

Ing. E. de Jong  
Bedrijfsleider VWS Geotechniek



**Figuur 1** Aanbrengen palen vanaf traverse.

## Innovaties: Rüttel-injectiepalen, een nieuw paalsysteem voor Nederland

De fundatie van het nieuwe station RAI – Europaplein in de Amsterdamse Noord-Zuidlijn plaatste de ontwerpers van het Adviesbureau Noord-Zuidlijn voor een bijzondere uitdaging. Naast een paalsysteem met een hoge druk- en trekcapaciteit was het tevens noodzakelijk een paalsysteem te kiezen dat met weinig hinder voor de omgeving kon worden geïnstalleerd. Geluid- en trillingshinder diende te worden beperkt vanwege de woonbebouwing langs het Europaplein en vanwege de nabijheid van het RAI congressentrum. De lokale bodemopbouw kenmerkt zich door een zeer hoge conusweerstand in de pleistocene zandlaag, de laag waarin de palen dienden te worden ingebracht.

Na afweging van de bekende en minder bekende paalsystemen kwam men uiteindelijk uit bij zogenaamde rüttel-injectiepalen (RI-palen). Dit paalttype kan worden omschreven als getrilde MV-palen, oftewel door middel van trillen ingebrachte stalen H-profielen met grout-omhulling. In de jaren '70 werden deze palen

voor het eerst toegepast in de Rijnvallei in Duitsland toen bleek dat in de daar voorkomende grove grindlagen het heien van de stalen binten onmogelijk was. In de jaren '90 werd het paalttype veelvuldig gebruikt bij de vele grote bouwputten die nodig waren voor de realisatie van het nieuwe centrum van Berlijn.

Aangezien er in Nederland geen ervaring met het paalttype bestond werd in het bestek voorgeschreven dat het paalttype vooraf op het werk moest worden beproefd. Deze proef diende inzicht te verschaffen in zowel de draagkracht van de palen op druk en trek, als de mogelijkheden om de palen in de Amsterdamse bodem aan te kunnen brengen.

Op basis van de projecten zoals deze met name in Duitsland waren uitgevoerd werd verwacht dat het mogelijk zou zijn de RI-palen tot circa 10 m diep in de zeer vast gepakte pleistocene zandlaag, zie *figuur 2*, te kunnen inbrengen. De 6 proefpalen bestonden uit 34 m lange He

240B-profielen, die vanaf maaiveld werden ingebracht met een hoog frequent trilblok. De penetratiesnelheid werd daarbij geregistreerd. Uit de proef bleek dat het inbrengen van RI-palen onder de gegeven omstandigheden mogelijk was tot een diepte van circa NAP -29 m, circa 7,5 m in de vast gepakte pleistocene zandlaag. Het toepassen van een zwaarder trilblok bleek niet efficiënt vanwege de geringe massa van het profiel. De 6 palen zijn vervolgens onderworpen aan bezwijkproeven, waarna de resultaten zijn verwerkt in het definitief ontwerp. Naast de paaleigenschappen betreffende draagkracht is daarbij ook rekening gehouden met de mogelijkheden vanuit de uitvoering.

Bij het uitvoeren van de bezwijkproeven voorafgaand aan het werk zijn uitsluitend vrijstaande enkele palen getest. Teneinde informatie te krijgen omtrent het gedrag van de RI-palen in een paalgroep zijn in opdracht van de uitvoerend aannemer Volker Staal en Funderingen 6 van de 1100 aan te brengen funderingspalen vooraf

geïnstreerd. Op 9 niveaus langs de paalschacht werden door Fugro Ingenieursbureau rekstrookjes aangebracht, die vanaf het moment van de start van het leegpompen van de bouwkuip in de zomer van 2007 tot eind augustus 2008 continu zijn gemeten. Sindsdien is tweemaal een handmatige uitlezing verricht, de laatste eind 2009. Begin 2010 is de ruwbouw van het station opgeleverd.

De resultaten van de metingen van paal nr. 52 zijn gepresenteerd in *figuur 3*. Deze paal staat aan de rand van de bouwkuip onder de tunnelwand. Van deze paal zijn de resultaten gepresenteerd van medio 2007 tot eind 2009 en het is dan ook zichtbaar hoe de belasting op deze paal van een maximale trekkracht na het leegpompen van de bouwkuip naar een drukbelasting gaat in de eindsituatie.

In aanvulling op de gepresenteerde metingen zijn sonderingen uitgevoerd na het ontgraven van de bouwkuip en na paalinstallatie en zijn metingen verricht aan de rijzing van de onderwaterbetonvloer en de damwanden. De opbolling van de onderwater betonvloer is beperkt gebleven tot 5 mm.

De RI-palen zijn voor de fundatie van het station RAI – Europaplein te Amsterdam met succes toegepast, waarbij in het ontwerp gebruik is gemaakt van de resultaten van de vooraf uitgevoerde paalproeven. Het aanbrengen van de palen is gepaard gegaan met beperkte trillings- en geluidshinder, waardoor dit type paal een

uitstekend alternatief was voor bijvoorbeeld vibrocombinatiepalen.

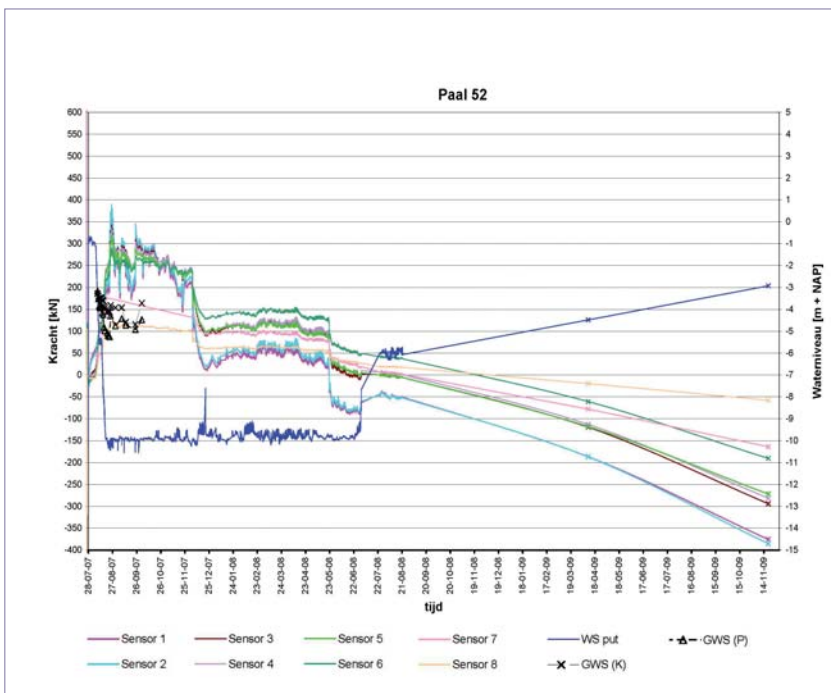
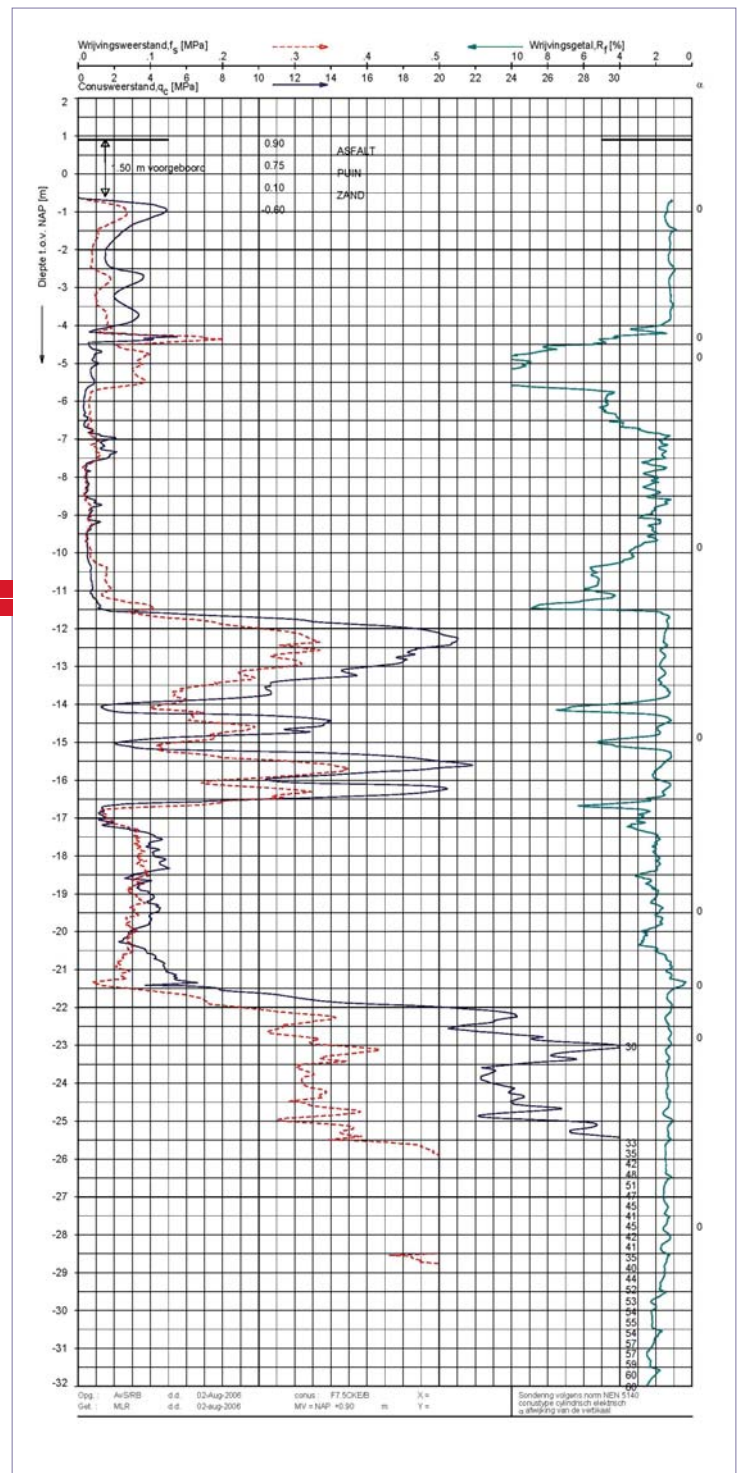
Het uitvoeren van de monitoring tijdens de bouw heeft het inzicht in het gedrag van dit paaltje en het gedrag van paalgroepen in het algemeen, verder vergroot.

#### Literatuur:

- Zanten, R. van en Jong, E. de, *Rüttel-injectiepalen bewijzen zich in Nederlandse bodem*, *Civiele Techniek* nr. 7, september 2010.
- Kempen, I. van en Jong, E. de, *Vibrated*

- VM-piles, design, testing and monitoring*. Proceedings 11th DFI Conference London, 2010.
- Borchert, K.-M., Mönlich, K.-D., Savidis, S. en Walz B., *Tragverhalten von Zugpfahlgruppen für Unterwasserbetonsohlen*, *Baugrundtagung S. 25*, Berlin, 1998.
- Laube, M. en Rusack, T., *Baugruben mit rückverankerter Unterwasserbetonsohle – Untersuchungsergebnisse aus Vorversuchen und Bauphase*, *Baustoffe in Praxis, Lehre und Forschung*. Festschrift zum 65. Geburtstag von Prof. Dr.-Ing. F.S. Rostasy, p. 105-112, 1997

**Figuur 2**  
Representatieve sondering.



**Figuur 3** Resultaten monitoring paal 52.