ontstaat. Ook maakt dit systeem het mogelijk om de balkons na de ruwbouw-fase te monteren.

Bij dit systeem wordt het balkon tegen de vloer gespannen met voorspankabels (foto 14). In de vloer wordt hiertoe een tapse sparingsbuis ingestort en op enige

afstand van de vloerrand een inkassing (foto 15). Nadat de vloer is uitgehard wordt het balkon geplaatst. Aan dit balkon is een nok gemaakt waar de voorspanstrengen uitsteken. De ruimte tussen de tapse vloersparing en de nok wordt aangegoten met vezelversterkte gietmortel.

Het bevestigingsdetail van deze balkons is op verzoek van de gemeente Rotterdam aangepast, waarbij er niet alleen aan de zijde van het balkon een tand aanwezig is, maar aan de zijde van de vloer een nok wordt gewapend. De in het iTens-systeem aanwezige vezelversterkte mortel is op die manier als extra veiligheid aanwezig. Aanvullend hierop is nog een proefbelasting uitgevoerd (een laag van 35 cm water). Meer over de vormgeving van de betonnen gevels en de balkons staat in het artikel 'Meanderende muze' in de rubriek Beton in beeld in *Cement* 2020/6.



15

13 Balkons en plantenbakken in wit beton uitgevoerd, foto: Studio Hans Wilschut

14 Balkons worden tegen de vloer gespannen met voorspankabels, foto: Barcode Architects

15 Inkassing vloer t.b.v. balkon

Boven de begane grond is een tijdelijke balk gemaakt om de wand aanvullend mede met behulp van vijzelkrachten te ondersteunen



VIJZELEN

Tijdens de bouwfase is voor de wand op as F, met de enorme opening op de begane grond, een tijdelijke voorziening ontworpen. Aanvankelijk zou die opening er niet komen maar zou hier een volledig gesloten wand worden gemaakt. De opening zou naderhand worden gezaagd. Hieraan kleefden verschillende bezwaren, onder andere de beperkte mogelijkheden om te kunnen ingrijpen als het gedrag van de wand tijdens het slopen anders zou blijken te zijn dan voorspeld. IMd heeft daarom in samenwerking met de aannemer een fasering uitgewerkt, waarbij er boven de begane grond een tijdelijke balk gemaakt is om de wand aanvullend te ondersteunen (foto 16). Op de balk zijn twee penanten gemaakt, met hierop een stalen kolom waarop de wand

rust. Groot voordeel was dat de penanten met relatief klein materieel kon worden gesloopt.

Aan weerszijden van deze stalen kolommen is ruimte gemaakt voor vijzels (foto 17 en 18). Nadat de wand van as F tot de 10e verdieping volledig was verhard, zijn vijzels aangebracht om de stalen kolommen spanningsloos te maken. Vervolgens is de vijzel in stapjes ontlast. In een FEM-analyse zijn al deze fasen geanalyseerd met een uitgebreide gevoeligheidsbeschouwing van met name de stijfheden van de verschillende betononderdelen (E-modulus) en de veerstijfheden van de palen. De berekende vijzelkracht verschilde uiteindelijk slechts 2% van de berekende waarde.





De spagaat van de wand in as F resulteert in een spectaculaire overspanning op de begane grond van ruim 15 m

betonbalk ontworpen met een doorsnede van $800 \times 870 \text{ mm}^2$ en wapening 22Ø32.

Analoog aan de andere kopgevel is de hoge wandligger in het werk gestort. Vanaf de 10e verdieping is de gevel uitgevoerd als prefab sandwichelement en opgenomen in de tunnelcyclus.

Doordat de wandligger pas effectief is als deze wand geheel is gerealiseerd, is een tijdelijke voorziening ontworpen. Zie hiervoor het kader 'Vijzelen'.

Het volume naast de wand tussen as F en H is gerealiseerd met een staalconstructie met schuingeplaatste dragende kolommen (letter B in fig. 3 en fig. 9). Bij de onderdoorgang is de vloer van de 7e en 8e verdieping opgehangen aan de 9e verdieping (letter A in fig. 3).

Een knik die geen knik is

Met woontoren The Muse in Rotterdam is een zowel architectonisch als constructief bijzonder gebouw neergezet. Architectonisch bijzonder door de visuele knik in de toren boven de plint, constructief bijzonder doordat diezelfde knik constructief gezien geen knik is. En daarmee werd een uitdaging uit het architectonisch ontwerp creatief opgelost zonder afbreuk te doen aan de visie van de architect. ●