

ing. Mischa Andjelic PMSE RC  
 ir. Matthij Moons RC  
 ir. Remco Wiltjer RO  
 IMd Raadgevende Ingenieurs

1 Amstel Tower in aanbouw.  
 foto: Mariska Stieber  
 2 Overzicht locatie

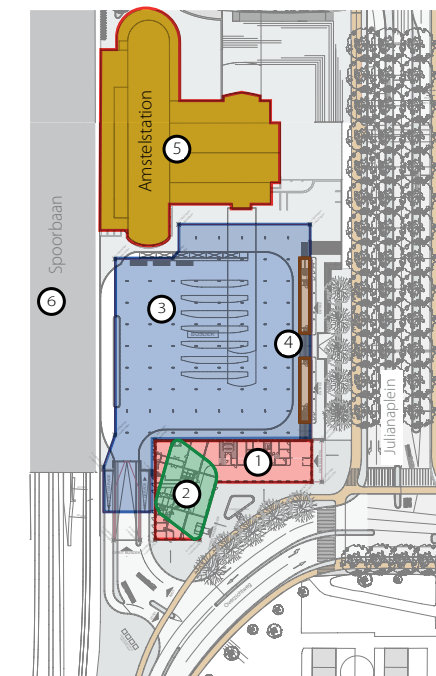
*Naast het Amsterdamse Amstelstation wordt gebouwd aan de Amstel Tower: de hoogste woon- en hoteltoeren binnen de ring van Amsterdam. Op het oog een simpele betonconstructie, maar erachter gaat een uitgekiend constructief ontwerp schuil.*

De Amstel Tower bestaat uit een laagbouwgedeelte van zes lagen met daarop een 103 m hoge woontoren met dertig verdiepingen. In de laagbouw wordt een hotel van keten Meininger gerealiseerd met 186 kamers. In de woontoren komen in totaal 192 huurappartementen. Tussen de woontoren en het hoteldeel bevindt zich een installatielaag. Kenmerkend in het ontwerp van de toren zijn de afgeronde hoeken van het gebouw met rondom balkons. Door deze afgeronde hoeken is de schaduwwerking in de omgeving beperkt en is de inpassing in de omgeving verbeterd. Rond het hotelgedeelte bevinden zich prefab-betonnen luifels die toegankelijk zijn voor onderhoud en glasbewassing. Op het dak is een 'kroonconstructie' ontworpen met nog twee ringen met luifel-elementen.

Aanvankelijk was onder de toren een kleine, meerlaagse parkeergarage voorzien. Om kosten te besparen, is uiteindelijk gekozen een grote eenlaagse parkeergarage náást de toren te maken. Onder de toren komt slechts één laag met woningbergingen. De parkeergarage telt 171 plaatsen. Op het parkeerdek wordt door de gemeente Amsterdam een busstation ingericht. Aan de zijde van het Julianaplein zijn tegen de parkeergarage nog twee ruimten voor winkels gerealiseerd (fig. 2).

Besparing bouwkosten dankzij slimme oplossingen

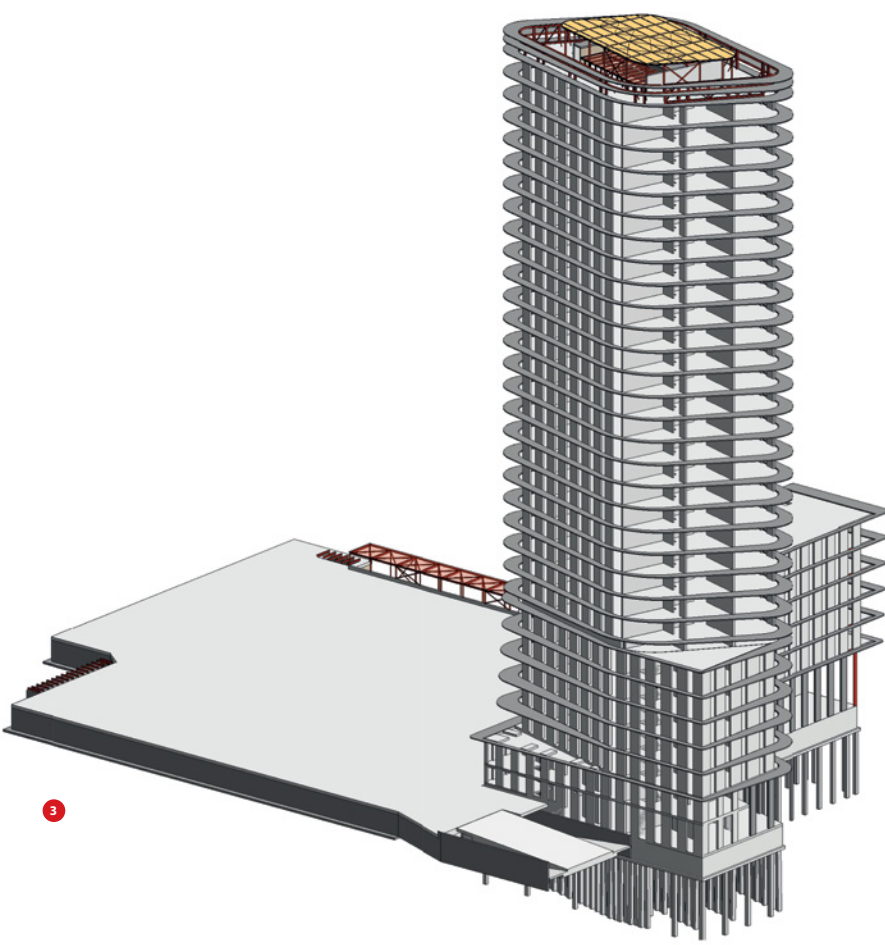
# Amstel Tower siert skyline Amsterdam



2

1. Hotel
2. Woontoren
3. Parkeergarage + -dek
4. Winkels
5. Amstelstation
6. Spoorbaan + perron



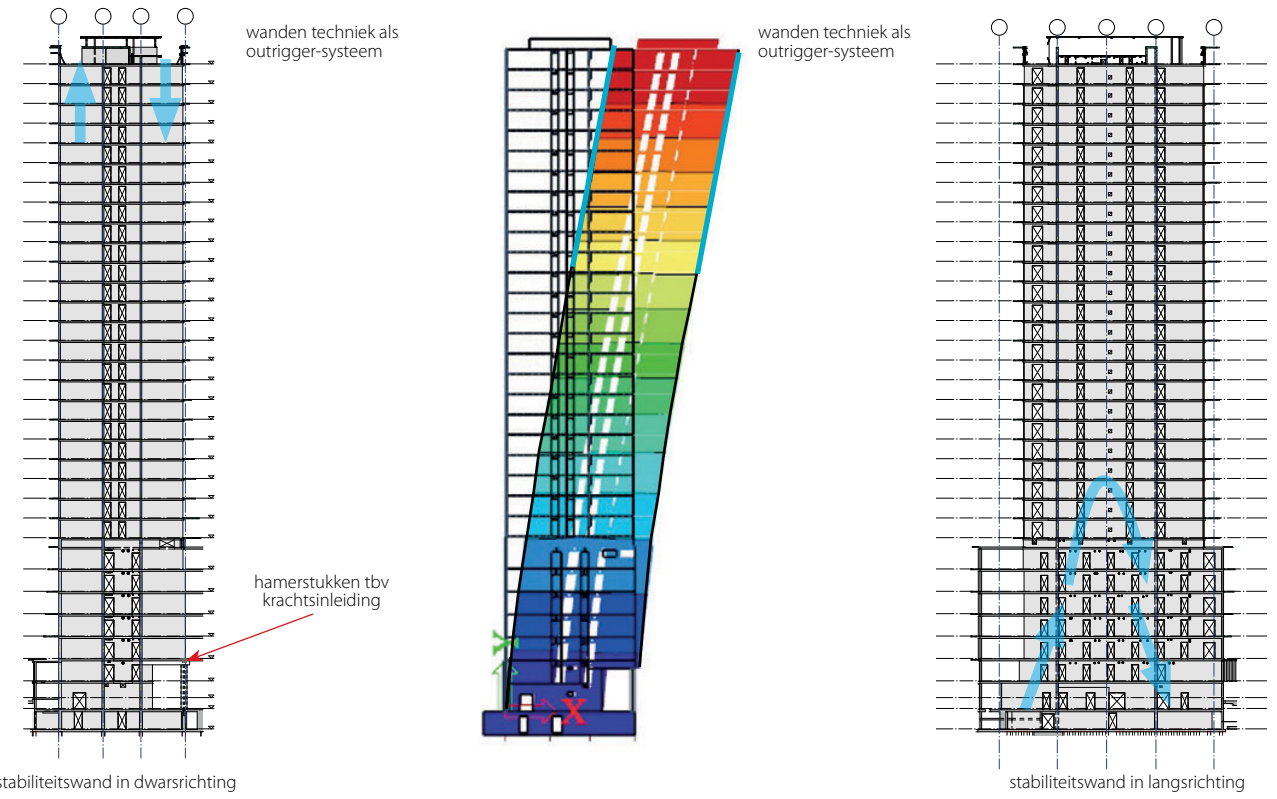
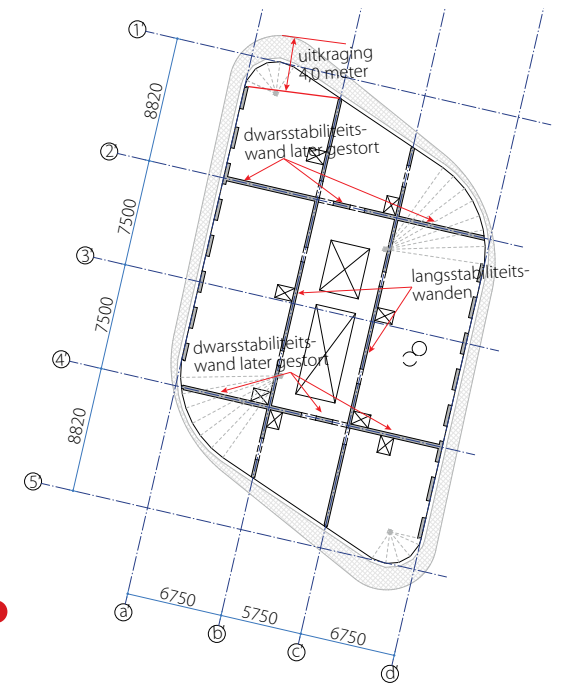


- 3 Model Amstel Tower
- 4 Plattegrond woningverdieping
- 5 Stabiliteitswanden in langs- en dwarsrichting
- 6 Staal-betonkolom voordat de tunnelkist eromheen is geplaatst

**Hoofddraagconstructie en stabiliteit**

De constructie van de woontoren bestaat uit heldere en logische draaglijnen die doorlopen tot de fundering (fig. 3). De aanwezige betonwanden verzorgen de stabiliteit in twee richtingen (fig. 4). Deze wanden worden in de onderbouw langer, waardoor de krachten goed worden gespreid op de fundering. Hierdoor was het mogelijk de dikte van de wanden te beperken. Bij het ontwerp is de verdiepingshoogte geoptimaliseerd, waardoor er een extra laag in de woontoren kon worden gerealiseerd. Gevolg was wel dat de hoogte van lateien in de stabiliteitswanden is gereduceerd. Door de vele openingen in de dwarsstabiliteitswanden, zijn deze in twee delen gedeeld. Hierdoor was er extra stabiliteit nodig. Deze is gevonden door de gesloten wanden van de technieklaag op het dak onderdeel te maken van de stabiliteitswanden. De twee delen van de wand zijn hiertoe constructief met elkaar gekoppeld met een outriggersysteem (fig. 5).

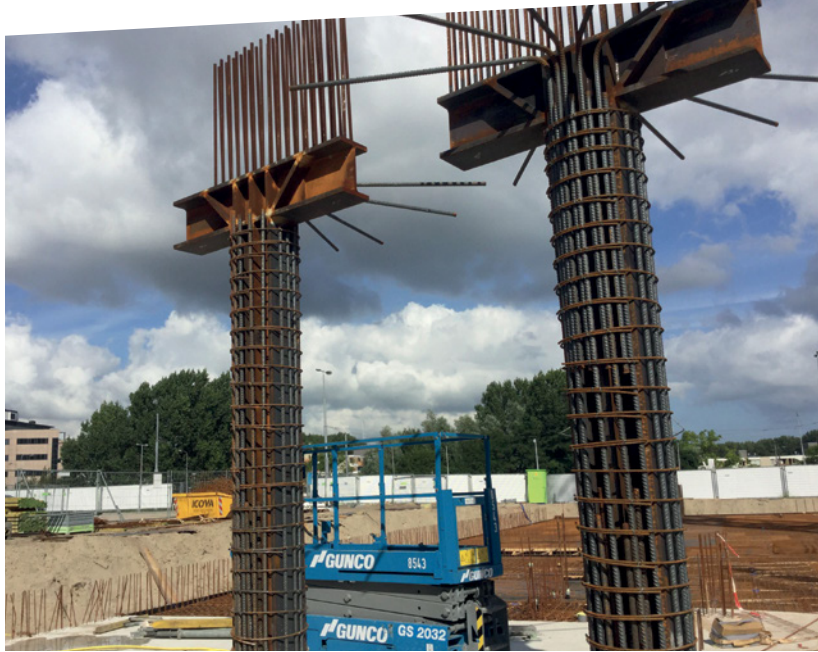
De stabiliteit in de dwarsrichting was maatgevend, zowel qua sterkte als qua stijfheid. Van deze wanden zijn zowel rekenmodellen van de BGT als de UGT gemaakt, omdat er in de UGT trek in de wanden op kan treden. Met een iteratieve berekening is het gebied bepaald waar de stijfheid in verband met scheurvorming is verlaagd. Hierbij is slim gebruikgemaakt van de balk die in de gevel aanwezig was bij de installatielaag tussen de woontoren en het hoteldeel. Door deze balk kan extra bovenbelasting worden geactiveerd door het fenomeen column shortening. De naastgelegen kolom wil korter worden door de bovenbelasting, terwijl deze wand juist langer wil worden omdat deze onder trek staat. Hierdoor kon het gebied waarin met verlaagde E-modulus moest worden gerekend, worden beperkt. In de gevel in langsrichting zijn dragende penanten aanwezig. Aan de kopse zijden was dit niet mogelijk. De constructie was immers zodanig ontworpen, dat deze uitvoerbaar was met tunnelgietbouw. De penanten aan die zijden zouden het uitrijden van de tunnel belemmeren. De aanwezige dwars(stabiliteits)wanden zijn later gestort toen de tunnel al een laag hoger was geplaatst.



De vloeren bij de kopse zijden dragen in twee richtingen en kragen zijdelings uit. Aan deze uitkraging is vervolgens ook een uitkragend balkon bevestigd. Hiermee is de totale uitkraging circa 4 m. Op de begane grond is er een grotere open structuur ten behoeve van de entree van het hotel. In principe lopende de dragende wanden wel door in deze laag. Om de openingen in deze wanden mogelijk te maken, zijn staal-betonkolommen ontworpen voorzien van stalen hamerstukken. Dit om de belasting aan de boven- en onderzijde in te leiden. Deze kolom is zodanig gedimensioneerd dat het stalen deel in de tunnelkist paste en de betonhulling gemaakt kon worden zodra de tunnelbekisting weg was (foto 6).

**Bijzondere funderingsoplossing**

De hoge funderingskrachten van de toren zouden bij een traditionele fundering leiden tot hoge poeren, balken en funderingsplaat onder de stabiliteitselementen. Dat zou vragen om een diepe bouwput, bestaande uit damwanden en onderwaterbeton. Dit zou een technisch lastige en dure opgave zijn, zo vlak naast het spoor- en metrotracé. De kosten zijn sterk gereduceerd door de kelderwanden te gebruiken als funderingsconstructie. De palen zijn rechtstreeks onder deze betonwanden geplaatst. Groot voordeel van deze oplossing is dat de bouwput met een open ontgraving en zonder bemaling kon worden uitgevoerd. Deze allesbehalve standaardoplossing betekende een intensief ontwerptraject voor de kelderindeling, samen met de architect en installatieadviseur.

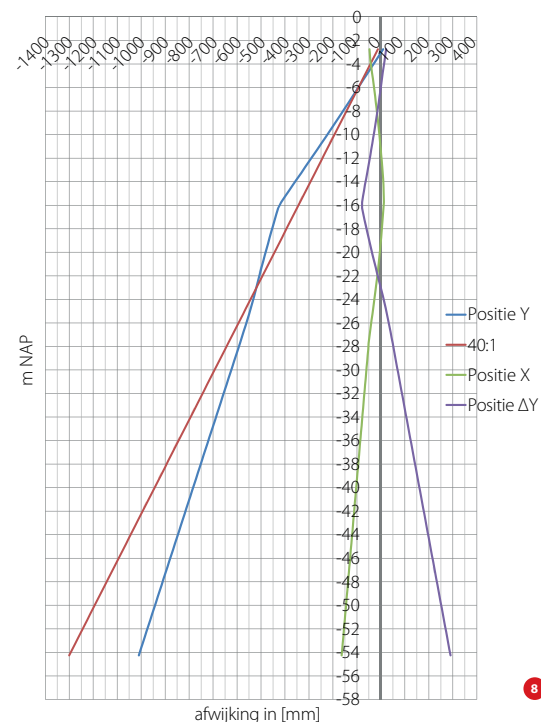


**Funderingspalen**  
 Uitdaging bij het ontwerp van het palenplan was dat de bodem in dit deel van de hoofdstad nog minder draagkrachtig is dan elders. De tweede zandlaag is nauwelijks aanwezig. Het draagvermogen van palen in deze laag is daardoor heel beperkt, waardoor veel palen nodig zouden zijn. Er is daarom onderzocht of het mogelijk was te funderen in de derde zandlaag die pas 46 m onder maaiveld begint.





7



8



9

- 7 Gekoppelde prefab palen
- 8 Ingemeten paalpositie met een knik zichtbaar ter plaatse van de koppeling
- 9 Balkons met voorspanstrengen
- 10 Strip om vervormingsverschillen tussen balkons te voorkomen

Er is een studie verricht naar de beste oplossing voor de palen. Vanwege de grote lengte vielen vibropalen en in de grond gevormde palen af. Ook tubexpalen (schroevend aangebrachte groutinjectionpaal met een permanente stalen casing) zijn overwogen. Deze palen hadden echter het probleem dat de paalpunten niet te dicht op elkaar konden staan vanwege de grondverdringing, wat zou leiden tot een complex palenplan met uiteenlopende schoorstanden. En als er een keer een paal zou mislukken, was er geen plek om een nieuwe aan te brengen. Hierbij kwam nog het reële gevaar van beschadiging door grondverdringing tijdens de uitvoering. Door het gevaar van veel groutspoil als een paal in een groutkolom terecht zou komen, zou de kwaliteit van de palen bovendien lastig zijn te monitoren.

Uiteindelijk is gekozen voor prefab-betonpalen. Die zijn echter niet in lengten groter dan 38 m te produceren. Daarom is gekozen voor een systeem met gekoppelde palen. De paalleverancier en de geotechnisch adviseur deden eerder al ervaring op met een koppelsysteem uit Finland. Daarbij worden twee prefab palen met ingestorte staalplaten gekoppeld en momentvast verbonden met stalen pinnen (foto 7). Zo zijn in het project Overhoeks eerder al met succes palen van circa 60 m lengte naar de derde zandlaag geslagen. Voor de Amstel Tower volstaan iets kortere palen van 51 m. Het onderste stuk is 37 m, het bovenste deel 14 m.

Met deze funderingsoplossing was het mogelijk onder de dragende wanden een enkele paalrij te plaatsen. De palen staan h.o.h. 850 mm. Om op paalpuntniveau voldoende afstand te hebben, staan de palen 40:1 schoor (om en om). Door deze optimalisatie zijn de constructieve bouwkosten voor de kelder sterk afgenomen.

#### Risicoanalyse

Bij het ontwerp van het palenplan is een risicoanalyse uitgevoerd om oplossingen te bedenken indien palen niet op diepte zouden komen of zouden breken. Dit heeft zich vertaald in diverse aandachtspunten voor het werkplan en monitoringsplan. In het ontwerp van de fundering is bovendien rekening gehouden met de mogelijkheid eventuele tegenvallers op te nemen. Voorbeelden zijn grotere paalafwijkingen die in de paal opneembaar zijn en herverdelingscapaciteit in de bovenliggende wanden.

Er is ook extra aandacht besteed aan bijzondere risico's tijdens de uitvoering. De palen zijn daarom over de bovenste 30 m voorgeboord tot voorbij de tweede zandlaag om daarmee de inbrengweerstand te verminderen. Door het voorboren ontdekt een paal echter ook minder steun aan deze grondlagen, waardoor een paalpunt zijn weg gaat zoeken en kan gaan afwijken van de ideale lijn. Risico hierbij is dat palen bij het inbrengen op elkaar kunnen stuiten en er breuk kan optreden.

In de palen is een meetbuis ingestort, een stalen vierkante kokertje van 70 mm, waar met een inclinometer de hellingshoek van de paal is gecontroleerd. Samen met de aannemer is een uitgebreid plan gemaakt, waarbij steeds de schoorstand is aangepast op basis van de meetresultaten van de naastgelegen palen. Met deze inclinometer kon ook worden gecontroleerd of de paal bij de koppeling intact was. Hoewel de koppeling rekenkundig een grotere capaciteit heeft dan de aansluitende delen, is in de praktijk toch gebleken dat hier een hoekverdraaiing optreedt (fig. 8).

10



#### Vervormingsverschillen

Er is overwogen de laagbouw te funderen op de eerste zandlaag vanwege de geringere belasting van het gebouw. Gevolg zou echter zijn dat er grote vervormingsverschillen tussen het busdek en het hotel zouden optreden door de aanwezigheid van de Eemkleilaag, waardoor er relatief veel palen nodig zouden zijn. Door toepassen van dezelfde palen als onder de hoogbouw, zijn deze vervormingsverschillen sterk gereduceerd en waren de bouwkosten zelfs gunstiger.

Bij de verdere uitwerking van het ontwerp is ook aandacht geschonken aan vervormingsverschillen die gedurende de bouw zouden kunnen ontstaan. Oorzaak is onder meer dat de kelderwand doorloopt onder zowel de laagbouw als de hoogbouw. De palen onder de laagbouw zouden dan een groot deel van hun belasting al hebben op het moment dat de palen onder de hoogbouw nog maar beperkte belasting dragen. Daarom is in de kelder op strategische plaatsen een deel van de kelderwand niet gestort, zodat enige beperkte vervormingsverschillen konden optreden. Dit deel is pas gestort nadat de toren op hoogte was. De kelderwanden zijn hierop gewapend met extra trekbanden.

#### Balkons en luifels

Zoals gezegd bevinden zich rondom alle vloerranden uitkragende balkons. Om het tunnelen mogelijk te maken en beschadigingen in de ruwbouw te voorkomen, is gekozen deze balkons achteraf aan te brengen. Hiervoor is het Normteq iTens-systeem toegepast (foto 9). Bij dit systeem wordt het balkon achteraf met voorgespannen strengen tegen het gebouw getrokken. In de ruwbouw wordt er in de vloer een inkassing gemaakt en een tube ingestort, waardoorheen de strengen worden aangebracht. Nadat





11

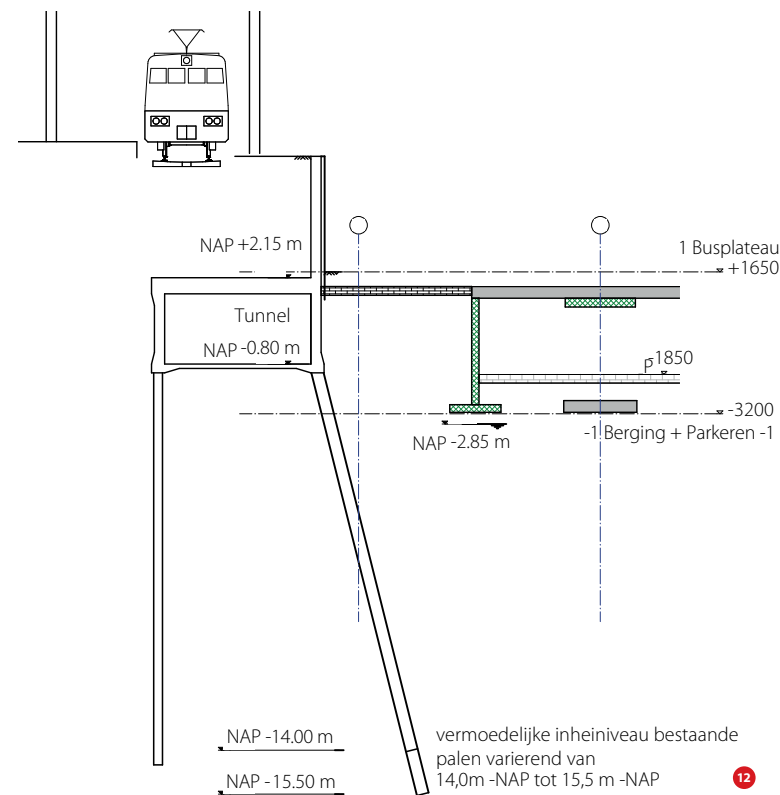
de ruwbouw gereed is, wordt het balkon horizontaal tegen de vloer geschoven, waarbij de voorspanstrengen door de tubes worden geregen. De balkonplaat wordt op hoogte gesteld, aange-goten en na uitharding met vijzels afgespannen.

De uitkragingen van de balkons nemen toe ter plaatse van de rondingen van het gebouw. Omdat de vloeren hier ook uitkra-gen, is tijdens het ontwerp en de uitvoering veel aandacht besteed aan de vervormingen. De vervormingsverschillen als gevolg van de verlopende uitkraging en uitkragende vloeren, zijn opgevangen door de balkons onderling te koppelen met een stalen strip (foto 10). Van tevoren zijn de vervormingen intensief doorgerekend en besproken met de aannemer. In overleg met alle betrokken partijen is er een werkplan inclusief toogplan opgesteld, die hebben geleid tot een kaarsrechte balkonrand langs de gehele omtrek van het gebouw.

De prefab-betonnen luifels bij het hoteldeel zijn op dezelfde manier gemonteerd. Aan de kopse zijde van het hotel neemt de uitkraging van de luifel naar boven toe. Deze luifel is bevestigd aan het achterliggende vloerveld dat op zijn beurt ook uitkraagt. In de vloer is daarom bij de zwaarstbelaste gebieden een stalen ligger in de vloer geïntegreerd om de vervorming van de vloer te beperken en problemen met de aansluiting van de gevel te voorkomen.

### Kroon

De luifels in de 'kroonconstructie' op het dak zijn met een inge-nieus systeem bevestigd (foto 11). Omdat de vloerrand is ontworpen op het gewicht van één balkon-/luifelplaat, kon deze niet het gewicht van de twee extra ringen dragen. Aan de kopse zijden van de toren is daarom een stalen vakwerkconstructie



12

ontworpen, die het gewicht van de extra ringen afdraagt naar de dragende betonwanden (foto 11).

De luifels zijn bevestigd aan een console die aan de staalcon-structie hangt. Hiertoe is het luifelement op maaiveld voor-zien van een stalen omegaprofiel.

In nauw overleg tussen aannemer, staalleverancier, prefab-betonleverancier en constructeur is een systeem bedacht waarbij de luifel vanuit de kraan over de uitkragende consoles kon worden geschoven. Vervolgens is het element aan de staal-constructie bevestigd met de uiteindelijke bevestiging.

### Parkeergarage en busdek

Naast de toren is een parkeerkelder voorzien met daarboven een busdek. Er zijn meerdere varianten onderzocht met een verschillend aantal parkeerlagen en parkeerplekken. Volgend uit deze studie bleek een grote, enkellaagse parkeergarage de meest economische variant. Daarbij is ook gekeken naar de ligging en afstand tot de spoorbaan van het Amstelstation. In overleg met de geotechnisch adviseur is een faseringsplan opgesteld voor het aanleggen van de kelder naast het spoor. Deze diende als basis voor de Spoorwegwetvergunning.

Het busdek is uitgevoerd met een ter plaatse gestorte beton-vloer op kolommen en is ontworpen op zware aslasten ten behoeve van bussen. Onder het busdek was geen betonnen keldervloer nodig, doordat het niveau zich boven het grondwa-



13

ter bevindt. In plaats daarvan worden de auto's op een bestra-tung geparkeerd. Er is overwogen het dek op palen te plaatsen op de eerste zand-laag. Dit had echter niet de voorkeur vanwege onder andere de bouwlogistiek. Bovendien is de geluidshinder naar de omge-ving door het heien veel groter dan bij een fundering op staal. Daarom is voor het laatste gekozen. Nadeel hiervan waren echter de vervormingen die kunnen optreden door een dunne samendrukbare kleilaag op circa 6 m diepte. De diverse aansluitdetails zijn zodanig ontworpen, dat deze zetting niet tot ongewenste krachten leidt. Uiteraard is de parkeerkelder losge-houden van de toren en het hotel.

### Grondkerende wanden

Rondom de parkeergarage bevinden zich grondkerende wanden. In overleg met de aannemer zijn hiervoor prefab keer-wanden gebruikt, die onderling met lasplaten zijn verbonden. Op deze manier kunnen lokale hoge belastingen, door bijvoor-beeld aslasten, gelijkmatig worden verdeeld over naastgelegen elementen en ontstaat er grote samenhang. Hierdoor worden ongelijke zettingen volgend uit de ondergrond opgevangen. Bijkomend voordeel van de zware belasting waarop het dek is berekend, is dat het in de uitvoering zonder verdere voorzie-ningen mogelijk bleek een 200-tons kraan op het dek te plaat-sen ten behoeve van het plaatsen van de keerwanden vanaf het dek. Ook was het dek geschikt voor betonmixers.

### Vervorming keerwand/tunnel spoor

Naast de parkeergarage is er op circa 8 m onder het perron van het Amstelstation een diensttunnel aanwezig. Bij de inrit van de parkeergarage bedraagt deze afstand circa 3 m. Doordat het

aanlegniveau van de parkeergarage dieper ligt dan het aanleg-niveau van de keerwand en tunnelbuis (fig. 12), bestond de kans dat tijdens de aanleg van de parkeergarage horizontale vervormingen van de stationstunnel zouden optreden en dat er niet-opneembare momenten in de funderingspalen van de belendende stationstunnel zouden optreden. In het kader van de Spoorwegwetvergunning is in nauw overleg met de geotech-nisch adviseur een plan ontwikkeld, dat intensief is besproken met ProRail. Dit plan hield onder meer in dat tijdens de meest kritieke fase van de ontgraving van de parkeergarage stempels zijn aangebracht tussen de tunnel en het al gemaakte deel van het busdek en nieuwbouw, die met vijzels onder spanning zijn gebracht (foto 13).

### Besparing

Het ontwerp met open bouwput en dus geen dure tijdelijke grond- en waterkering, geen dikke funderingsplaat, geen poeren, maar gangbare prefab funderingspalen, betekende een aanzienlijke besparing ten opzichte van traditionele hoogbouw-oplossingen. De oplevering van de Amstel Tower is in het tweede kwartaal van 2018. ☒

### PROJECTGEGEVENS

project Amstel Tower  
opdrachtgever Provast  
architect Powerhouse Company  
constructeur Imd Raadgevende Ingenieurs  
installatieadviseur Ingenieursburo Linssen

geotechnisch advies Geomet  
aannemer J. P. van Eesteren | TBI  
onderaannemer betonbouw RED Betonbouw  
staalconstructie Staalbouw Nauta  
prefab beton HCI Betonindustrie  
oplevering tweede kwartaal 2018

11 Kroon met prefab-betonnen luifels die aan staal-constructie hangt  
foto: Mariska Stieber

12 Doorsnede ter plaatse van parkeergarage en tunnel onder station Amsterdam Amstel (groene delen zijn prefab beton)

13 Stempels tussen station Amsterdam Amstel en Amstel Tower ter plaatse van inrit