

Projectdocument

woon/werk-complex

Montevideo

Rotterdam



Gestapelde hoogbouw

Hybride constructie van staal en beton
optimaal benut in een gestapelde opbouw



Projectgegevens

Locatie Otto Reuchlinweg (Wilhelminapier), Rotterdam • *Ontwerp* 1999-2002 • *Uitvoering* 2003-2005 • *Oplevering* 11 november 2005 • *Opdrachtgever* ING Real Estate, Den Haag • *Architect* Mecanoo architecten, Delft • *Constructief ontwerp* ABT adviseurs in bouwtechniek, Delft • *Installatieadviseur* Schreudergroep, Heerhugowaard • *Adviseur bouwfysica* Adviesbureau Peutz & Associates, Zoetermeer • *Aannemer* Besix, Brussel (B) • *Staalconstructie* Iemants Staalconstructies, Arendonk (B) • *Bruto vloeroppervlak* 57.530 m², waarvan wonen 31.867 m², zwembad, fitness en serviceruimten 905 m², kantoren 6.129 m², winkels 1.608 m² en parkeergarage 8.413 m².

Meer informatie: www.montevideo-kopvanzuid.nl (over wonen, werken en ontspannen in de Montevideo-toren) • www.skyline-rotterdam.info (alle hoogbouwprojecten van 65 m en hoger in Rotterdam) • www.dewilhelminapier.nl (over het heden, verleden en toekomst van de Wilhelmina-pier).



Met de oplevering van de 152 m hoge Montevideo in Rotterdam heeft het 'Manhattan aan de Maas' er weer een pronkstuk bij. Het ontwerp is geïnspireerd op de wolkenkrabbers in New York uit jaren twintig en dertig van de vorige eeuw. Door de aanwezigheid van diverse facilitaire diensten speelt dit woon/werk-complex in op de wensen van de moderne stadsmens. Bovendien zijn de zogenaamde sky-appartementen in de bovenste helft van de woontoren volledig vrij indeelbaar voor potentiële kopers. Om goed bij de gebruikseisen en architectonische wensen aan te sluiten, kreeg de toren een hybride constructie van staal en beton: uniek in Nederland. Het gebouw bevat in feite een logische stapeling van constructieve principes, waarmee een optimaal ontwerp is verkregen.

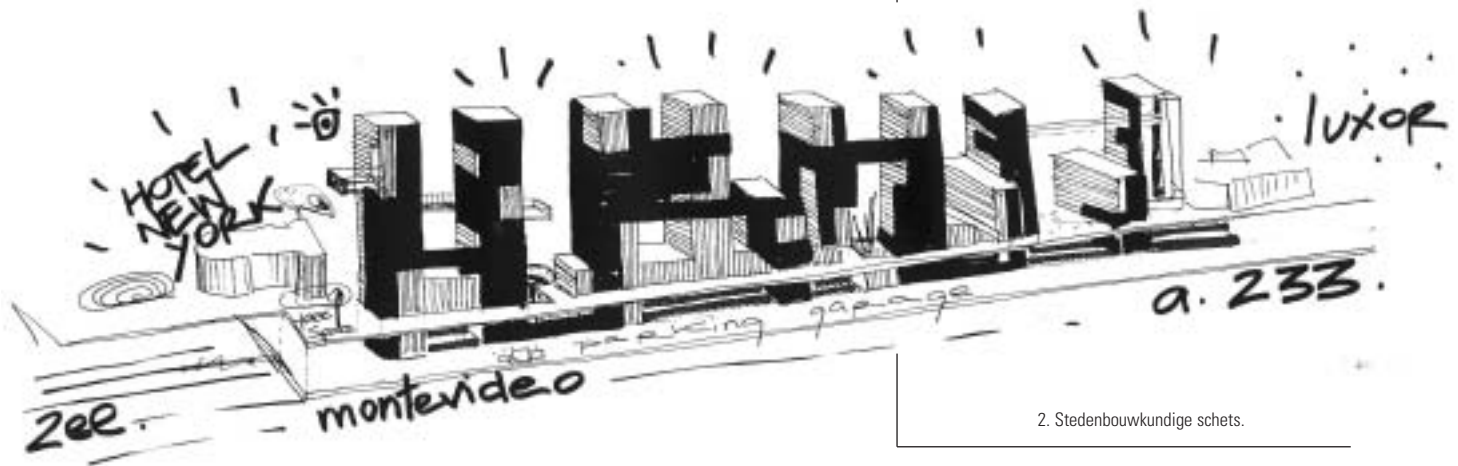
Gestapelde hoogbouw

Hybride constructie van staal en beton



1. De Wilhelmina-pier. Hotel New York wordt geflankeerd door het World Port Center van Norman Foster (links) aan de Maas en de Montevideo (rechts) aan de Rijnhaven. Op de achtergrond staat de Erasmusbrug.

Aan het einde van de Wilhelmina-pier in Rotterdam, pal achter hotel New York, staat nu de hoogste toren van Nederland: de Montevideo (afb. 1). In tegenstelling tot wat je zou verwachten, maken kantoren slechts een klein gedeelte uit van het programma van eisen. In plaats daarvan herbergt het gebouw uiterst luxueuze appartementen, waarvan het penthouse van twee-en-een-halve verdieping mét zwembad zowel letterlijk als figuurlijk het hoogtepunt vormt. Opdrachtgever ING Real Estate mikt hiermee op de stadsmens met een ruime beurs en een zwakke plek voor verwennerij. De bewoners kunnen gebruik maken van een boodschappendienst, een postbewaarservice en een was- en strijkservice. Er zijn natuurlijk ook winkels, horecagelegenheden, een parkeergarage en een 'health club'. Het imago 'Manhattan aan de Maas' past absoluut bij dit project.



2. Stedenbouwkundige schets.

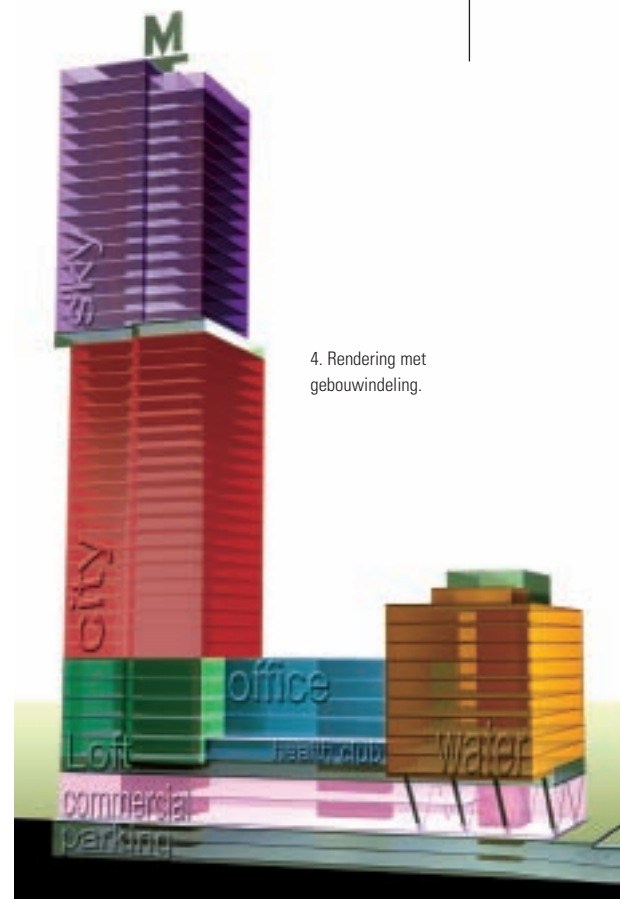
Verticale stad

De Wilhelmina-pier maakt een stormachtige ontwikkeling door sinds Rotterdam de havenactiviteiten verder naar het westen heeft verplaatst richting de kust. De pier ligt tussen de Maas aan de noordzijde en de Rijnhaven aan de zuidkant, op korte afstand van het centrum. Het is daarom de ideale plek voor een spectaculair woon/werkgebied (afb. 2 en 3). Francine Houben van het Delftse architectenbureau Mecanoo werd in 1999 door ING Real Estate en de Dienst Stedenbouw Rotterdam gevraagd een masterplan te ontwerpen voor een strook woningbouw aan de Rijnhaven. Op dat moment waren aan de Maaskant het World Port Center van Norman Foster en de KPN-toren van Renzo Piano al in aanbouw. Bovendien circuleerden toen ook de plannen van Rem Koolhaas voor het multifunctionele complex 'De Rotterdam' van 120.000 m² bruto vloeroppervlak en een hoogte van 126 m.

Het belangrijkste uitgangspunt van Houben was dat het programmatische verschil tussen de noord- en de zuidzijde van de Wilhelminapier niet in het architectonische beeld tot uitdrukking mocht komen. Vooral de zich eindeloos repeterende balkonnetjes – prototypisch voor de woningbouw – moesten worden vermeden. Ze stelde daarom een serie woontorens voor die samen een verticale stad zouden vormen en combineerde dit met een open en uitnodigende plintbebouwing op straatniveau. Verder gebruikte ze de incidentele laagbouw aan de Maaskant als 'contramal' voor de hoogbouw aan de kant van de Rijnhaven. Hierdoor kun je ook vanuit de woontorens genieten van een uitzicht over de Maas en de binnenstad van Rotterdam, die aan de overzijde ligt.

Traditie voortgezet

De pakhuizen die vroeger langs de Wilhelmina-pier stonden, hadden namen van grote wereldhavensteden zoals New York, New Orleans, Chicago, San Francisco, Baltimore en Havana. Deze traditie is voortgezet bij dit project. De Montevideo is vernoemd naar de hoofdstad van Uruguay aan de monding van de Rio de la Plata in de Atlantische Oceaan. Voor het architectonisch ontwerp is inspiratie gevonden in de Holland-Amerikalijs, waarmee vele Nederlanders in de jaren na de



4. Rendering met gebouwwindeling.



3. Stedenbouwkundige
maquette met de Montevideo
helemaal links, in het blauw.

Eerste Wereldoorlog het land verlieten om een nieuw bestaan op te bouwen in het land van de onbegrensde mogelijkheden. Het kantoor van de rederij zetelde in het huidige hotel New York en de oceaanstomers meerden af aan de Wilhelmina-pier.

Het ontwerp van Mecanoo verwijst dan ook naar de New Yorkse wolkenkrabbers uit de periode tussen de beide wereldoorlogen in de vorige eeuw, die worden gekarakteriseerd door baksteen, verfijnde detaillering en kleurgebruik, veel dakterrassen en loggia's.

Montevideo bestaat uit de volgende drie gebouwdelen (afb. 4):

- de woontoren van drieënveertig bouwlagen;
- de zogenaamde 'cantilever' van twaalf bouwlagen, met een aparte dakopbouw, die zijn naam ontleent aan de grote uitkraging aan de Rijnhaven;
- het middendeel dat tussen de woontoren en de 'cantilever' staat en acht bouwlagen telt.

Onder het gehele complex loopt een parkeergarage. De begane grond en de eerste verdieping zijn open gehouden om het contact met de straat te versterken (afb. 5). Het complex bevat in totaal bijna tweehonderd woningen. De zogenaamde waterappartementen bevinden zich in de cantilever, terwijl de sky-, city- en loft-appartementen in de toren zijn ondergebracht. Er zijn bij elkaar maar liefst vierenvijftig verschillende woningtypen. De sky-appartementen zijn zelfs volledig vrij indeelbaar. In het middendeel zijn de overige functies opgenomen (zie afb. 8).

Montevideo is een gebouw, waarbij de constructieve samenwerking tussen de materialen staal en beton naar een hoger plan is getild. Gelet op de steeds fraaiere architectonische ontwerpen en de vraag naar meer flexibiliteit blijft het in de toekomst zeker niet bij dit ene project. Uit de samenwerking met de aannemer blijkt dat ook de aannemerij steeds meer open staat om een dergelijk complex hybride project op een inventieve manier aan te pakken.



5. Maquette van de
Montevideo.

WOONTOREN

De vrije indeelbaarheid van de sky-appartementen in de bovenste helft van de toren (afb. 6) en het open karakter van de onderste verdiepingen bepaalden voor een belangrijk deel de keuze van het constructiesysteem. Raadgevend ingenieurbureau ABT ontwierp een optimale hybride constructie: het onderste deel voornamelijk in beton en het bovenste deel volledig in staal (afb. 7). Hierdoor konden de voordelen van een staalconstructie (flexibele indeling en open karakter) worden gecombineerd met die van beton (hoge stijfheid). Aanvankelijk bestond het idee om het betonnen deel uit te voeren met een tunnelbekisting. Tot 100 m hoogte is dat normaal gesproken – economisch gezien – goed mogelijk. Een technisch probleem hierbij was dat de wanden van de toren een hogere betonkwaliteit moesten krijgen dan de vloeren. Aannemer Besix, die in de fase van het definitief ontwerp bij het bouwteam werd betrokken, stelde daarom voor om met een klimbekisting te werken. Hiermee kan in vier werkdagen één verdieping worden gemaakt en is het geen probleem met verschillende betonkwaliteiten te werken. Bovendien is deze methode minder afhankelijk van de wind en blijft ook de kraaninzet beperkt.

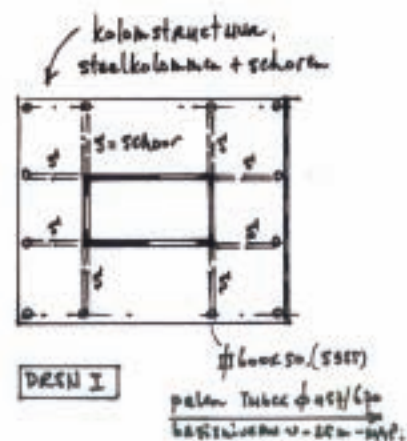
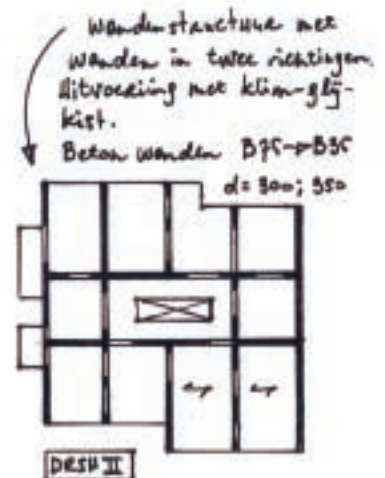
Tabel 1 geeft de globale constructieve opbouw van de toren weer. Het gebouw staat met ruim zevenhonderd betonnen palen op de eerste zandlaag op ongeveer 26 m –NAP. Deze draagkrachtige laag ligt boven de zogeheten Laag van Kedichem: dit is een samendrukbare kleilaag die onder bijna geheel Rotterdam is te vinden. Hiermee is bij de berekening van de verwachte zettingen van de toren rekening gehouden. Omdat het zwaartepunt van het gebouw, ook tijdens de bouwphase, enigszins excentrisch ligt, is de druk op de ondergrond niet overal gelijk. Hierdoor kunnen ongelijkmatige zettingen ontstaan. In het geval van de Montevideo was de verwachting dat deze verschillen dusdanig klein zijn, dat besloten is het gebouw wel hoger op te zetten, maar zonder scheefstand te bouwen.

Naast het zetten van de toren bestond ook het risico dat het gebouw bij een te hoge funderingsdruk door de zandlaag heen zou ponsen. In dat geval zou moeten worden gekozen voor een fundering op de tweede zandlaag. De palen moeten dan zwaarder en langer worden. Doordat bij dit project staal en beton slim is gecombineerd, kon de gemiddelde belasting op de ondergrond beperkt blijven tot ongeveer 380 kN/m^2 ($= 0,38 \text{ N/mm}^2$). Bij een geheel betonnen toren zou de belasting te groot zijn geworden om het gebouw op de eerste zandlaag te funderen. De fundering zou dan aanmerkelijk duurder uitvallen.

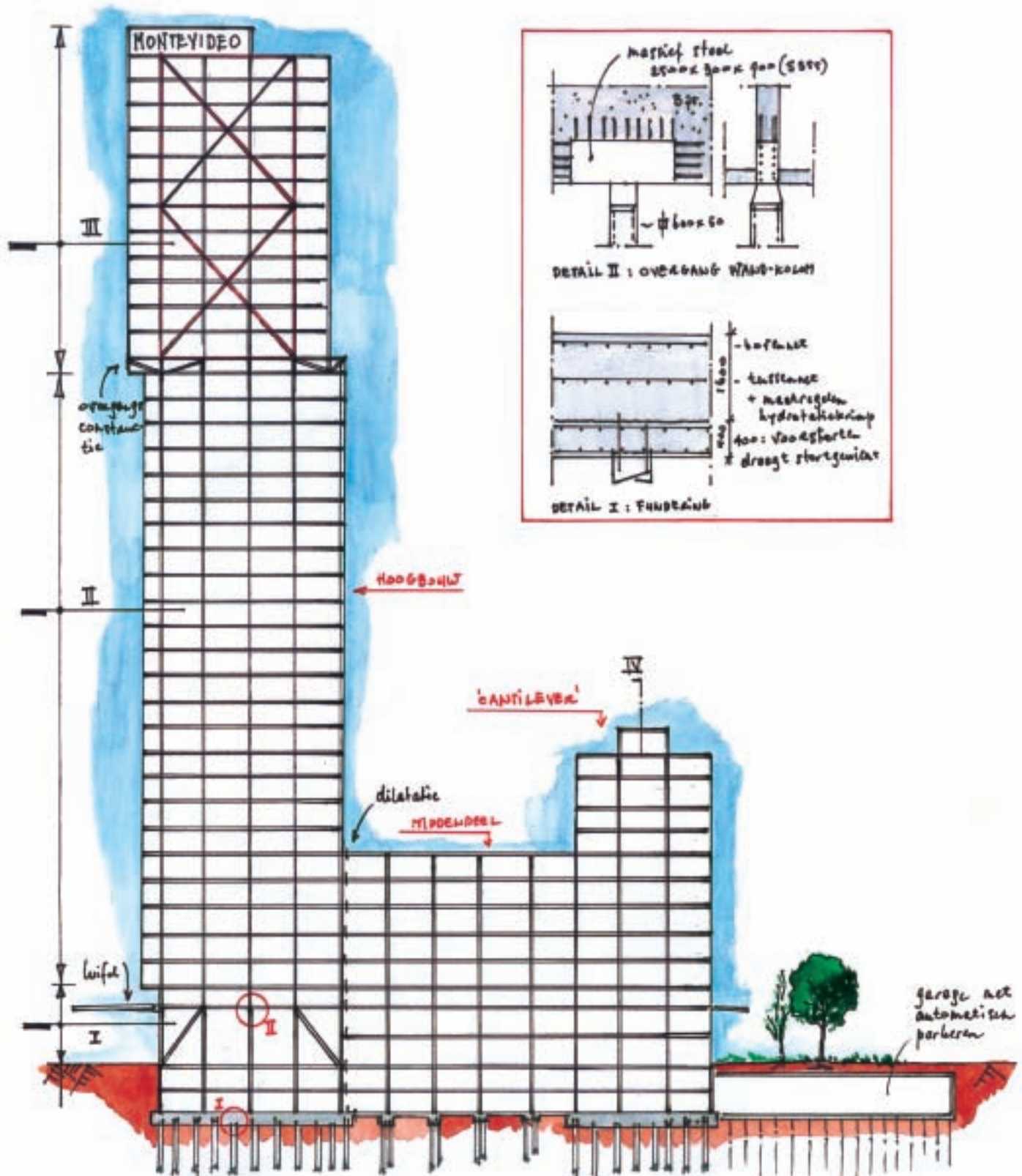
niveau	opzet constructie
fundering	betonnen trek- en drukpalen (450x450 mm en 400x400 mm), gefundeerd op –26 m NAP
–2, –1	betonnen wanden en staal-beton kolommen
0, 1, 2	betonnen kernen en met beton gevulde staalconstructie
3 t/m 27A	betonnen wanden en vloeren
28 t/m 43	stalen gevelbuisconstructie zonder betonnen kern

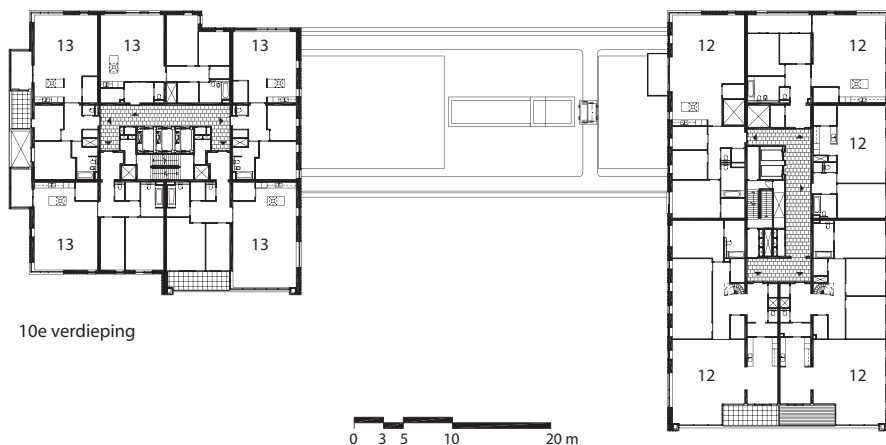
Tabel 1. Globale constructieve opzet van de woontoren.

7. Constructieve schets van hoofd-constructeur Walter Spangenberg.

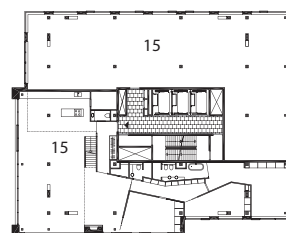


6. De bovenste (sky-)appartementen van de woontoren (rechts) kunnen door de koper volledig vrij worden ingedeeld. Links staat het World Port Center.

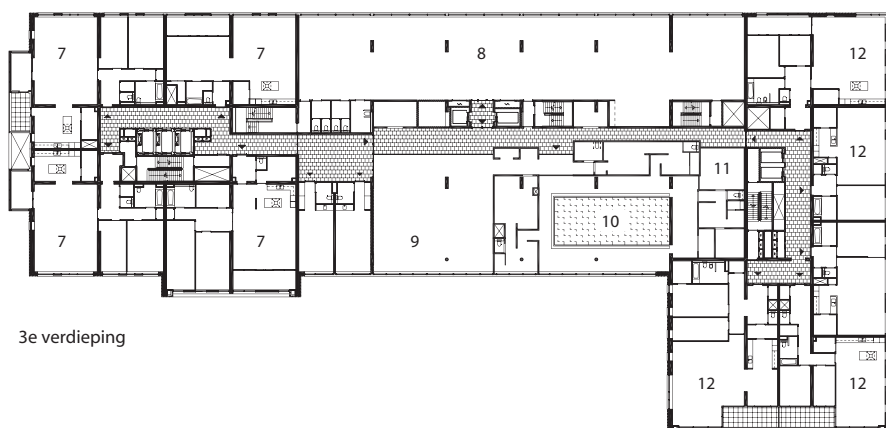




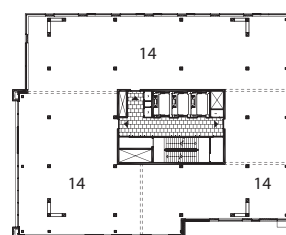
10e verdieping



41e verdieping

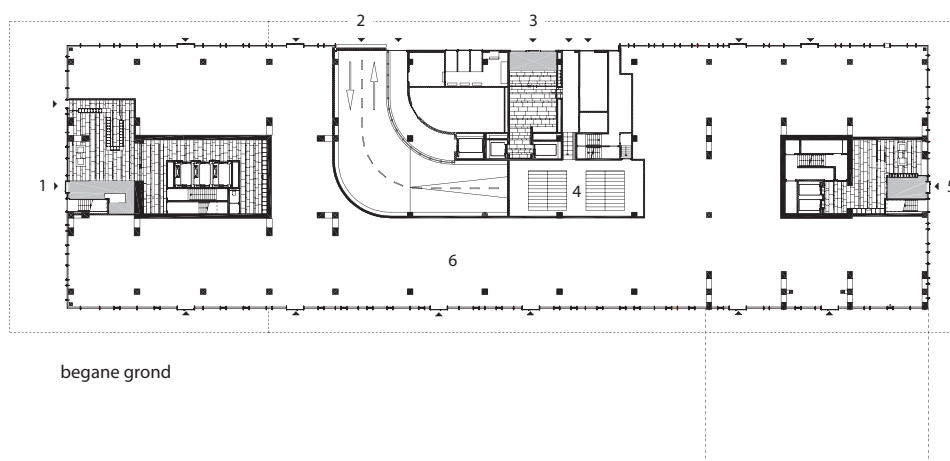


3e verdieping



35e verdieping

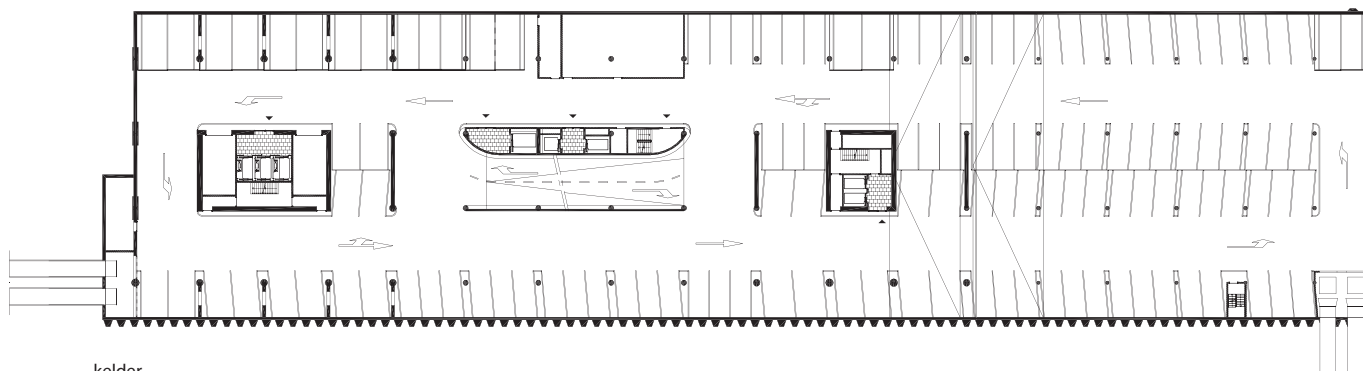
8. Plattegronden van een aantal kenmerkende verdiepingen.



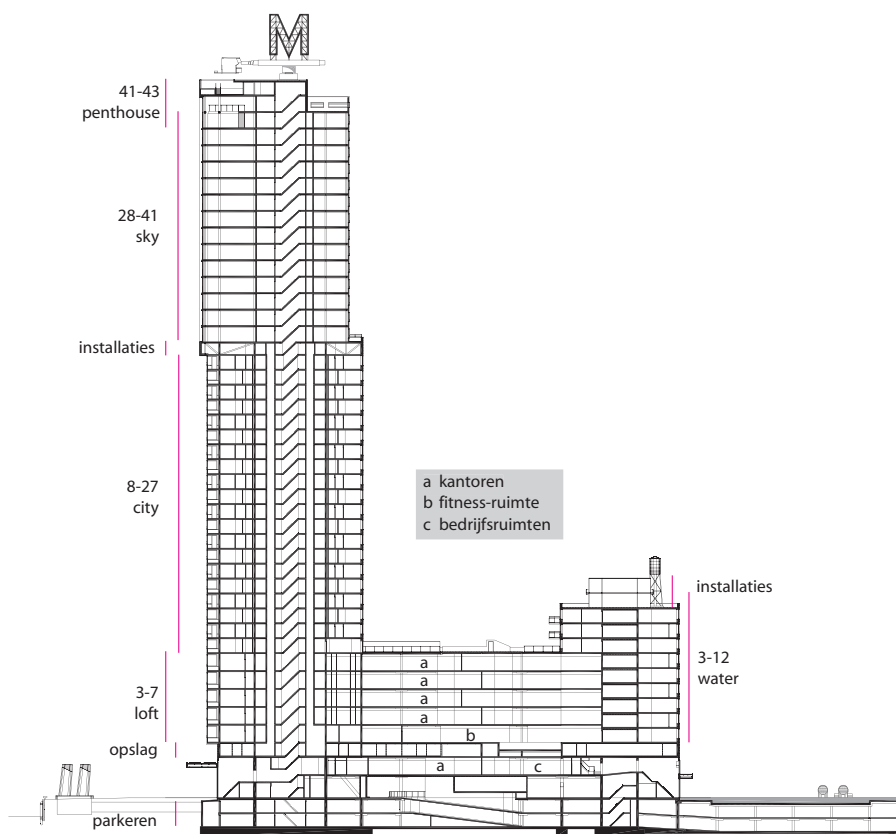
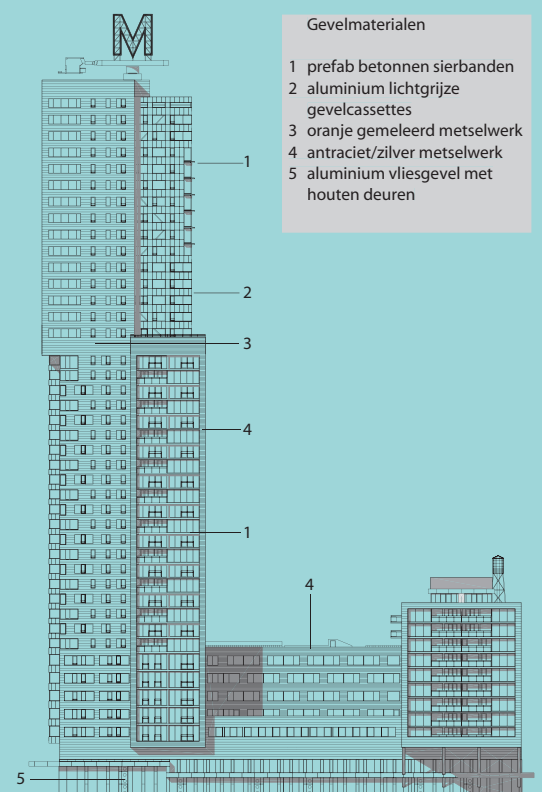
begane grond

Legenda bij plattegronden

- 1 entree appartementen woontoren
- 2 entree parkeergarage
- 3 entree kantoren
- 4 fietsenstalling
- 5 entree cantilever
- 6 verhuurbare ruimte
- 7 loft-appartementen
- 8 kantoren
- 9 fitness-ruimte
- 10 zwembad
- 11 sauna
- 12 water-appartementen
- 13 city-appartementen
- 14 sky-appartementen
- 15 penthouse



kelder

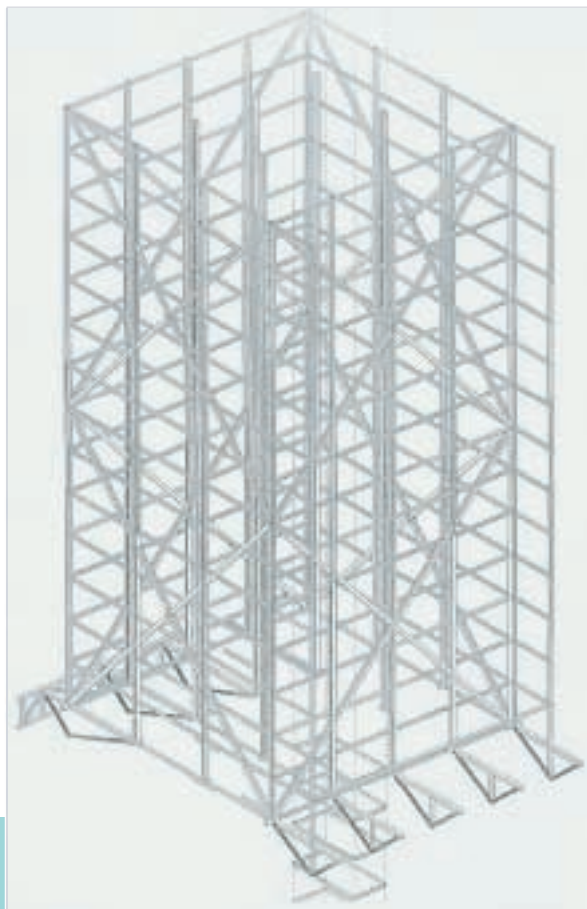


9. Gevelaanzicht vanuit het zuidoosten (links) en verticale doorsnede.

10

10. Vanuit de woontorens kunnen de bewoners genieten van een uitzicht over de Maas én over de binnenstad van Rotterdam, die aan de overzijde ligt.

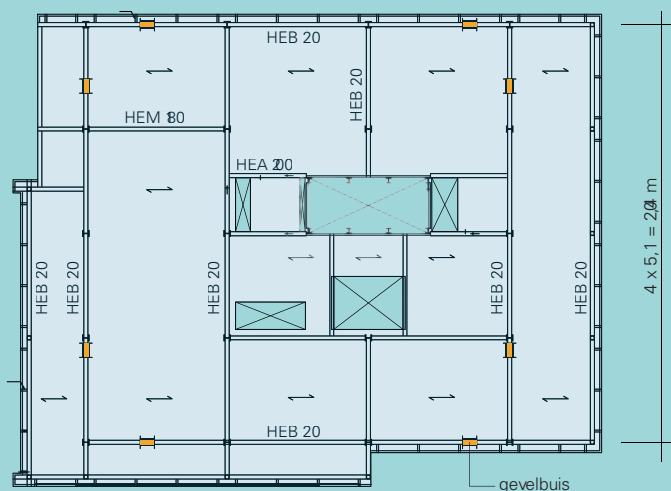
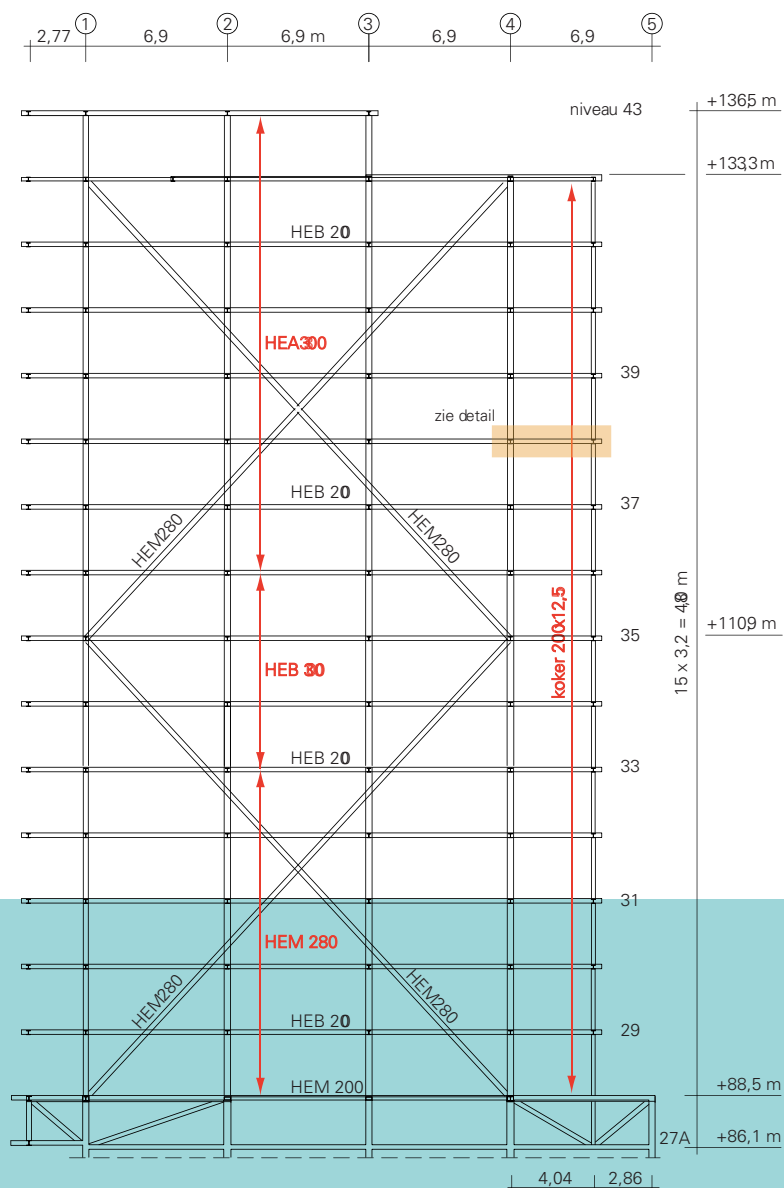




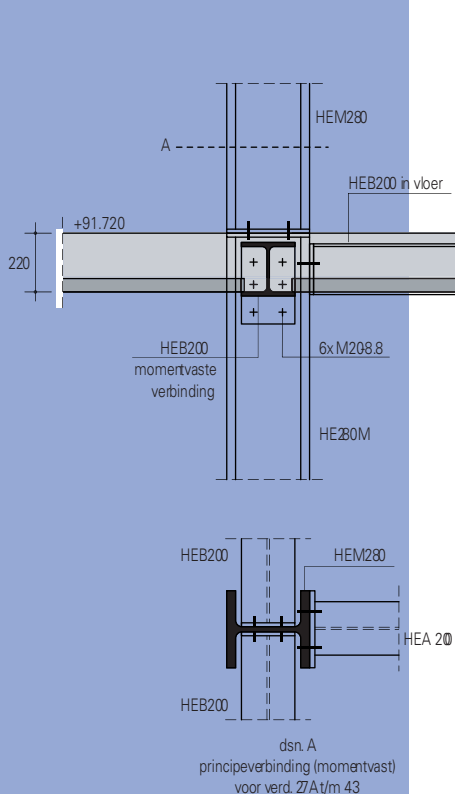
11. Isometrie van de complete staalconstructie van de sky-appartementen.



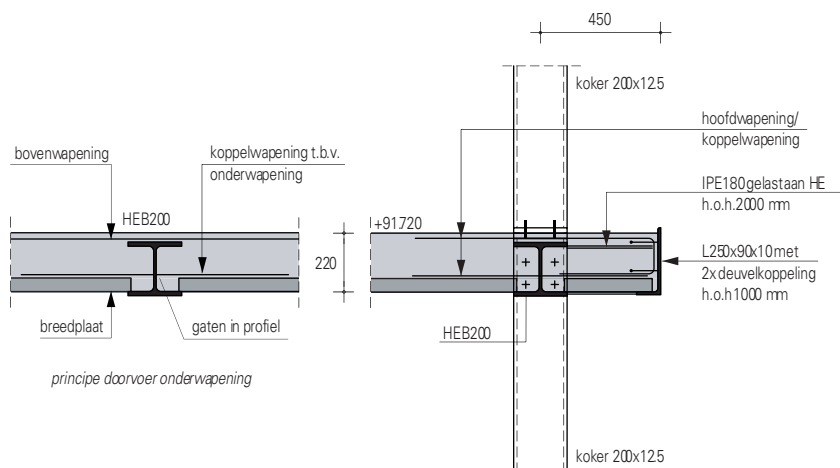
12. In het vrij-indeelbare interieur is de staalconstructie zichtbaar gelaten. De brandwerendheidseis voor de hoofddraagconstructie bedroeg 90 minuten doordat er een sprinkler aanwezig is. De stalen kolommen zijn beschermd met een brandwerende coating.



13. Verticale doorsnede ter plaatse van de gevelbuisconstructie en constructieve plattegrond van een standaardverdieping van de sky-appartementen.

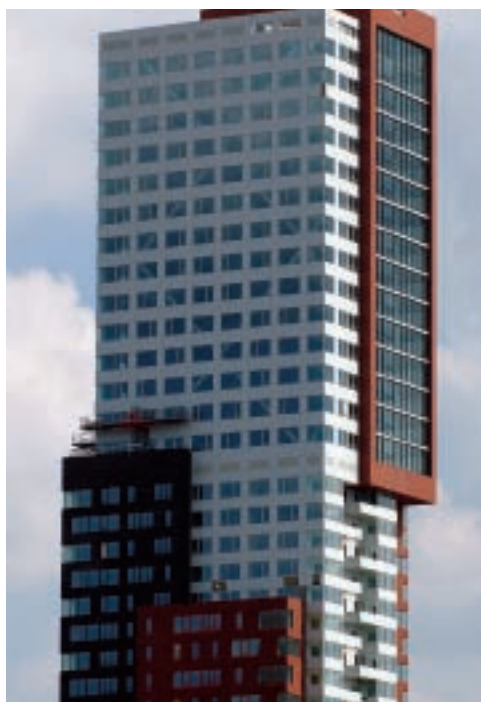


14. Constructieve details van de vloerconstructie van de sky-appartementen.

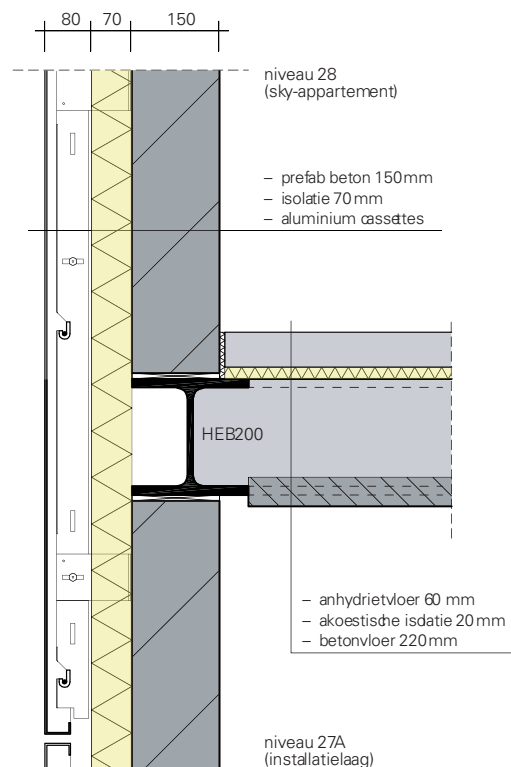


15. Montage van een segment van de stalen gevelbuisconstructie.

12



16. Bouwkundig detail (verticale doorsnede) van de gevel van de sky-appartementen, afgewerkt met lichtgrijze aluminium cassettes (zie foto).



Hybride constructie

In de parkeergarage bestaat de basis van de toren uit zware staalbeton kolommen met HD-profielen en opgelaste deuvelds (zie afb. 24). De constructie van de begane grond en de eerste verdieping bestaat uit een betonnen kern en een geschoorde staalconstructie van gelaste kokerprofielen die met beton zijn gevuld. De vierkante buizen hebben een buitenafmeting van 550 mm en een variërende wanddikte van 40 of 50 mm. Voor deze oplossing is gekozen vanwege de gewenste vrije indeelbaarheid van de entrees van de woningen en de commerciële ruimten op de begane grond. Om de overgang tussen de kelder en de begane grond mogelijk te maken, zijn staalprofielen HEM 240 in de begane-grondvloer gestort. De staalconstructie is hieraan vast gelast.

De constructie van de zesentwintig bovenliggende bouwlagen bestaat uit in het werk gestorte betonnen wanden met daartussen betonnen vloeren. De woningen op deze verdiepingen – de city-appartementen – hebben een vaste indeling. De achtentwintigste bouwlaag van de toren, de bovenste laag van het betonnen gedeelte, is een installatieverdieping. Door het ontbreken van een stopplaats voor de liften wordt deze laag verdieping 27A, genoemd. Hier is een stalen overgangsconstructie aangebracht tussen de betonnen onderbouw en de stalen bovenbouw (afb. 11). Deze constructie brengt de krachten uit de constructie van de sky-appartementen over op de geometrisch iets verschoven betonconstructie van de city-appartementen.

De hoofddraagconstructie van de achtentwintigste tot en met de drieënveertigste bouwlaag bestaat uit een volledige staalconstructie, dus zonder betonnen kern (afb. 13). Het sleutelwoord voor deze verdiepingen was 'maximale flexibiliteit'. Een beoogde koper van een woning in dit gedeelte van Montevideo kan niet alleen de grootte, maar ook de complete indeling zelf bepalen.

De draagconstructie bestaat uit stalen kolommen en vloerliggers. De stabiliteit wordt verkregen uit diagonalen die vlak achter de gevel lopen. Er ontstaat zo een zogenaamde gevelbuisconstructie. Voor de vloerconstructie is gekozen voor breedplaatvloeren (afb. 14) die liggen op de onderflenzen van de vloerliggers (HE-profielen). Onder de vloer lopen leidingen voor de sprinkler-installatie en de ventilatiekanalen. Deze zijn aan het zicht onttrokken door een plafond.

11 september 2001

Tijdens het ontwerp van Montevideo vonden in 2001 de aanslagen plaats op het World Trade Center in New York en op het Pentagon in Washington. Dit leidde tot discussie in het ontwerpteam over de vraag in hoeverre je een hoog gebouw kan en moet beschermen tegen zulke extreme calamiteiten. Uiteindelijk is een compleet veiligheidsdocument opgezet, waarin de gevolgen zijn uiteengezet van een mogelijke impact van een vrachtwagen, een schip en een vliegtuig. Voor dit laatste leek dit project niet direct gevoelig, maar de kans dat een op drift geraakt schip de kade vlakbij de toren ramt, is zeker niet denkbeeldig. De kelderconstructie is hier dan ook op berekend.



17. Voor het gebouw is een complete veiligheidsstudie gemaakt, waarbij onder meer een mogelijke impact van een vrachtwagen, een schip en een vliegtuig zijn beoordeeld.



De constructie van de toren en van de cantilever kreeg bovendien een alternatieve draagweg, zodat het wegvallen van één kolom of van één diagonaal geen bezwijken van het gebouw tot gevolg heeft. Ná 11 september 2001 is nog besloten de kokerprofielen van de staalconstructie op de begane grond met beton te vullen, zodat hiermee nog wat extra robuustheid is ingebouwd.

Staalconstructie



18. Een stalen spant wordt met een drijvende bok ingehesen.

Tijdens de uitvoering is nuttig gebruikt gemaakt van de ligging van het bouwterrein aan de Rijnhaven. De staalconstructie voor de begane grond en de eerste twee verdiepingen is in delen gelast op een voormalige scheepswerf bij Antwerpen en per schip naar Rotterdam vervoerd. De 70 ton zware delen zijn met een drijvende bok in één dag ingehesen (afb. 18). De betonnen kern is vooruit gebouwd, zodat de klimbekisting het monteren van het staal niet zou bemoeilijken. De staalconstructie voor de bovenbouw (sky-appartementen) is in de werkplaats van lemans in België gelast tot elementen van drie verdiepingen hoog; een maat die bepaald wordt door de transportmogelijkheden over de weg. Ze zijn op de bouw met boutverbindingen gemonteerd.

Met het plaatsen van de negen ton wegende 'M' op 21 maart 2005 bereikte het gebouw zijn hoogste punt van exact 152,317 m boven het maaiveld (afb. 19). De naamletter van 8x8x1,6 m kan roteren en fungeert als windwijzer: een verwijzing naar het maritieme karakter van de locatie. Samen met de watertank van kunstenares Ineke Hauer op het dak van de cantilever maakt de M het Holland-Amerikagevoel compleet.



19. Met het plaatsen van de 'M' bereikte het gebouw zijn hoogste punt op 152,317 m boven het maaiveld.



20. De stalen gevelbuisconstructie – zonder betonnen kern – staat boven op de betonnen onderbouw.

CANTILEVER EN MIDDENDEEL

Het constructieve principe van de cantilever is in hoofdlijnen gelijk aan dat van de woontoren. Op de begane grond is een extra stalen schoorconstructie toegevoegd om de torderende belasting op te nemen die wordt veroorzaakt door wind op de uitkraging (afb. 21). In het eerste ontwerp voor de uitkraging werden de belastingen uit de verdiepingen met stalen V-vormige verbanden naar achteren gebracht. Hoewel dit een vrijere ruimte opleverde op de kade onder de uitkraging, had dit consequenties voor de zichtbaarheid van de constructie in de woningen, de gevelindeling en de maakbaarheid van de constructie. Uiteindelijk is ervoor gekozen om de schoren op de begane grond tot buiten het gebouw door te laten lopen, zodat de uitkraging beperkt bleef. De wanden bovenop de geschoorde staalconstructie hebben op een aantal verdiepingen een zware trekwapening om de horizontale belastingcomponent tot achter de laatste kolom te verankeren (afb. 22). De uitvoering van deze verankering lag erg kritisch, omdat de dikte van de betonwand slechts 300 mm bedraagt! Alleen voor de uitvoering van de eerste verdiepingen is een stempelconstructie op de kade aangebracht. Dankzij een uitgekende fasering kon de aannemer de stempeling snel verwijderen om de betonnen wanden vervolgens zichzelf te laten dragen.

De constructie van het middendeel bestaat uit een regelmatige kolommenstructuur in beton en een aantal overgangswanden. De stabiliteit wordt ontleend aan de woontoren en de cantilever. De dilatatie tussen het middendeel en de woontoren is daarom getand uitgevoerd. Deze verbinding kan wel horizontale krachten overbrengen, maar geen verticale.



21. De schoren van de 'cantilever' lopen op de begane grond tot buiten het gebouw door, zodat de uitkraging beperkt blijft.



22. De 'cantilever' van links naar rechts: schets van constructeur Walter Spangenberg (zie ook afb. 7 voor de details); bij oplevering; tijdens de montage van de staalconstructie.

BIJZONDERE ASPECTEN

Meedenkende aannemer

Het uitvoeren van een hybride constructie vraagt de nodige aandacht van de aannemer. Die werd dan ook al tijdens het definitief ontwerp bij de ontwikkeling van de toren betrokken. Hierdoor konden potentiële knelpunten in een vroeg stadium worden gesignaleerd en opgelost. Met de door Besix voorgestelde klimbekisting voor de wanden van de toren bleek het mogelijk om zó snel te bouwen dat de bouwdirectie op een gegeven moment zelfs aan de rem moest trekken.

Om de stabiliteit van de constructie tijdens de bouw te garanderen, moest er namelijk minstens één vloer per vijf verdiepingen aanwezig zijn. Toen die verhouding 1:7 dreigde te worden, zette de aannemer extra ploegen voor de vloeren in om de klimbekisting bij te kunnen houden.

Andere, door de aannemer aangebrachte wijzigingen waren meer van praktische aard. Zo is de staalconstructie in de onderbouw, die in het ontwerp uit warmgewalste profielen bestonden, uitgevoerd met uit plaat gelaste kokers. De levertijd op de gewalste profielen was toen namelijk meer dan een jaar! Ook de uitvoering van de aansluiting van de wapening op de massieve hamerstukken onderging een belangrijke wijziging. Aanvankelijk zouden de wapeningsstaven met een stuiklas direct hierop worden gelast. Op deze manier is er echter maar een kleine laslengte mogelijk. Dat zou resulteren in een te zwakke las, onder meer omdat bij het bepalen van de sterkte van een las moet worden uitgegaan van de laagste staalkwaliteit van de te verbinden delen. In dit geval was het wapeningsstaal van kwaliteit S510, terwijl het constructiestaal 'slechts' S355 was. Daarom is ervoor gekozen om kammen en hoeklijnen op de hamerstukken te lassen en de wapeningsstaven in de lengte weer daaraan te verbinden. De laslengte wordt zo veel groter, waardoor de krachten beter kunnen worden ingeleid.

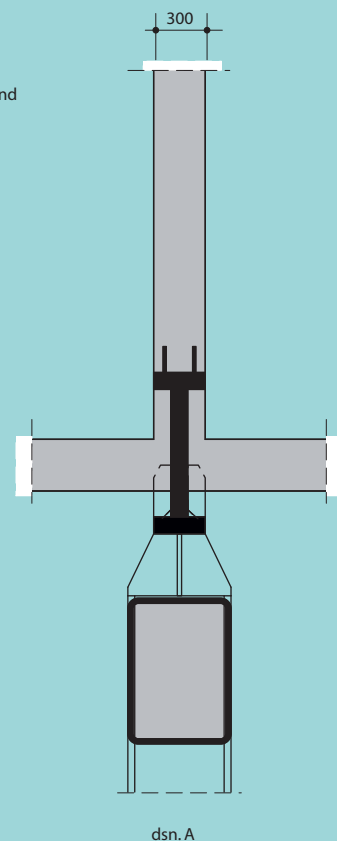
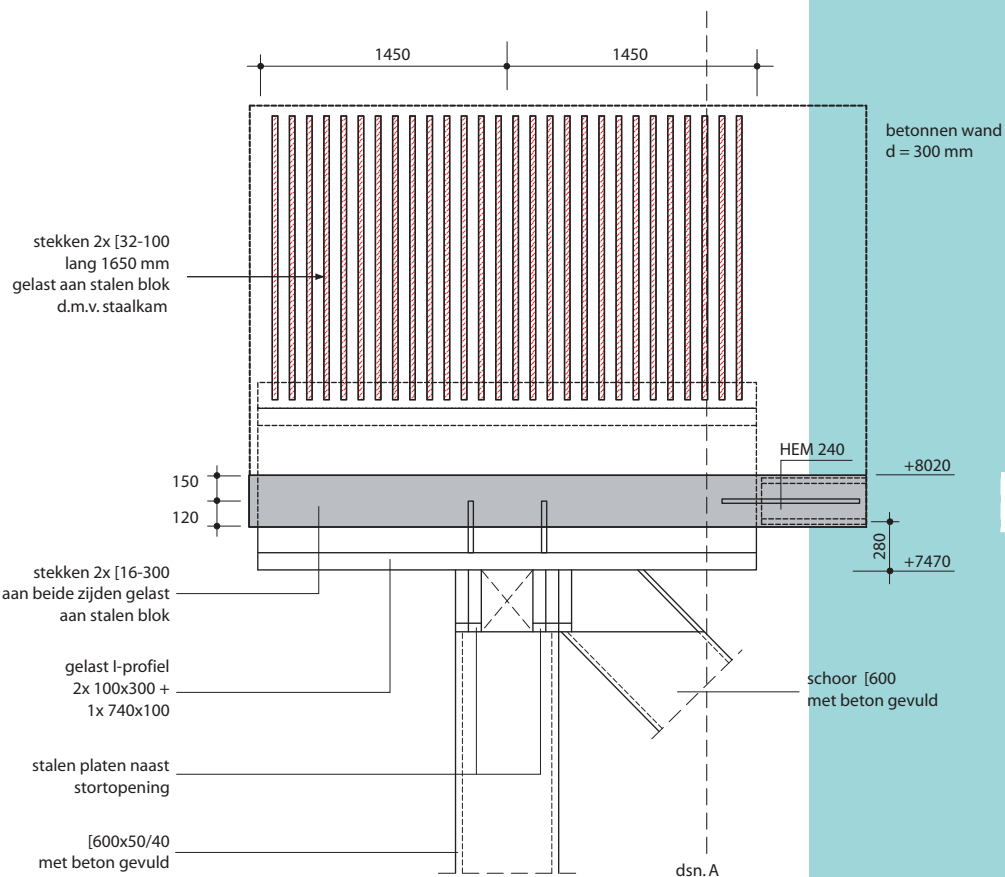
23. Al tijdens het definitief ontwerp werd de aannemer bij de ontwikkeling van de toren betrokken. Hij stelde bijvoorbeeld voor om voor de betonnen wanden van de onderbouw een klimbekisting te gebruiken.

Overgangsconstructies

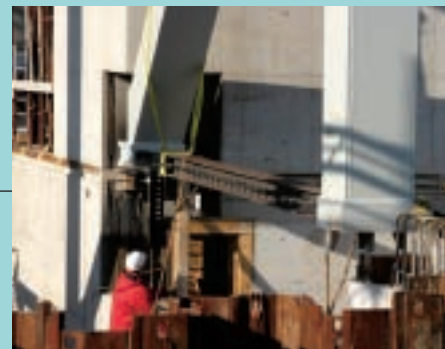
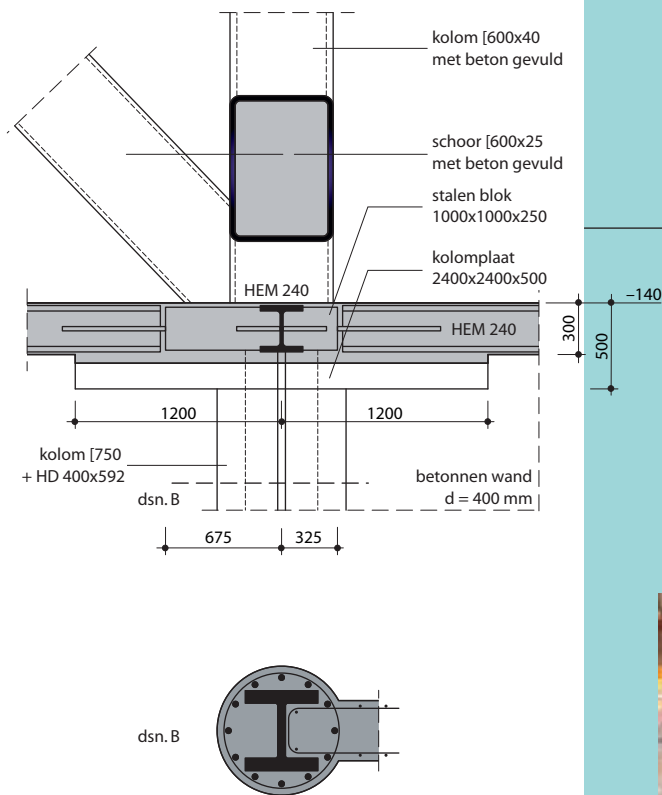
De stapeling van verschillende constructiesystemen in staal en beton leidt er toe dat er in de woontoren twee overgangsniveaus ontstaan, namelijk op niveau 2 (afb. 24) en op niveau 27A. Deze laatste vormt de overgang tussen de stalen bovenbouw met de sky-appartementen en de betonnen onderbouw met de city-appartementen.

Niveau 2

Op de tweede verdieping moeten de krachten weer uit het beton in het staal worden geleid. Alleen de wanden bij de kern in het midden van het gebouw lopen door tot in de kelder. Het belangrijkste aandachtspunt is vergelijkbaar met dat op niveau 27A: ook hier moeten de krachten worden gespreid in het beton. De belastingen zijn op dit niveau wel ongeveer drie keer zo hoog: er moeten dan ook zesentwintig betonnen verdiepingen extra worden gedragen.



24. Details van de overgangsconstructie op niveau 2: (boven) overgang tussen de stalen portalen op de eerste verdiepingen en de betonconstructie, (midden) overgang tussen de kelderconstructie en de staalconstructie van de begane grond tot en met de tweede verdieping en (onder) horizontale doorsnede van de staal-beton kolommen in de kelder.





25. Zware stalen I-profielen verzorgen de krachtsoverdracht tussen de beton- en de staalconstructie. Op de I-profielen zijn kammen in de vorm van staalplaten aangebracht, waar het wapeningsstaal tussen is gelast om een goede verbinding te verkrijgen.



26. Het stalen spant van de begane-grondconstructie wordt geplaatst. Aan de onderzijde is het staalprofiel zichtbaar, dat in de betonvloer wordt meegestort.

27. De kern van de staal-beton kolommen in de kelder bestaat uit een HD-profiel met aangelaste deuvels.



De maximaal in te leiden kracht bij deze overgang is 32.000 kN. Ondanks het toepassen van betonkwaliteit B65 zijn hiervoor zeer zware gelaste I-vormige profielen nodig van 940 mm hoog met een flensbreedte van 300 mm (afb. 25). De dikte van zowel het lijf als van de flens van deze hamerstukken bedraagt 100 mm en de lengte maximaal 2900 mm. Oorspronkelijk was deze verbinding ontworpen met een massief stalen hamerstuk van 1600x300x500 mm. Omdat zo'n blok echter alleen als halffabrikaat leverbaar is waarvan de staalkwaliteit niet over de gehele dikte kon worden gegarandeerd, werd een I-vormig profiel samengesteld uit platen van maximale dikte in staalkwaliteit S355.

De afdracht van de horizontale krachten uit de betonnen wanden naar de onderliggende geschoorde staalconstructie geschiedt via ingestorte profielen. Aangelaste deuvels dragen de horizontale krachten over naar de vloer van de tweede verdieping. Dezelfde vloer moet verticaal wel gekoppeld blijven met de bovenliggende betonnen wanden. Ook hiervoor is een wapening aan de stalen liggers gelast. Via de vloer kunnen de horizontale krachten 'oversteken' naar de stabiliteits-elementen van de zware staal-beton constructie op de begane grond (afb. 26).

Niveau 27A

De staalconstructie van de bovenbouw is constructief gezien een gevelbuis, die ook de stabiliteit verzorgt. De gevelbuis is samengesteld uit profielen variërend van HEM 280 en HEB 300 tot HEA 300. Doordat de stalen bovenbouw geometrisch is verschoven ten opzichte van de betonnen onderbouw, staan de gevelkolommen aan de voor- en achterzijde niet meer in lijn met de betonnen wanden van de onderbouw. Hiervoor is op niveau 27A een vakwerkconstructie aangebracht. Alle inpandige kolommen staan wél recht boven de betonnen wanden.

De verticale belastingen uit de versprongen gevelkolommen worden via een hybride vakwerkconstructie in de betonnen wanden geleid. De diagonalen en de bovenrand van de vakwerken zijn van staal, terwijl de betonnen vloer als gedrukte onderrand fungeert.

De maximaal over te dragen verticale belasting op de betonnen wanden op dit niveau bedraagt 9700 kN. De inleiding van deze krachten moet zorgvuldig gebeuren om er voor te zorgen dat de spanningen in het beton beperkt blijven. Om de belastingen uit de staalconstructie te spreiden, zitten onder de kolommen massieve stalen hamerstukken van maximaal 300x1200 mm. Deze hebben een aangelaste wapening om de belasting op het beton te kunnen overdragen.

Niet alleen de verticale, maar ook de horizontale belastingen moeten uit de stalen bovenbouw op de betonnen onderbouw worden afgedragen. Deze krachtsoverdracht vindt voornamelijk plaats in de vloer van niveau 28; feitelijk de onderrand van de stalen gevelbuis. Aan de horizontale liggers is hier een wapening gelast om de belasting in te leiden in de betonnen vloer. Door het aanbrengen van trekbanden functioneert de vloer als horizontale schijf die de krachten naar de betonnen kern van de onderbouw leidt.

Rekenpakket

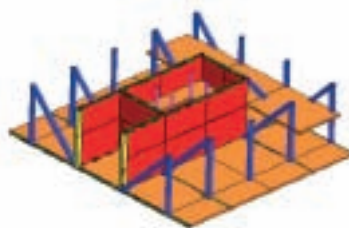
Voor de constructieberekeningen maakte ABT gebruik van het eindi-ge-elementenpakket DIANA. Dit programma is minder gebruiksvriendelijk dan Esa Prima Win dat ABT doorgaans gebruikt en is ook niet zo specifiek toegesneden op bouwkundige constructies. DIANA bevat bijvoorbeeld geen directe eenheidscontrole op de normen. Toch waren er belangrijke redenen om met DIANA aan de slag te gaan. ABT wilde de gehele constructie van dit complexe gebouw in één rekenkundig model stoppen (afb. 28 en 29). Hierdoor krijgt het model een zeer groot aantal elementen. Er bestond twijfel of een ander pakket hierop niet zou vastlopen. De rektijden nemen bij een dusdanige constructie enorm toe, waardoor de efficiënte reken-routines van DIANA een belangrijk pluspunt werden. Ook hiermee kon een geometrisch niet-lineaire berekening nog gemakkelijk een weekend in beslag nemen.

Een andere, praktische reden om voor DIANA te kiezen was de tijdsdruk. Er bestond destijds namelijk de mogelijkheid het nogal specialistische werk van het invoeren van de constructie extern uit te laten voeren. Alhoewel de opbouw van het rekenkundige model veel tijd kostte, bleek het een groot voordeel om vervolgens direct hieruit alle spanningen en vervormingen te kunnen bepalen.

Ook de gevolgen van lokale wijzigingen voor de rest van de constructie konden hiermee zeer goed worden bepaald. Wel vereist het werken met zo'n complex model grote oplettendheid op de correctheid van de invoer en de resultaten. Al gauw wordt een berekening een 'black box', waarbij de gevolgde berekeningswijze niet meer is te volgen. Er zijn dan ook handmatige berekeningen van het gebouw gemaakt om de orde van grootte van de resultaten te controleren. Deze berekeningen zijn, ter verduidelijking, samen met de in- en uitvoer van DIANA ingediend bij het gemeentelijk Bouw- en Woningtoezicht van Rotterdam.



28. Modellerings van de begane grond (onder) en van een appartementenverdieping in het betonnen deel (boven) van de woontoren.

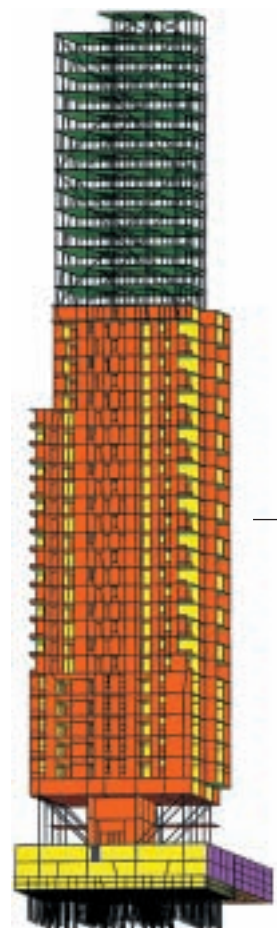


niveau 28 t/m 43:
stalen gevelbuis

niveau 3 t/m 27:
betonskelet

niveau 0 t/m 2:
staal-beton constructie

niveau -2 t/m 0:
betonconstructie





30. De maximaal berekende verplaatsing van de top van de toren bedraagt 240 mm.

Beproeven laswerk

De overdracht van krachten tussen constructiestaal en gewapend beton vindt bij de Montevideotoren veelvuldig plaats. Het meest opvallend zijn de zware samengestelde hamerstukken op de overgangsverdiepingen van de woontoren en de cantilever om de verticale belastingen over te dragen. Maar ook voor de horizontale krachtoverdracht zijn stalen liggers ingestort in de betonnen vloeren. Aan al deze stalen verbindingselementen is wapening gelast in verschillende diameters, variërend van 16 mm tot 40 mm!

De lassen kunnen niet door elke lasser worden gelegd; dat verlangt expertise. De hoge sterkte van het wapeningsstaal kan namelijk door een verkeerde manier van lassen teniet worden gedaan. Daarom is de praktijkrichtlijn NPR 2053 (Lasverbindingen met betonstaal en stalen strippen) in het bestek van toepassing verklaard. Omdat er in Nederland nog geen lascertificaten voor dit soort verbindingen bestaan (in Duitsland bijvoorbeeld wel), schrijft de richtlijn voor dat de aannemer op elke verschillende verbinding minimaal drie proeven moet uitvoeren. Dit is bij de Montevideo gebeurd. Van alle type verbindingen – en dat zijn er bij Montevideo gezien de variatie aan wapeningsdiameters en plaatdikten heel wat – zijn proefstukken gelast. Deze zijn vervolgens beproefd door het Materials Testing Department van Stork FDO (afb. 31). Tot tevredenheid van alle betrokken partijen bleek de gelaste verbinding in alle gevallen ruim te voldoen aan de sterkte-eisen. De staven bezweken niet op de las, maar snoerden in bij een spanning van 560 N/mm^2 . De kwaliteit was hiermee verzekerd.

20

29. Volledig driedimensionaal DIANA-model van de woontoren.



31. Alle verschillende typen lasverbindingen zijn in het laboratorium beproefd op sterkte.

Colofon

tekst ir. F.P. Bos
eindredactie ir. C.H. van Eldik, *Bouwen met Staal*
vormgeving Karel Ley, Fig. 84 - Reclamestudio

illustraties ABT – voorkant linksonder, 7, 13-15, 16 rechts,
18, 22 links, 24-29, 31
C.H. van Eldik – voorkant rechtsboven, achterkant
links, titelpagina, 5, 16 links, 21, 30
R. 't Hart – 1, 10, 17, 22 midden
ING Real Estate – 23
Kats en Waalwijk – 11
J. Klerks – voorkant rechtsonder, 12, 19, 20, 22 rechts
Mecanoo architecten – achterkant rechts, 2-5, 8, 9

ISBN 90-72830-63-6

Deze publicatie is voor een belangrijk deel gebaseerd op het artikel 'Heldere stapeling van principes' van ir. W. Spangenberg en ir. A.R. van Eerden in *Bouwen met Staal* 185, (2005). Tevens zijn aanvullende gesprekken gevoerd met ir. A.R. van Eerden (ABT) en met W. Dom (Besix). Ook is gebruik gemaakt van informatie van Mecanoo architecten.

De uitgave van deze publicatie is mede mogelijk gemaakt dankzij een financiële bijdrage van de Staal Federatie Nederland.

©Bouwen met Staal 2006

Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden veelevoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand en/of openbaar gemaakt, in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch door fotokopieën, opnamen of op enige andere manier, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de uitgever.

Aan de totstandkoming van deze publicatie is de uiterste zorg besteed. Desondanks zijn eventuele (druk)fouten en onvolkomenheden niet uit te sluiten. De uitgever sluit, mede ten behoeve van al degenen die aan deze publicatie hebben meegewerkt, elke aansprakelijkheid uit voor directe en indirecte schade, ontstaan door of verband houdende met de toepassing van deze publicatie.

Bouwen met Staal
Boerhaavelaan 40, 2713 HX Zoetermeer
Postbus 190, 2700 AD Zoetermeer
tel. (079) 3531277
fax (079) 3531278
e-mail info@bouwenmetstaal.nl
internet www.bouwenmetstaal.nl



P r o j e c t d o c u m e n t

Met een projectdocument informeert Bouwen met Staal constructeurs, architecten, aannemers en studenten over Nederlandse bouwprojecten, waarin vernieuwende, onbekende of juist vergeten staalbouwconcepten zijn toegepast. De initiatiefnemers van een project vertellen waarom ze voor een bepaalde constructiewijze hebben gekozen, hoe het hen in de weerbarstige bouwpraktijk is vergaan en wat er van het project terecht is gekomen.