

Kengetallen

|                           |                       |
|---------------------------|-----------------------|
| Hoogte                    | 425,5 m               |
| Bruto vloeroppervlak      | 65 497 m <sup>2</sup> |
| Bewoonbaar vloeroppervlak | 38 335 m <sup>2</sup> |
| Bouwkosten                | € 1,17 miljard        |

Woontoren 432 Park Avenue in New York heeft slankheid van 1:15

# Grenzen in slankheid verlegd



### Bronnen

Bij de totstandkoming van dit artikel is gebruikgemaakt van:

- Skylines, Designing Skyscraper Cities, WSP Parsons Brinckerhoff
- The Magic of Making a Super-Tall Building, Joe Nasvik in Concrete Contractor Magazine
- 432 Park Avenue, Structural Peer Review, Leslie E. Robertson Associates, R.L.L.P

In 2006 kocht ontwikkelaar Harry Macklowe voor \$ 440 miljoen het historische Drake hotel tussen East 56<sup>th</sup> Street en East 57<sup>th</sup> Street, ten westen van Park Avenue, om daar een toen nog geheim project te gaan ontwikkelen. In 2007 werd begonnen met de sloop van het hotel. In de crisis raakte het bedrijf echter in de problemen en het verkocht het perceel in 2010 aan CIM Group. De twee ontwikkelaars besloten het project 432 Park Avenue samen verder te ontwikkelen en in september 2011 werd begonnen met ontgraven ten behoeve van de funderingswerkzaamheden. Eind 2015 werden de eerste appartementen opgeleverd en in 2016 zal het gebouw volledig gereed zijn.

### Ontwerp

De bekende Uruguayaanse architect Rafael Viñoly maakte een sober ontwerp op basis van een vierkante modulemaat, dat naar eigen zeggen is geïnspireerd op een geperforeerde metalen prullenbak die in 1905 door Josef Hoffmann werd ontworpen (fig. 3). Consultants van WSP Parsons Brinckerhoff verzorgden het ontwerp van de constructie en de installaties. Zij hebben ruime ervaring met hoogbouw en waren betrokken bij alle in het kader 'Wedloop in slankheid' op bladzijde 60 genoemde superslanke bouwwerken.

De bovenbouw is 85 verdiepingen hoog en bereikt een hoogte van 425,5 m. De hoogte is opgedeeld in zeven gestapelde volumes die door tweelaagse installatieverdiepingen van elkaar zijn gescheiden. De onderste twee volumes beslaan negentien lagen en zijn gevuld met commerciële functies en gedeelde faciliteiten voor bewoners zoals een hotel, restaurant, sport-school en zwembad. Daarboven bevinden zich vijf volumes van elk twaalf bouwlagen met één tot vier appartementen per verdieping en in totaal 104 woningen. Al deze functies zijn gevat in een uniform vormgegeven volume met een plattegrond van 28,5 x 28,5 m<sup>2</sup> (fig. 5). Een drielaagse kelder vormt de onderbouw. De woonverdiepingen hebben een royale verdiepingshoogte van 4,7 m, wat leidt tot een vrije interne hoogte van 3,8 m. Rondom heeft iedere gevel op elke verdieping zes identieke gevelopeningen van 3,45 x 3,6 m<sup>2</sup> met daarin ruiten van 3 x 3 m.

*Historisch gezien is er bij het bouwen van wolkenkrabbers een recht evenredig verband tussen hoogte en prestige. Nu is er – gedreven door de peperdure en schaarse bouwgrond in New York – ook een wedloop ontstaan in slankheid. Mooi voorbeeld is 432 Park Avenue, met een slankheid van 15:1. Na One World Trade Center is het momenteel het hoogste gebouw in New York en de hoogste woontoren ter wereld. Het gebouw heeft een volledig betonnen draagstructuur.*



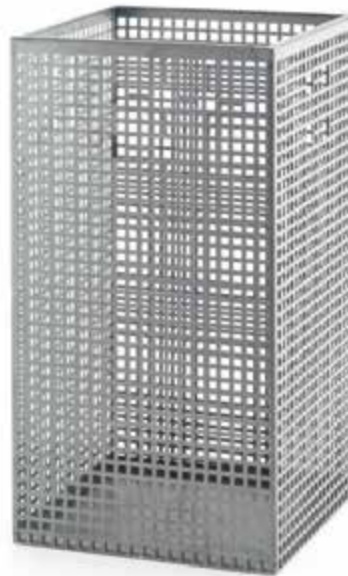
### Constructie

De nieuwe generatie superslanke woontorens hebben alle een betonskelet. De reden hiervoor ligt met name in het feit dat het bij dergelijke compacte plattegronden en hoge onroerendgoedprijzen nóg belangrijker is dat de constructie een zo klein mogelijk oppervlak inneemt. Gewapend beton biedt betere mogelijkheden om binnen bouwkundige elementen zoals wanden en gevels maximale sterkte en stijfheid toe te voegen. Door toepassing van hogesterktebeton kunnen de constructieafmetingen extra worden beperkt. Echter, bij dergelijke aspectratio's is meer nodig dan uitsluitend hoge sterkte en stijfheid.

- 2 De slankheid van 1:15 van woontoren 432 Park Avenue
- 3 De geperforeerde prullenbak die de inspiratie vormde voor het ontwerp
- 4 Schematische doorsnede
- 5 Principe-plattegrond
- 6 Het betonnen skelet in aanbouw

bron: Neue Galerie New York

foto: Doka



### Draagconstructie

De draagconstructie van het gebouw bestaat uit een met outriggers gekoppelde tube-in-tubeconstructie (buis-in-buis) van in het werk gestort gewapend beton. De binnenbuis wordt gevormd door een kern van 9,1 x 9,1 m<sup>2</sup> met daarin liften en trappen. Wanddikten variëren van onder naar boven van 760 mm tot 300 mm.

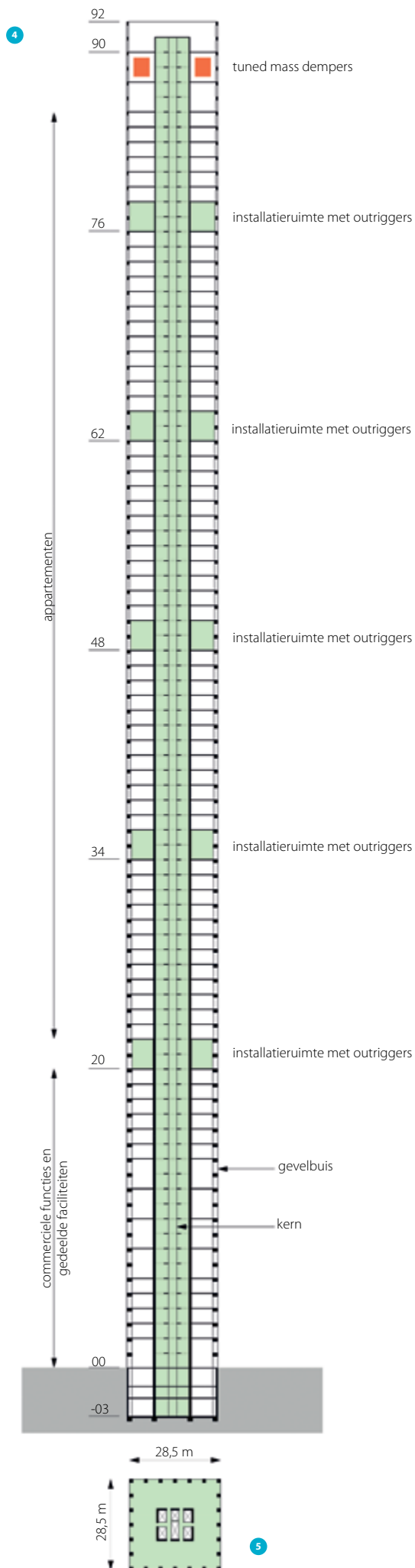
De gevelbuis wordt gevormd door een momentvast raamwerk van kolommen en balken. De in schoonbeton uitgevoerde buitenzijde vormt direct de gevelafwerking. De kolommen hebben een uniforme breedte van 1118 mm en een dikte die varieert van 1625 mm tot 508 mm. De hoogte van de balken is gelijk aan de breedte van de kolommen. Zo ontstaat een zeer gelijkmatig gevelbeeld (foto 7).

De breedte van de balken loopt mee met de dikte van de kolommen.

De outriggers bevinden zich op de dubbelhoge installatietussenverdiepingen. De primaire functie van deze outriggers is om het buigend moment in de kern te beperken en over te brengen naar de gevelbuis. Tevens zorgen de outriggers voor een verhoogde stijfheid. Uit variantenstudies bleek dat het aantal outriggers weinig impact had op de acceleratie en uitbuiging. Tussen de binnen- en buitenbuis bevinden zich vrijdragende vlakke plaatvloeren met een dikte van 254 mm. Op de dubbelhoge installatietussenverdiepingen ontbreken de vloeren.

### Stabiliteit en dynamisch gedrag

Bij deze hoogte en slankheid is het onmogelijk aanzienlijke uitbuiging te voorkomen. Deze is op dakniveau ongeveer



6

H/275, dus 1,5 m. De focus ligt daarom vooral op het beheersen van de acceleraties tot een niveau waarop deze niet merkbaar zijn voor de gebruikers. Op honderden meters hoogte zijn de windsnelheden en -patronen anders dan dicht bij de grond. Daarom zijn er al in een vroeg ontwerpstadium windtunneltests uitgevoerd. Hieruit bleek dat vooral bij relatief lage windsnelheden behoorlijke 'vortex shedding' optrad. Dit is een fenomeen waarbij passerende wind aan de lizijde van het gebouw wervelingen veroorzaakt die trillingen in de constructie veroorzaken. De oplossing lag niet in het verstijven van de constructie, maar in het aanpassen van de gebouwvorm. Door



7

### Wedloop in slankheid

De New York City Building Code definieert een gebouw als slank als de hoogte-breedteratio meer is dan 7:1. Lange tijd waren er maar weinig wolkenkrabbers die die grens overschreden. Echter in 2014 was daar One57, toen de hoogste woontoren van de stad met een hoogte van 306 m en een aspect-ratio van 8:1. Daarna werd op Manhattan in korte tijd het ene na het andere record gebroken: in 2016 openen 56 Leonard Street (250 m, 10.5:1), 30 Park Place (286 m, 12:1) en 432 Park Avenue (425 m, 15:1). In 2018 zullen nog twee opzienbarende projecten worden opgeleverd: Jean Nouvel's woontoren 53W53, ook wel 'MoMA-toren' geheten (320m, 13:1) en SHoP's ongelofelijk slanke 111 West 57th Street (437,5 m, 24:1).

op een aantal plaatsen een dubbele verdieping te maken met een open gevel, werd het gebouw aanzienlijk aerodynamischer, zonder dat de visie van de architect werd aangetast. Op deze tussenverdiepingen zijn de installatieruimten ondergebracht in een aerodynamisch gevormde omhulling. Verder zijn op de 84ste verdieping tuned mass dampers aangebracht. Het principe van dit gedempte massa-veersysteem is dat als het gebouw

uitbuigt ten gevolge van windbelasting, de aangebrachte massa zich in de tegenovergestelde richting beweegt. Zo worden de optredende krachten ten gevolge van windbelasting alsmede de uitbuiging gereduceerd. In dit geval betreft het twee massa's van 660 ton die elk aan acht visceuze dempers zijn opgehangen tussen de kern en de gevel (fig. 8). Dit systeem zorgt voor 15% extra demping.

Hoewel New York in een aardbevingszone ligt, bleek windbelasting maatgevend te zijn voor het stabiliteitssysteem. Door de geometrie van het gebouw en de aanwezigheid van de outriggers neemt de kern maar een klein deel van het buigend moment uit horizontale belasting op, ongeveer 12%. Van het moment in de gevelbuis wordt ongeveer 25% door middel van de outriggers omgezet in trek- en drukkrachten op de gevelkolommen, maar het grootste deel wordt door middel van buiging in het momentvaste raamwerk naar de fundering geleid. De dwarskracht uit horizontale belasting blijkt grofweg gelijk verdeeld over de kern en de gevelbuis.

### Fundering

Aangezien de *bed rock* op Manhattan dicht aan het oppervlak ligt, kon het gebouw op staal worden gefundeerd. De aanlegdiepte is ongeveer 14 m onder maaiveld. Stabiliteitskrachten resulteren in een netto trek op funderingsniveau. Daarom is de toren verankerd in de rotsbodem met ankers met een lengte van 26 m.



8



9

## Beton

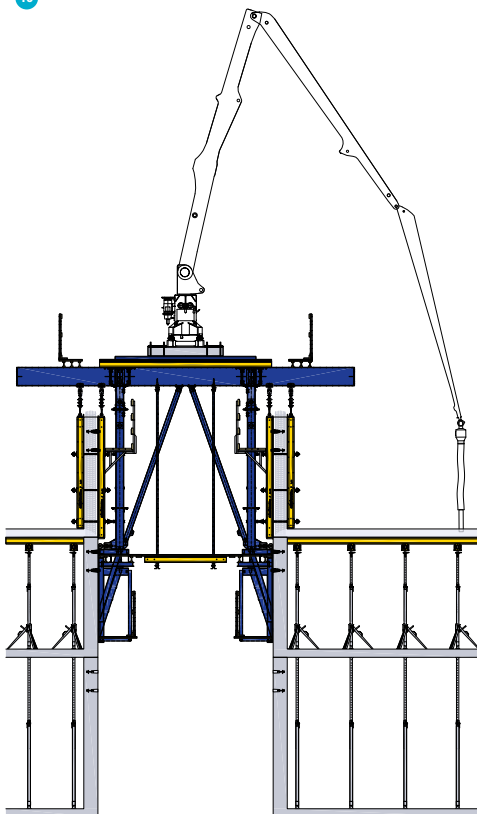
Vanzelfsprekend zijn de eisen die aan het beton worden gesteld hoog. Het mengsel moest zelfverdichtend en verpompbaar zijn met een sterkte tot 100 N/mm<sup>2</sup> en een hoge elasticiteitsmodulus (53 000 N/mm<sup>2</sup>). Ook de duurzaamheid van het mengsel was belangrijk om LEED-certificering te kunnen garanderen. Daarnaast golden voor de gevel strenge eisen ten aanzien van kleurvariaties en scheurvorming (maximale hydratatietemperatuur 71 °C).

Op basis van deze uitgangspunten ontwikkelde de onderaannemer voor de betonconstructie, Roger & Sons, samen met betonleverancier Ferrara Bros Building Materials Corp en BASF een aantal project-specifieke mengsels. Hierin werden

zo veel mogelijk lokale toeslagstoffen verwerkt, alsmede cementvervangers zoals hoogovenslakken, silica fume en metakaolien. Metakaolien is een wittig mineraal additief in poedervorm dat wordt gemaakt door fijngemalen kaolien sterk te verhitten. Door het toevoegen van dit materiaal wordt de gehydrateerde kalk, die normaal gesproken vrijkomt en uitloopt, gebonden. De gebonden kalk draagt zo bij aan de sterkte van het beton. Tevens zorgt de fijnheid van metakaolien voor een dichtere structuur en een lichtere kleur van het beton. Op deze manier werd tot 70% van het portlandcement vervangen. Door het toepassen van uitgekide hulpstoffen werd de krimp geminimaliseerd en de verwerktijd en de pomplengte (de gehele hoogte van het gebouw) gemaximali-

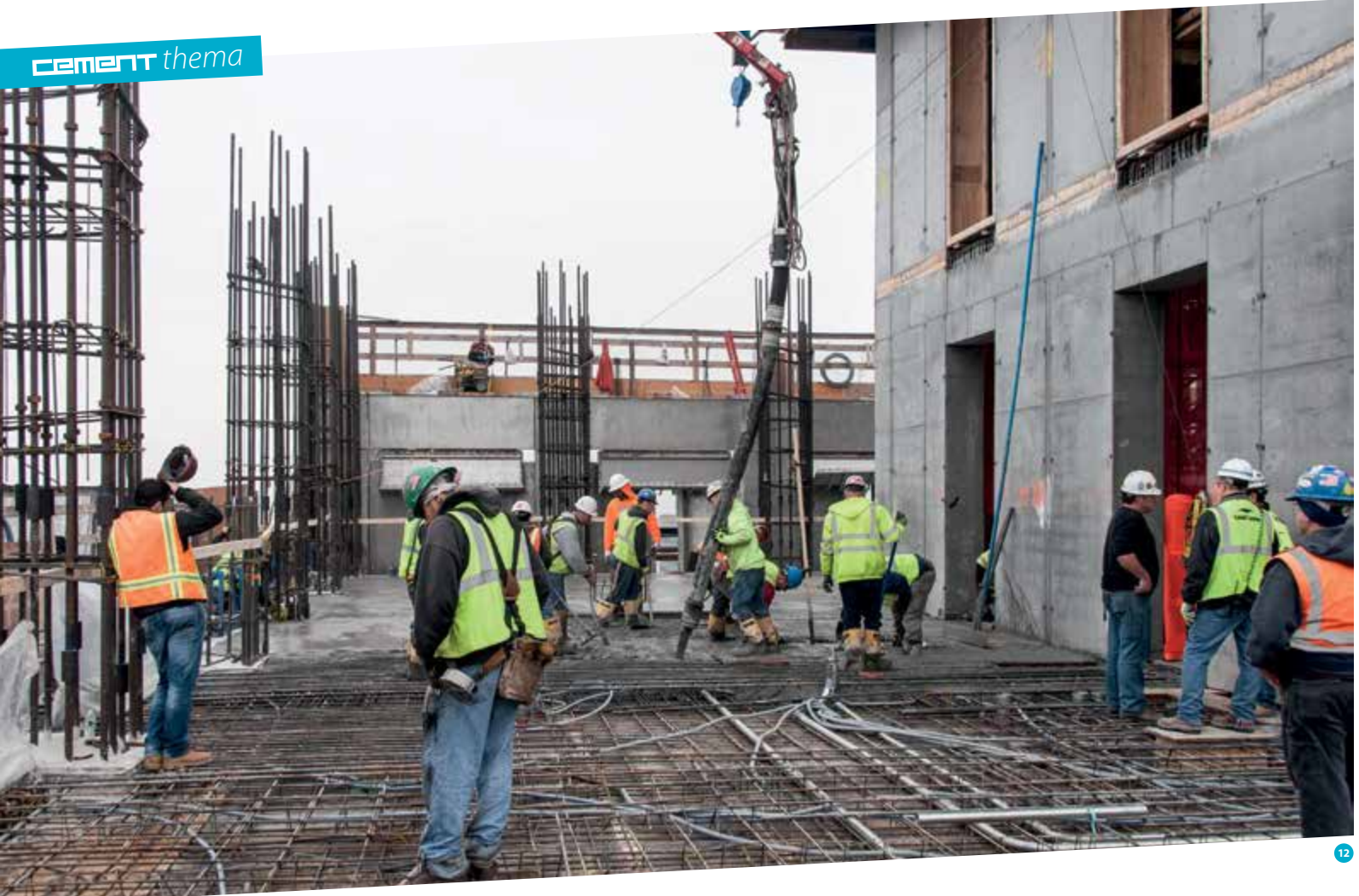
- 7 Kolommen en Balken zijn even breed  
*foto: Robert Caplin*
- 8 Tuned mass dampers zorgen voor 15% extra demping  
*foto: Taylor Devices inc.*
- 9 De staven die met schroefinden en koppellussen zijn gekoppeld  
*bron: Joe Nasvik, Photos courtesy of Concrete Contractor magazine*
- 10 Zelf-klimmende bekisting  
*bron: Doka*
- 11 Bovenaanzicht van de zelf-klimmende bekisting  
*foto: Doka*

10



11





12

### Exorbitante bedragen

De bouwkosten van 432 Park Avenue liggen rond € 1,17 miljard en de totale opbrengst wordt op ongeveer € 2,8 miljard geschat. De goedkoopste tweekamerwoning kost € 6,3 miljoen en voor een driekamerappartement moet bijna € 9 miljoen worden neergegeld. Het penthouse op de bovenste verdieping is maar liefst 767 m<sup>2</sup> en is verkocht aan een vermogende Arabier voor \$ 85,5 miljoen. Dit is een astronomische vierkantemeterprijs van bijna € 112.000/m<sup>2</sup>. Kortom, deze appartementen zijn voor de *happy few* die in de onroerendgoedmarkt van Manhattan redelijk veilig hun kapitaal kunnen beleggen en hiervoor een prestigieus adres met een mooi uitzicht krijgen. De verwachting is dan ook dat slechts een kwart van het gebouw permanent bewoond zal zijn. Dit is een van de voornaamste bezwaren van de 'gewone New Yorkers' die dit gebouw zien als, zoals *Fortune magazine* het omschreef, een "cathedral to überwealth".

seerd. Voor het schoonbeton in de gevels werd speciaal portlandcement uit Denemarken geïmporteerd.

De toepassing van hogesterktebeton is geoptimaliseerd over de hoogte van het gebouw. De onderste veertig verdiepingen hebben een betonsterkte van 96 N/mm<sup>2</sup> (14 000 psi). Voor de 40e tot de 51e verdieping is deze gereduceerd tot 83 N/mm<sup>2</sup> (12 000 psi) en daarboven verder tot 69 N/mm<sup>2</sup> (10 000 psi).

In de Verenigde Staten is *grade 60* de standaard voor wapeningsstaal. Dit wapeningsstaal heeft een treksterkte van 415 N/mm<sup>2</sup>. Vanwege de benodigde hoeveelheid wapening en het voorkomen van te dicht gepakte wapening is in dit geval *grade 97* toegepast met een treksterkte van 670 N/mm<sup>2</sup>. In de onderste helft van het gebouw bestaat de hoofdwapening in de kolommen uit staven met een diameter van 63,5 mm. De staven zijn met behulp van schroefinden en koppelbussen doorgekoppeld (fig. 9).

Beton werd met behulp van een pomp gestort. Gedurende de bouw was er een permanente stijgleiding (*slick line*) aanwezig aan de gevel. Hierdoor werd gemiddeld 35 m<sup>3</sup> beton per uur naar boven gepompt. Voor het mengsel ten behoeve van de schoonbetongevel lag dit rond 20 m<sup>3</sup> per uur. Naarmate de bouw vorderde, bleven er na het afronden van de stort logischerwijs steeds meer kubieke meters beton achter in de *slick line*. Deze werden teruggepompt naar klaarstaande betonmixers en gebruikt voor andere projecten in de omgeving.

### Uitvoering

De uitvoerende partij is Lendlease, die als *construction management contractor* het project bouwt onder een Geraantwoord Maximum Price (GMP)-contract.

Hoewel alles in het werk werd gestort, lag de bouwsnelheid hoog. Voor de bouw van de betonconstructie van de onderste



13

vijftig verdiepingen werd een doorlooptijd van vier dagen per verdieping gerealiseerd. Daarna werd de cyclustijd teruggebracht naar slechts drie dagen. De kern is gebouwd met een zelfklimmende bekisting met in het midden daarvan een kraan (fig.10a en 10b). Ook de gevelbekisting was zelfklimmend. De bouw van de kern lag altijd twee dagen voor op de rest. Op dag 1 van de cyclus werden de kernwanden gestort. Op dag 2 de gevelbuis en de vloer volgde als laatste. Deze werd volledig in het werk gestort op een tafelsbekisting. Om vertraging te voorkomen, werd de constructie in de winter rondom afgesloten met doek en daarbinnen verwarmd. Het bleek echter dat bij temperaturen lager dan  $-4\text{ }^{\circ}\text{C}$  storten vrijwel onmogelijk werd.

Door trillingen ten gevolge van wind en bouwactiviteiten was het maatvoeren tijdens de bouw geen gemakkelijke opgave. Daarom werd gebruikgemaakt van GNSS/GPS-systemen met gekoppelde geodetische antennes, tiltmeters en robotic total stations. Hierdoor konden meetpunten altijd worden bepaald ondanks dat de constructie zelf bewoog.

### Tot slot

Hoe hoger een gebouw, hoe hoger het percentage vloeroppervlak dat door de constructie wordt ingenomen. De zogenoemde Constructie Dichtheid Index (CDI) is een maat voor de effectiviteit van het draagconstructiesysteem en ligt voor 'traditionele hoogbouw', met een slankheid van 4:1 tot 7:1,

gewoonlijk tussen 2 en 3 procent. Voor extreem hoge slankheden boven 8:1 moet er vanzelfsprekend een constructieve prijs worden betaald voor het stabiliseren van het gebouw. Voor 432 Park Avenue, met een extreme slankheid van 15:1, ligt de CDI rond 9%. Hoewel dit slechts in steden als New York economisch interessant is, is dit technisch gezien een knappe prestatie. Het bewijst dat de ontwikkelingen in hogesterktebeton in combinatie met de gunstige eigenschappen van beton een belangrijke bijdrage leveren aan het verleggen van grenzen in superhoogbouw. Of moeten we in dit geval spreken van super-slankebouw?

### PROJECTGEGEVENS

- project** 432 Park Avenue in New York
- ontwikkelaar** CIM Group, Macklowe Properties
- architect** Rafael Viñoly Architects
- uitwerkend architect** SLCE Architects LLP
- constructeur** WSP Parsons Brinckerhoff
- installatie adviseur** WSP Parsons Brinckerhoff
- hoofdaannemer** Lendlease
- aannemer Beton** Roger & Sons

12 Het storten van een verdiepingvloer

bron: Joe Nasvik, Photos courtesy of Concrete Contractor magazine

13 Met de constructie worden grenzen verlegd

bron: Joe Nasvik, Photos courtesy of Concrete Contractor magazine