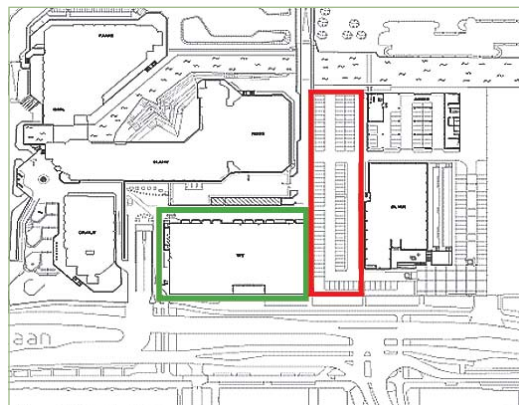


Nieuwbouw bestuurs- centrum Rabobank Utrecht krijgt uitgebalanceerde fundering

(Eerste paal-plaat
fundering in Nederland)



In Utrecht wordt aan de Croeselaan op dit moment gebouwd aan de nieuwbouw van het bestuurscentrum van de Rabobank. Het plan omvat onder andere een kantoorstoren van 105 meter hoogte, een ontmoetingsplein (Plaza), dat het nieuwe gebouw met het bestaande gebouw verbindt, en een diepe ondergrondse parkeergarage voor ca. 700 auto's (zie figuur 1). In totaal wordt ca 56.000 m² aan nieuwbouw gerealiseerd.



Figuur 2 Situatietekening. Groen kader: locatie kantoorstoren, rood kader: locatie parkeergarage.

Het ontwerp is gemaakt door architectenbureau KraaijvangerUrbis. Het constructief ontwerp en het geotechnisch ontwerp wordt door ABT verzorgd. Het project wordt gebouwd door de Bouwcombinatie Heijmans J.P. van Eesteren. Het complex zal medio 2010 worden opgeleverd.

Gedurende de ontwikkeling van het plan is veel aandacht besteed aan het ontwerp van de fundering van de hoogbouw en aan de naastgelegen diepe parkeergarage. In de eerste ontwerpschetsen was er sprake van een twee-laagse ondergrondse garage onder het gehele oppervlak. Gedurende het Voorlopig Ontwerp zijn echter een aantal varianten nader onderzocht. Hierbij is gekozen voor de oplossing, waarbij een diepere rechthoekige parkeergarage tussen de nieuw te bouwen toren en de bestaande gebouwen wordt gemaakt (zie figuur 2). Dit levert een veel efficiëntere parkeergarage op. Bovendien kon hiermee een aanzienlijke besparing in bouwtijd worden bereikt doordat nu de bouw van de ondergrondse garage parallel aan de bouw van de hoogbouw kon plaatsvinden. Als gevolg hiervan kwam ook de mogelijkheid in beeld om de toren op staal te funderen zonder een diepe bouwput te maken met onderwater-

Samenvatting

In Utrecht wordt op dit moment gebouwd aan de nieuwbouw van het bestuurscentrum van de Rabobank. Het plan omvat onder andere een kantoorstoren van 105 meter hoogte en een diepe ondergrondse parkeergarage. De hoogbouw zou op staal gefundeerd kunnen worden, maar de bijbehorende zettingen waren echter niet acceptabel, en een fundering op palen was sterktechnisch niet nodig. Zodoende is gekozen voor een oplossing die de voordelen van beide systemen combineert: een paal-plaatfundering. De diepe parkeergarage zit volledig ingeklemd tussen bestaande bebouwing. De mate waarin die bestaande bebouwing beïnvloed wordt, is met name afhankelijk van de gekozen grondkering; een diepwand.

Figuur 1 Artist impression bestuurscentrum Rabobank.

beton. De zettingen van een fundering op staal waren echter niet acceptabel, en een fundering op palen was sterktechnisch niet nodig. Zodoende is gekozen voor een oplossing die de voordelen van beide systemen combineert: een paal-plaat fundering.

In dit artikel wordt een nadere toelichting gegeven op de paal-plaatfundering en op de geotechnische aspecten van ontwerp en uitvoering van een vierlaagse ondergrondse garage strak tussen bestaande gebouwen in.

Paal-plaatfundering

Een paal-plaatfundering bestaat uit 3 onderdelen; de plaat, de grond onder de plaat die de bedding vormt en de palen. De toren van het bestuurscentrum, bestaat feitelijk uit twee losse torens, met doorlopende verdiepingsvloeren tussen beide gebouwen en één gezamenlijke gevel. Elke toren van het bestuurscentrum heeft een eigen los staande fundering gekregen. Er zijn dus twee platen ontworpen, allebei 2,5 m dik. Ten behoeve van de ontsluiting van de twin-liften die in het bestuurscentrum gebruikt gaan worden, is ter plaatse van de liftschachten, een gedeelte van de plaat verdiept uitgevoerd. Voor de verdiepte gedeelten van de plaat zijn aparte bouwkuipen gemaakt met verloren damwanden rondom en onderwaterbeton als onderafsluiting. De grond komt overeen met het Utrechts profiel; onder de toplaag een laag klei van circa 2,0 m

dik, met daaronder vastgepakt tot zeer vastgepakt zand, waarbij de conusweerstand kan oplopen tot 30 MPa. Op grotere diepte wordt het zand doorsneden door dunne laagjes klei. De grondwaterstand bevindt zich gemiddeld op NAP + 0,5 m. Voor de palen is gekozen voor het type Tubex-groutinjectie. Met behulp van een oplanger zijn de buizen verdiept weggezet, zodat na ontgraven de paalkop meteen op de juiste diepte staat. Door het achterblijven van de stalen buis ontstaat een zeer robuust systeem, wat met name belangrijk is voor de rechter toren, daar die naast de diepe parkeergarage gelegen is.

Er is voor gekozen om onder het bestuurscentrum maar de helft van het aantal palen toe te passen ten opzichte van het aantal van een traditionele paalfundering. Dat wil niet zeggen dat de belastingafdracht via de palen enerzijds en de fundering op staal anderzijds 50/50 is. Die verdeling hangt namelijk af van de onderlinge stijfheidsverhoudingen. Echter, de stijfheid van bijvoorbeeld een paal is niet bekend. Het last-zakkingsgedrag van een paal is in NEN 6743 gekoppeld aan het draagvermogen van de paal. Van het draagvermogen van een paal is de ondergrens eenvoudig te bepalen, zijnde de rekenwaarde van het paal draagvermogen. Er is echter ook een gemiddeld draagvermogen, en daarmee ook een gemiddelde stijfheid. Sommige palen hebben een nog hoger draagvermogen (bovengrens) en gedragen zich daarmee nog stijver (figuur 3). Voor de stijfheid van de bedding geldt hetzelfde; de ondergrond kan slap reageren volgens de ondergrens, maar ook stijf volgens de bovengrens. Strikt genomen is de stijfheid van de plaat zelf ook niet exact bekend. Maar omdat de spreiding op de stijfheid van de plaat aanzienlijk kleiner is ten opzichte van de spreiding in de ondergrond, is in het ontwerp van de 2 paalplaatfunderingen met maar één stijfheid voor de plaat gerekend.

Door verschillende combinaties van paalstijfheid en stijfheid van de bedding te analyseren, worden die mogelijke omstandigheden ondervangen die voor een bepaald aspect maatgevend kunnen zijn. Zo is voor de grootst mogelijke gronddruk de combinatie van een bedding die stijf zal reageren, met palen die juist slap zijn overeenkomstig de ondergrens, maatgevend. Met rekenwaarde voor de belasting is onder de kern een gronddruk berekend van 270 kPa. De toelaatbare gronddruk is, mede gezien de aanlegdiepte en de afmetingen van de plaat, ruim 1600 kPa. De maximale paalreacties treden op in de combinatie van een slappe bedding en een stijf last-

zakkingsgedrag van de palen. Onder de kern staat de paal met de grootste paalreactie: 5195 kN (bij rekenwaarde van de belasting). Hoewel deze maximale paalreactie aanzienlijk groter is dan de rekenwaarde van het paal draagvermogen ($F_{r,d} = 3170$ kN) voldoet de fundering toch aan alle eisen. De grootste paalreactie is namelijk bepaald voor het geval de paal een draagvermogen heeft overeenkomstig de bovengrens. Mocht de paal slapper zijn, bijvoorbeeld overeenkomstig de ondergrens, dan zal de bijbehorende paalreactie ook kleiner zijn en dient de omringende bedding meer bij te dragen aan het geheel. De consequentie is wel dat de paalwapening volgens de bovengrens van het paal draagvermogen bepaald dient te worden en niet zoals gebruikelijk volgens de ondergrens.

Hoewel de maximale zakking op zal treden in het geval dat zowel de bedding als de palen volgens de ondergrens reageren, is het interessanter om te zien hoe een toren daadwerkelijk zal gaan zakken. Met gemiddelde stijfheid voor zowel de bedding als voor de palen, dient de kern onder de representatieve belasting 20 mm te zakken om de fundering te mobiliseren (zie figuur 4). De zettingen vanuit de diepere grondlagen dienen hier nog bij opgeteld te worden. De totale zakking is voor beide torens op 7 cm bepaald.

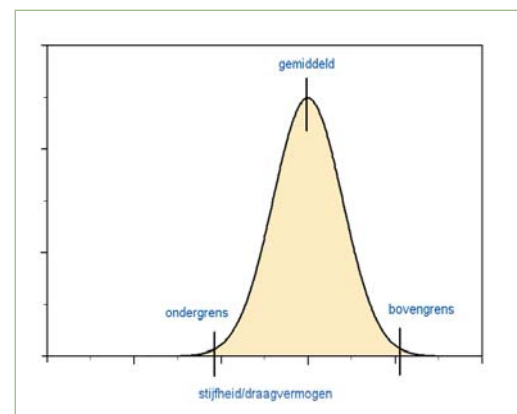
Uit de gemaakt analyses volgt dat de palen nog altijd het merendeel van de belasting zullen dragen, zie figuur 5. Afhankelijk van de stijfheidsverhoudingen dragen de palen 62% tot 98 % van de belasting. Hoewel onder de torens van de Rabobank nog maar de helft van het aantal palen is toegepast, is slechts een eerste voorzichtige stap gezet naar een heuse paal-plaatfundering in Nederland. Er is nog genoeg ruimte over om voor een volgend ontwerp nog scherper te gaan zitten, zodat naar een paalaandeel van 40% tot 60 % kan worden gegaan.

Wisselwerking toren/diepe parkeergarage.

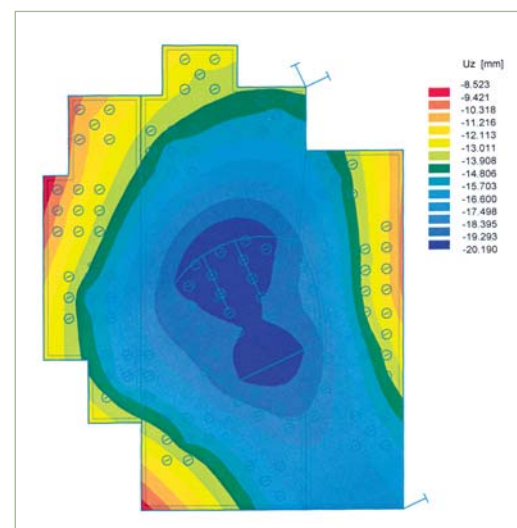
Kijkend naar de samengestelde doorsnede van figuur 6, dan is meteen duidelijk dat het ontwerp van met name de rechter toren en het ontwerp van de diepe parkeergarage niet los van elkaar gezien kunnen worden. Er is een bepaalde wisselwerking tussen die twee wat van invloed is op zowel het ontwerp als op de uitvoering. Als eerste is daar de extra bovenbelasting vanuit de plaatdrukken op de wand van de garage. Deze extra drukken hebben een grotere normaal kracht in de vloeren van de garage tot gevolg. Ook de middenwand dient, gezien het splitlevel-ontwerp van de garage, extra zwaar gedimensio-

neerd te worden. Een rechtstreeks gevolg hiervan is, dat daar de noodzaak is dat tijdens de vorderingen van de toren de vloeren van de garage gelijktijdig mee ingebouwd worden. Met name de aanwezigheid van de onderwaterbeton vloer is een absolute noodzaak om grotere belastingen vanuit de toren toe te laten.

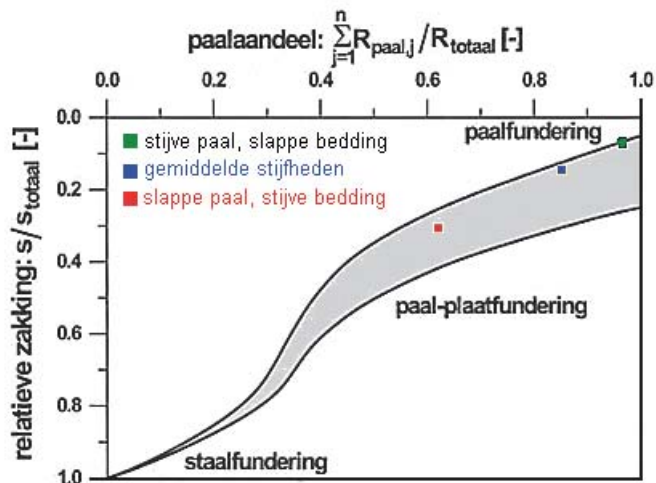
Maar ook de aanleg van de parkeergarage heeft invloed op het ontwerp van de kantoorstoren. Zo heeft het ontgraven en storten van de diepwand panelen de vastheid van de zandlagen beïnvloed. Figuur 7 laat zowel een sondering voor het ontgraven van de diepwand panelen zien (maar na het bouwrijp maken van het terrein), als een sondering na het gereed komen van de diepwand. De controle sondering is op 2,5 m uit de diepwand gemaakt. Uit de vergelijking tussen beide sonderingen blijkt dat met name tussen NAP -2,0 m en NAP -7,0 m de conusweerstand is afgenomen. Deze afname is vertaald in een slappere bedding onder een gedeelte van de plaat van de rechter toren. Overigens is de diepwand tot NAP -19,0 m gemaakt.



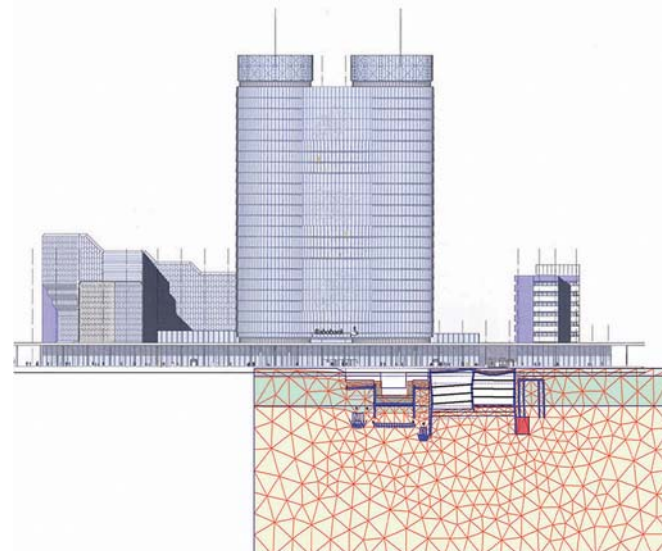
Figuur 3 Spreiding paalstijfheid.



Figuur 4 Berekende zettingen om fundering te mobiliseren.



Figuur 5 Aandeel palen in afdracht belasting.

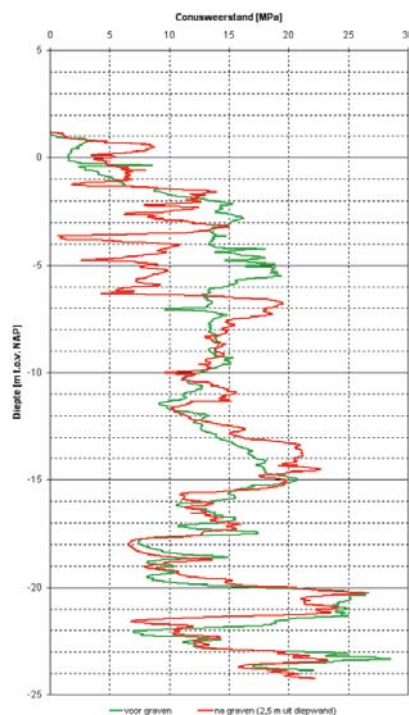


Figuur 6 Samengestelde doorsneden over toren en garage.

Tijdens het ontgraven van de bouwput van de parkeergarage, zal de diepwand gaan uitbuigen. Deze uitbuiging heeft als gevolg dat er zettingen zullen optreden, maar ook dat de korrelspanningen direct achter de diepwand zullen afnemen. De zettingen dienen opnieuw in een slappere bedding vertaald te worden. De lagere korrelspanningen leiden tot een lager paal draagvermogen en dus ook tot een lagere paalstijfheid. Dit is gecompenseerd door de palen direct achter de diepwand dieper door te zetten tot NAP -20,0 m (daar waar de overige palen hun paalpuntniveau op NAP -15,0 m hebben).

Diepe parkeergarage

De diepe parkeergarage is niet alleen direct naast het toekomstige bestuurscentrum geprojecteerd, het ligt ingeklemd tussen bestaande kantoorpanden van de Rabobank. Aan de ene zijde het bestaande hoofdkantoor van Rabobank Nederland en aan de andere zijde nog eens twee gebouwen die tijdens de uitvoering volledig in bedrijf moeten blijven (figuur 2). De belangrijkste vraag bij het ontwerpen van de bouwput was dan ook: 'Hoe worden de bestaande belendingen beïnvloed en is deze beïnvloeding nog wel acceptabel?' De belendende panden worden vooral beïnvloed door het ontgraven en storten van de diepwandpanelen en door het ontgraven van de bouwkuip zelf. Gezien de benodigde binnenruimte in de parkeergarage en de dikte van de diepwanden resulteerde nog slecht 75 cm tussenruimte tussen de buitenzijde van de diepwand en de eerste rij funderingspalen onder het



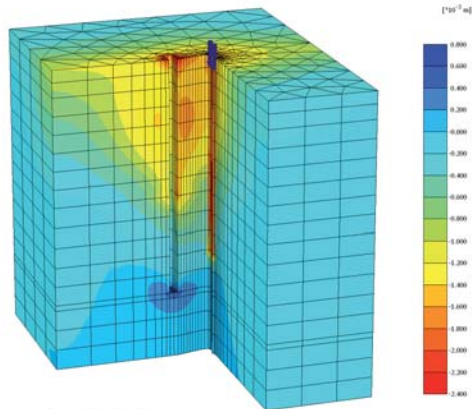
Figuur 7 Sonderingen voor (groen) en na (rood) installeren diepwand.



Figuur 8 Installeren diepwand vlak voor bestaand kantoorpand. Foto: Marco Kimenai

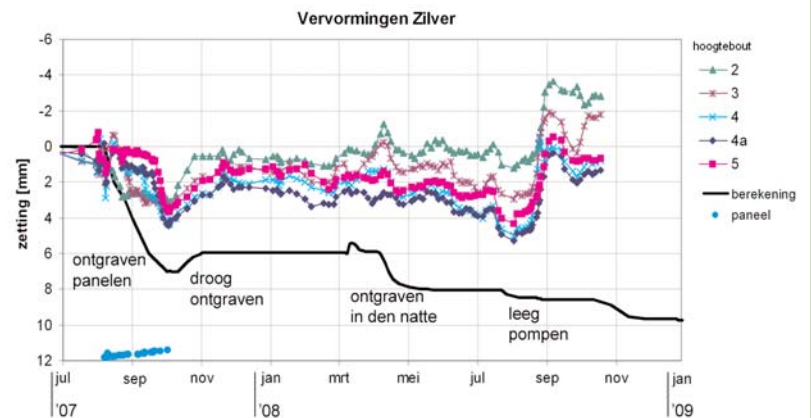
meeste nabij gelegen kantoorpand. Figuur 8 laat zien hoe dat er in de praktijk eruit ziet. De gevolgen van het ontgraven van de diepwand panelen op de funderingspalen van de naast gelegen kantoorpanden zijn berekend met Plaxis 3D foundation. Voor elk belendend pand is een 3D model gemaakt, waarmee naast de uiteindelijke zetting van nabij gelegen funderingspalen, ook de noodzaak/ effectiviteit van een grondinjection onder

de paalpunten is bepaald. Voor het meest nabij gelegen gebouw bleek een grondinjection absoluut noodzakelijk om te voorkomen dat de fundering onderuit zou gaan op het moment van ontgraven van een paneel. Daar de andere belendingen verderaf gelegen zijn (3,2 m of meer) bleek het effect van een eventuele puntinjection minimaal te zijn (zie ook figuur 9) en puntinjectionen zijn daarom ook niet toegepast.



Figuur 9 3D-model voor het berekenen van gevolgen aanleg diepwandpaneel.

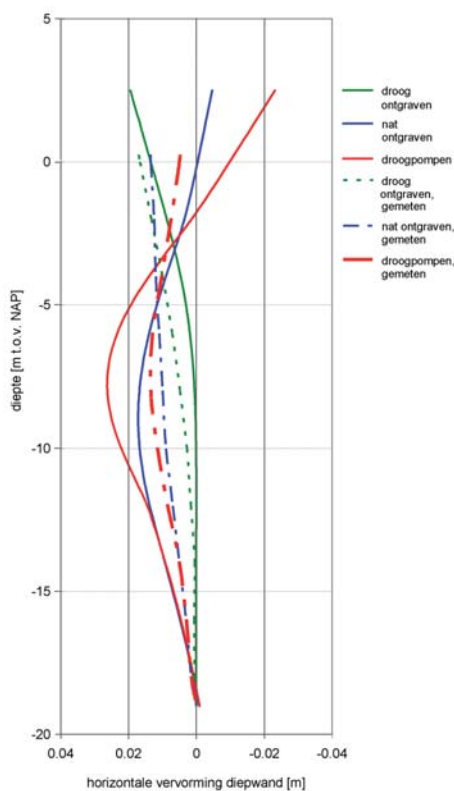
Figuur 10 Berekende en gemeten zettingen bestaand kantoorpand.



Bij het ontgraven van de bouwkuip spelen twee tegen gestelde mechanismen een rol: door het wegvallen van horizontale steundruk zal de diepwand uitbuigen met zettingen in het massief erachter als gevolg. Bij het leegpompen van de bouwput zal door de opwaartse waterdruk tegen de onderwaterbeton vloer de gehele bouwput omhoog willen komen en een deel van het grondmassief eromheen mee willen nemen. De ontspanning van de ondergrond als gevolg van de ontlasting zal dit effect nog eens versterken. Beide mechanismen zijn in één model met behulp van Plaxis 2D doorgerekend.

Worden de resultaten van zowel de betreffende 3D-berekening en de 2D-berekening samengevoegd, dan kan per belendend gebouw een zettingsgrafiek samengesteld worden. *Figuur 10* geeft de zettingsgrafiek weer voor het meest nabij gelegen gebouw. De getrokken lijn is het resultaat van de berekeningen. De overige lijnen betreffen de uitgemiddelde meetresultaten van 5 verschillende hoogteboutjes in het betreffende kantoor.

Tijdens het maken van de diepwandpanelen is het gebouw inderdaad gaan zakken, zij het iets minder dan berekend. Na een herstel tijdens het in den droge ontgraven tot aan het verdiepte stempelraam is het gebouw min of meer stabiel gebleven, ook tijdens het ontgraven in den natte. Tijdens het leegpompen van de bouwput is het belendend pand omhoog gekomen terwijl juist een verdere zetting berekend was. Om dit te verklaren wordt gekeken naar het gedrag van de diepwand zelf. *Figuur 11* geeft zowel de berekende (getrokken lijnen) als de gemeten (stippellijnen) vervorming van de diepwand



Figuur 11 Berekende en gemeten doorbuiging diepwand.

weer voor drie verschillende bouwfasen:

1. Droog ontgraven tot het verdiepte stempelraam;
2. Ontgraven in den natte tot onderkant onderwaterbeton en
3. Droogpompen van de bouwput. Uit de vergelijking volgt dat de diepwand in werkelijkheid veel stijver gereageerd heeft, waardoor de uitbuiging kleiner is gebleven. Het met de bouwput mee omhoog komen heeft daardoor de overhand gekregen.



Figuur 12 Kantoortoren en parkeergarage in aanbouw, september 2008. Foto: Hans Rogge

Figuur 12 geeft de stand van het werk weer van medio september 2008. De kern van de rechter toren is gevorderd tot de 5e verdieping (van de 22), terwijl de 3e verdiepingvloer wordt gelegd. De bouwput is inmiddels drooggepompt en men is begonnen met de voorbereidende werkzaamheden voor de constructieve kelder-vloer. ■