



'SPANNEND' STEMPELRAAM

Geometrie

De geometrie van de bouwkuip, en daarmee ook van het stempelraam, mag zeker als complex omschreven worden. De herontwikkeling van 'De Tweeling' aan de Zuidas in Amsterdam bestond uit het verhogen van toren A met drie extra bouwlagen. Rondom toren B wordt een meerlaagse nieuwbouw gerealiseerd, bovenop een nieuw gebouwde drielaagse parkeergarage. Hiervoor was een ontgravingdiepte tot NAP-6,25m nodig. De buitenafmetingen van de bouwkuip waren grofweg 90 x 90m. Behalve de bestaande torens waren de volgende belendingen aanwezig rondom de kuip; het WTC (oostzijde), het Atrium (westzijde), de rijweg en trasporen over de Strawinskylaan (noordzijde). In figuur 1 is de bouwkuip weergegeven.

Royal HaskoningDHV heeft voor dit project de constructieve engineering van de herontwikkeling verzorgd. In samenwerking met Voorbij Funderingstechniek hebben zij onder andere de fundering en permanente damwandconstructie uitgewerkt: van haalbaarheidsstudie tot definitief ontwerp. Vanaf de start zijn de risico's van de werkzaamheden op de omgeving onderkend en meegenomen tijdens het doorlopen van de verschillende ontwerpfasen. Belangrijke aandachtspunten waren onder andere: de overall stabiliteit van de bouw-

kuip en de vervorming binnen het stempelraam in combinatie met de stabiliteit van toren A en B.

J.P. van Eesteren heeft het definitieve ontwerp en uitvoeringsontwerp van het stempelraam door Voorbij Funderingstechniek laten uitvoeren, zodat er een goede aansluiting met de uitvoering van de bouwkuip werd gerealiseerd. Als startpunt voor het definitieve ontwerp van het stempelraam zijn in het bouwkuipontwerp duidelijke uitgangspunten vastgelegd. Om tot een zo passend mogelijk ontwerp te komen zijn er 9 secties beschouwd. De berekende stempelkrachten varieerden tussen de 230 kN/m en 667 kN/m. Dit is een aanzienlijk verschil dat werd veroorzaakt door onder andere:

- Verschillen in maalvelddoogte: maalveld Strawinskylaan (noordzijde) ligt op NAP + 3,4m en de zuidzijde op NAP + 0,9m. De kerende hoogte was respectievelijk 9,65m en 7,15m.
- Actieve gronddruk werd beperkt door de parkeerkeerder van het Atrium (westzijde).
- Verschillende maalveldbelastingen per sectie.
- Variatie van de grondopbouw.

Vanwege de asymmetrische belasting tussen Noord en Zuid en de aanwezigheid van de trasporen door de Strawinskylaan, is ervoor gekozen om langs deze zijde naast het stempelraam een tweelaagse verankerung aan te brengen. Voor de

overige zijdes was het plaatsen van ankers geen optie vanwege dichte palenvelden en de bestaande kelders onder de belendingen. Zie in figuur 2 de algemene doorsnede van de bouwkuip en de doorsnede ter plaatse van de Strawinskylaan.

Analyse stempelkracht

Ondanks dat de grote verschillen in stempelkrachten goed verklaarbaar zijn, was dit een aandachtspunt in het ontwerp. Er moest immers evenwicht zijn. Daarom is door RHDHV in het bouwkuipontwerp een vergelijk gemaakt voor diverse snedes om de verschillen in stempelkracht inzichtelijk te maken. Daarnaast is over de hele breedte van de kuip een Plaxis 2D berekening gemaakt. Hiermee is de interactie over de lengte en breedte van de kuip, inclusief de bestaande toren en de belendingen aan weerszijde, beschouwd. Met deze analyse is het effect van windbelasting op de bestaande toren ook doorgerekend, wat resulteerde in een toeslag op de stempelkrachten. In het Plaxis model is de bestaande betonconstructie met zijn funderingspalen gemodelleerd, waarbij de windbelasting wordt overgedragen op het grondmassief tussen de palen. Afhankelijk van de (wind)richting ontstaan er hogere gronddrukken op het damwand, waardoor de stempelkracht toeneemt. Uit de analyse bleek dat deze toename 11 tot 36%

Voorbij Funderingstechniek heeft in opdracht van TBI onderneming J.P. van Eesteren gewerkt aan de stempelraamconstructie ten behoeve van de herontwikkeling van de kantoorstorens 'de Tweeling' (nu 2Amsterdam), aan de Zuidas in Amsterdam. Provast is namens Commerz Real de projectontwikkelaar. Onderdeel van dit project was de realisatie van een drielaagse parkeergarage tussen (en rondom) de twee bestaande torens. De volgende partijen zijn tevens betrokken geweest bij dit onderdeel van het project: Royal HaskoningDHV, B.V. Ingenieursbureau MUC en Civiele technieken deBoer BV. De parkeergarage is gerealiseerd binnen een bouwkuip. Ter stabilisatie van de bouwkuip is gekozen voor een stempelraam met aan één zijde groutankers. De bouwkuip en stempelraamconstructie (zie figuur 1) kenmerkte zich

voornamelijk door de volgende punten:

- Complexe geometrie.
- Toren B bevond zich in de bouwkuip, terwijl toren A direct naast de bouwkuip stond.
- Belendingen: WTC, het Atrium, trasporen over de Strawinskylaan.
- Geen symmetrie rondom de bouwkuip met betrekking tot gronddrukken.
- Strikte vervormingseisen, met als gevolg het voorspannen van het gehele stempelraam.
- Stempelkrachten zijn gefaseerd afgelaten.
- Weinig werkruimte.

bedrog. Wanneer er al gerekend werd met een initiële stempelkracht, dan bleef toename beperkt tot 8 à 23%. Niet alleen rondom de bouwkuip waren er vervormingsgevoelige objecten aanwezig, in de kuip stond immers ook toren B, waarvan de funderingspalen maar een beperkte vervorming mochten ondergaan. Om de vervormingen van de damwand zo veel mogelijk te beperken, is in het bouwkuipontwerp een voorspanbelasting meegenomen. Deze is ontworpen op 50 kN/m en lokaal op 100 kN/m. Hiermee is de eerste vervorming uit het stempelraam zelf gehaald en werd ook de grond achter de damwand opgespannen.

Voor het aanbrengen van de voorspanning waren vijzelvoorzieningen noodzakelijk. Deze voorzieningen waren zo getroffen dat er op ieder moment vijzels ingezet konden worden.

Indien uit de monitoring van de bouwkuip bleek dat de berekende vervorming van de damwanden rondom de bestaande torens te veel afweek, kon er extra worden gevijzeld. Voor het (extra) vijzelen was ook extra capaciteit nodig in het stempelraam. Met andere woorden: er moest met een hogere fictieve stempelkracht gerekend worden. De toeslag op de stempelkrachten als gevolg van de extra vijzelkracht was afhankelijk van de initiële stempelkracht en bedroeg 15 tot 47%. Samen met de verhoogde stempelkracht uit de windanalyse werd er voor sommige secties een toeslag van 81% gehanteerd. De rekenbelasting voor het stempelraam werd zo 825 kN/m voor de zwaarst belaste doorsnede. De minst belaste doorsnede was bijna de helft lager, namelijk 416 kN/m. In het ontwerp van het stempelraam moest rekening gehouden worden met deze grote verschillen in belasting en stijfheid. Ten behoeve van het stempelraammodel werden de horizontale veerwaarden van de damwand (op stempelniveau) opgegeven. Deze varieerde tussen 30.000 kN/m/m en 40.000 kN/m/m.

Ontwerp stempelraam

Voor het uitvoeringsontwerp van het stempelraam is Voorbij Funderingstechniek de samenwerking



Figuur 3 - Berekende vervorming stempelraam.

aangegaan met B.V. Ingenieursbureau MUC. Het ontwerp van het stempelraam bestond uit een gording rondom (buitenring rond de bouwput, alsmede binnenring rondom toren B) met stempels en schoren. Er is gekozen voor een stempelniveau op NAP -1,3m, met uitzondering van de zijde direct naast het Atrium. Hier is afgeweken naar een stempelniveau op NAP -1,8m.

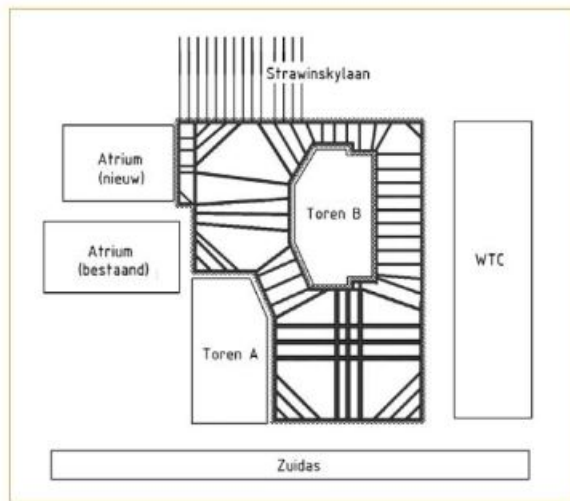
Voor de gordingprofielen is er gekozen voor een dubbel H-profiel. Deze profielen variëren tussen 2xHEB1000 en 2x HEB700. In de hoek ter plaatse van het Atrium was zelfs een 4-laags HEM1000 benodigd. Op deze positie vervulde de gording een stempelfunctie waar bovendien ook nog eens diverse schoorbuizen op aansloten.

Voor de stempels was een grote variatie nodig en daarbij behorende buisdiameters. Deze verliepen van buizen van Ø711mm met wanddikte 9,5mm tot diameters van Ø1520mm met wanddiktes tot 18mm. Met overspanningen tot bijna 40m, wogen de zwaarste stempelbuizen circa 30 ton. Met deze lengtes en gewichten in combinatie met een bouwplaats met zeer beperkte ruimte, is er in de ont-

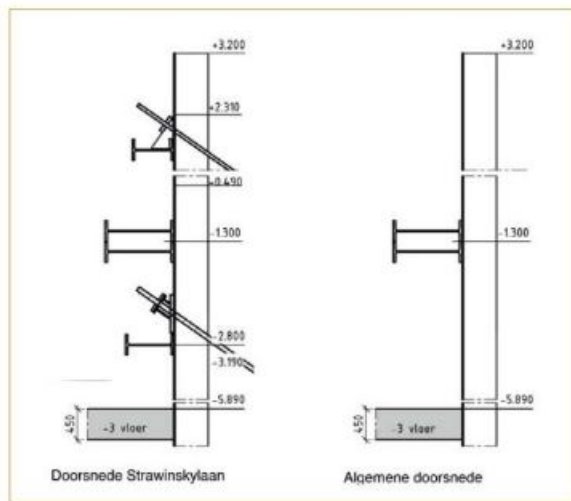
werpfase voor gekozen deze stempels uit twee delen te fabriceren.

Interactie tussen damwand en stempelraam

Ten gevolge van de asymmetrie van de bouwkuip werden er aan de zijde van de Strawinskylaan naast het stempelraam op NAP -1,3m op twee niveaus ankers toegepast, respectievelijk op NAP+1,8m en NAP-2,8m. Ondanks dat deze damwandselectie nu maar liefst drie steunpunten had, was hier wel de nodige inspanning nodig. Dit was om de berekende vervorming uit het bouwkuipontwerp overeen te laten komen met de vervorming van het stempelraam met ankers. De aanvankelijk gewenste geometrie met haakse stempels naar de overzijde bleek geen uitvoerbaar ontwerp. Vanuit het bouwkuipontwerp bedroeg de berekende vervorming ter hoogte van het stempelraam ongeveer 25mm. In de berekening van het stempelraam werd lokaal aan de zijde van de Strawinskylaan een vervorming berekend van 45mm, wat nogal afweek (zie afbeelding 3). De stijfheid van de stempels bleek lager te zijn dan aangehouden in het damwandontwerp.



Figuur 1 - Overzicht bouwkuip.



Figuur 2 - Doorsnedes bouwkuip.