

# Grote diameter geboorde casing-palen



## Samenvatting

Dit artikel beschrijft de bijzonderheden van dit paalsysteem aan de hand van de gekozen uitvoeringsmethode en de diverse controles op het eindresultaat.

Naast controle op het uitvoeringsproces door middel van sonderingen is op een 3-tal palen een geschiktheidsproef uitgevoerd en zijn de palen gedurende de bouw en de periode na in dienststelling van het spoor gemonitord door middel van nauwkeurigheidswaterpassingen.

De BG28 stelling met 40 tm boormotor en het onderste casing segment met snijtanden.



## Inleiding

Voor het project Spoorverdubbeling Vleuten - Amsterdam Rijnkanaal is voor het eerst in Nederland gebruik gemaakt van zogenaamde grote diameter casingpalen. Na een eerste reeks palen van 80 stuks in 2005 voor de eerste fase van dit project, zijn in april 2008 de laatste 17 palen van dit type succesvol geïnstalleerd.

## Projectbeschrijving

De spoorverdubbeling van het traject Vleuten - Amsterdam Rijnkanaal is onderdeel van de verdubbeling van de capaciteit voor het rail-

verkeer op het traject Gouda-Utrecht. Deze lijn kent zijn ligging ten tijde van de aanbesteding in 2004 sinds begin jaren '50, toen ondermeer het spoorviaduct over rijksweg 2 werd gerealiseerd. Het traject kent een gedeeltelijke hoge ligging van de spoorbaan, maar ook een deel met een maaiveldligging en gelijkvloerse kruisingen met het lokale verkeer. De spoorlijn doorsnijdt de Vinex-locatie Leidsche Rijn en heeft diensgevolge ook een functie in de lokale vervoersverbindingen tussen deze wijk en het centrum van Utrecht. Om de mogelijke barrière van de spoorlijn te slechten voor de toekomstige

bewoners is gekozen voor een hoge ligging van de nieuwe, verbrede aardebaan, voorzien van een groot aantal kunstwerken om het spoorverkeer ongelijkvloerse te kunnen kruisen en een drietal stations om gebruik te kunnen maken van het spoor.

De aanbesteding van het project heeft plaats gevonden in 2004. In 2005 is door de Combinatie VLARK, bestaande uit Van Hattum en Blankevoort en KWS, gestart met de gefaseerde uitvoering die in 2010 zal zijn voltooid. Het contract is een overeenkomst voor het ontwerp en

realisatie van de 4-sporige aardebaan, inclusief 20 kunstwerken (waaronder de 3 stations) en geluidsbeperkende voorzieningen. Door Prorail is als opdrachtgever een referentieontwerp aan de opdrachtnemer ter beschikking gesteld. Daarnaast diende de opdrachtnemer te voldoen aan de strakke vormgevingsvisie die door de opdrachtgever was neergelegd. Uit het oogpunt van sociale veiligheid van de diverse onderdoorgangen is gekozen voor een ruime opzet van de kunstwerken, waarbij de midden steunpunten worden gevormd door betonkolommen met een diameter van 1200 mm.

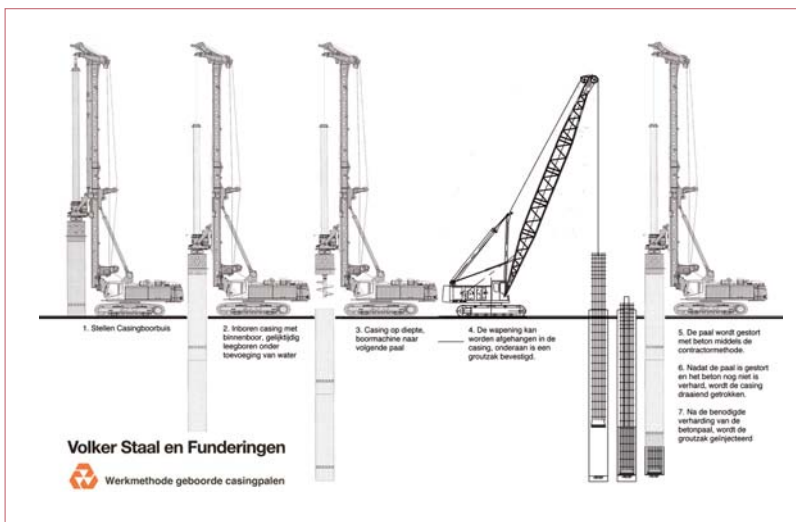
### Keuze paalsysteem

In het referentieontwerp waren deze kolommen geplaatst op zware betonnen poeren die werden gefundeerd op prefab betonpalen 450 x 450 mm (figuur 1). Al in de tenderfase is de opdrachtnemer in samenwerking met Volker Staal en Funderingen en VWS Geotechniek opzoek gegaan naar alternatieven, waarbij de uitdaging was om direct onder de kolommen 1200 mm één funderingspaal te plaatsen. Op deze wijze zou het aantal palen fors worden gereduceerd (van 48 naar 6 per steunpunt), maar kon tevens de zware betonpoer (inclusief bemaling en hulpconstructies) vervallen. Een dergelijke alternatieve fundering diende uiteraard wel aan strenge eisen te kunnen voldoen, te weten een rekenwaarde van de netto draagkracht van de palen van circa 8.000 kN en een stijf last-zakingsgedrag om de zettingsverschillen tussen de op prefab palen gefundeerde landhoofden en de steunpunten bij het passeren van een trein tot een minimum te beperken.

Bij het zoeken naar mogelijke funderings-systemen zijn varianten als de toepassing van traditionele boorpalen (met bentoniet steunvloeistof) en grote diameter stalen buispalen beschouwd, maar geen van deze paaltypen kon concurreren met de zogenaamde casingpalen. Door Visser en Smit Bouw waren in de jaren 80 getrilde casingpalen geïnstalleerd bij diverse projecten in de omgeving van Maastricht. Deze palen hadden een diameter tot 1200 mm en waren enigszins vergelijkbaar met vibropalen. Het verschil was dat deze palen niet waren voorzien van een voetplaat (die het trillend inbrengen onmogelijk had gemaakt) maar werden leeggehaald met een palengrijper na het op diepte brengen van de casing. Vervolgens werd de wapening geplaatst en de buis gevuld met beton met behulp van de contractormethode. Na het storten werd de buis weer trillend verwijderd.



Figuur 1 Referentieontwerp Kunstwerk 8.

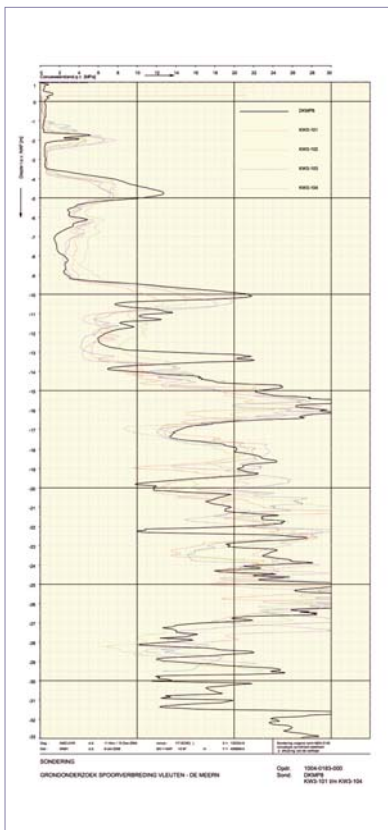


Figuur 2 Beschrijving uitvoering geboorde casingpalen.

Voor het project VLARK was het noodzakelijk om bij enkele kunstwerken een trillingsvrij paalsysteem toe te passen. Daarnaast was het noodzakelijk om een paal toe te passen met een diameter die, teneinde plaatsingtoleranties mogelijk te maken, tenminste 1400 mm zou bedragen. Uiteindelijk hebben deze randvoorwaarden ertoe geleid dat er gekozen is voor geboorde casingpalen met een diameter van 1650 mm. De paallengte varieerde over het

project van 15 m tot 19,5 m. Een overzicht van de uitvoeringsvolgorde bij een geboorde casingpaal is gegeven in figuur 2.

Essentieel bij de uitvoering van dit paaltipe is dat tijdens het inboren van de casing en het gelijktijdig verwijderen van de grond binnen de casing een wateroverduk wordt gehandhaafd teneinde een stabiele situatie aan de punt van de casing te garanderen. Om het risico van een



**Figuur 3** Resultaat sonderingen vóór en na paalinstallatie.

verstoring van de grondslag op paalpuntniveau te minimaliseren en eventueel teniet te doen is aan de onderzijde van de wapening een groutzak bevestigd die na het uitharden van de beton kan worden gevuld met grout. Door het vullen te laten plaatsvinden onder hoge druk is het tevens mogelijk de paalpunt (en daarmee de gehele paal) op te spannen en een stijf last-zakkingsgedrag te waarborgen.

**Dimensionering en controle Paalsysteem**

Van het gekozen paalttype waren geen proefbelastingen in Nederland beschikbaar. Voor zover deze palen in het buitenland worden toegepast wordt het draagvermogen veelal bepaald aan de hand van proefpalen, maar daarbij is nimmer een relatie met sonderingen gebruikt. Bij het ontbreken van resultaten van proefbelastingen is het gebruikelijk het paalsysteem in te schalen aan de hand van vergelijkingen met paalsystemen die wel zijn opgenomen in de Nederlandse normen. Van Hattum en Blankevoort heeft voor het beoordelen van het paalsysteem de hulp ingeschakeld van Geodelft, nu Deltares. Op basis van de rapportage van Deltares is door TCE (als hoofdconstructeur ingehuurd door de Combinatie Vlk) het ontwerp gemaakt voor de paalfundering. Teneinde het werkelijke gedrag van de palen in het werk te kunnen beoordelen is gebruik gemaakt van een controle op de uitvoering met sonderingen (vergelijk sondeerweerstand vóór en na installatie van de palen bij minimaal 1 paal per kunstwerk) en zijn op 3 palen geschiktheidsproeven uitgevoerd. Bij 2 van deze palen is een

proefbelasting tot 100% van de representatieve paalbelasting toegepast (6.000 kN), terwijl bij de derde paal een proefbelasting tot 100% van de rekenwaarde (8.000 kN) is uitgevoerd.

Op basis van de resultaten van de sonderingen kon worden vastgesteld dat de palen een neutraal installatie gedrag hebben, dat wil zeggen gemiddeld was er geen sprake van een toename of afname van de conusweerstand. De sonderingen na installatie zijn daarbij uitgevoerd met een dubbele hellingmeter om de positie van de sondeerconus ten opzichte van de paal te kunnen controleren. Een representatief resultaat is getoond in *figuur 3*.

De drie beproefde palen zijn gesitueerd ter plaatse van kunstwerk 6, het kunstwerk waar met installatie van de palen is aangevangen. De proefbelastingen zijn uitgevoerd en begeleid door Deltares. De 3 palen zijn geïnstrumenteerd met behulp van trillende snaaropnemers die op verschillende niveaus aan de wapening zijn bevestigd. Daarnaast zijn een 4-tal gasbuizen ingebracht om vervormingen van de paalschacht op diverse niveaus ook met behulp van nauwkeurigheidswaterpassingen te kunnen vaststellen. De eerste metingen aan de paal zijn uitgevoerd bij het oppompen van de groutzakken. Op basis van die meetresultaten kon worden geconcludeerd dat het vullen van de groutzakken weliswaar zichtbaar was bij de opnemers, maar dat er geen sprake was van een blijvende voorspanning in de paal. Dit feit kon ook worden vastgesteld aan de hand van waterpassingen van de paalkoppen die slechts een rijzing circa 1 millimeter



Uitvoeren proefbelasting met reactieframe.





Grote diameter geboorde casingpalen

te zien gaven. Bij de recent uitgevoerde palen in de tweede fase is de procedure voor het vullen van de groutzakken herzien en is het wel mogelijk gebleken de palen tot 10 mm 'op' te pompen.

Bij het uitvoeren van de proefbelasting is gebruik gemaakt van een reactieframe dat de benodigde kracht ontleende aan een 16-tal Gewi-palen. Deze palen waren op 10 m uit het hard van de beproefde palen geplaatst om zo een wederzijdse beïnvloeding te voorkomen. De proefbelastingen zijn uitgevoerd op 3 naast elkaar geplaatste palen in kunstwerk 6. De onderlinge hart op hart afstand van deze palen bedroeg 3,75 m, waarmee het niet ondenkbeeldig is dat het resultaat van de proefbelastingen is beïnvloed door de volgorde waarin de palen zijn belast. Desondanks vertonen de resultaten van de proefbelastingen een behoorlijke mate van overeenkomst.

Op basis van de gegevens van de nasonderingen en de uitgevoerde proefbelastingen is door Deltares het last-zakkingsgedrag van de palen voor de diverse kunstwerken in het project bepaald.

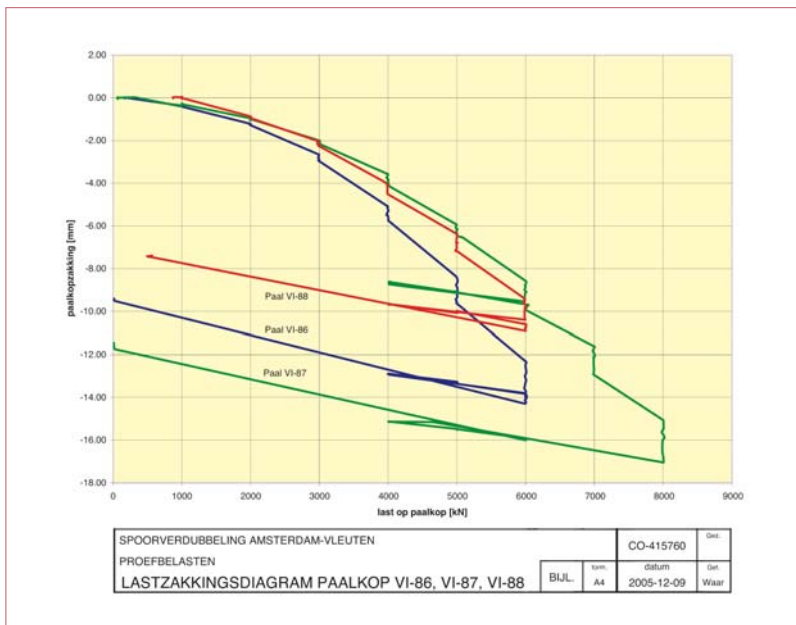
**Controle last-zakkingsgedrag**

Het vaststellen van het last-zakkingsgedrag van palen kent zelfs als dit plaats vindt op basis van een aantal proefbelastingen nog onzekerheden. Ter controle van het werkelijke paalgedrag is besloten de kolommen die rechtstreeks op de palen zijn geplaatst te voorzien van referentie-boutjes die gedurende het vervolg van het werk op een aantal relevante tijdstippen zijn ingemeten.

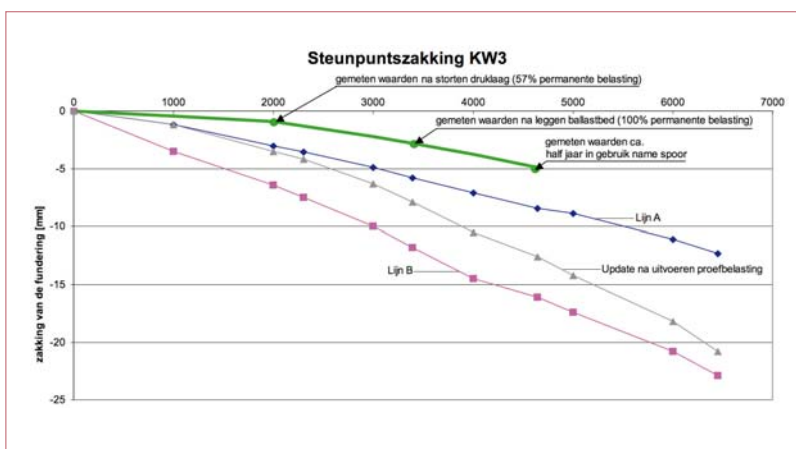
Op basis van de resultaten van deze metingen kan worden vastgesteld dat het werkelijke gedrag van de palen stijver is dan op basis van de proefbelastingen is geconcludeerd.

**Conclusies paalsysteem**

De grote diameter geboorde casingpalen hebben voldaan aan de oorspronkelijk geformuleerde eisen met betrekking tot draagvermogen en last-zakkingsgedrag. De palen zijn een interessant alternatief voor de traditionele boorpalen en de fundatie van belastingen die via kolommen direct op de ondergrond kunnen worden overgedragen. Toepassing als paalfundering onder hoogbouw in binnenstedelijke gebied is eveneens goed denkbaar. De uitgevoerde proefbelastingen en controle-sonderingen geven aan dat de palen een neutraal installatiegedrag hebben en, door de toepassing van een puntinjectie, een stijf last-zakkingsgedrag. De paalklasse factoren



Figuur 4 Resultaat proefbelastingen.



Figuur 5 Aangenomen en geregistreerde last-zakkingsgedrag steunpunten.

voor berekening van het draagvermogen zijn nog niet eenduidig vastgesteld. Overwogen wordt om een tweetal extra geïnstalleerde kortere palen te beproeven met behulp van een 16 MN statnamic apparaat om ook inzicht te krijgen in het gedrag van de palen onder een belasting die de waarschijnlijke bezwijkbelasting van deze palen benaderd. ■