



# Panorama Mesdag stabiel door compensation grouting

**Na opgetreden vervormingen door nabije bouwwerkzaamheden is de fundering van de Rotonde van Panorama Mesdag gestabiliseerd met compensation grouting. Gedurende alle fasen zijn met een waterbalansmeetsysteem de verticale verplaatsingen gevolgd met een nauwkeurigheid van +/- 0,2 millimeter.**

PROF.DR.IR.ING. A.E.C. VAN DER STOEL / IR.ING. M. DE KONING / DIPL.-ING. L. VAN SILTENBURG

Tijdens de uitvoering van een boorpalenwand voor een bouwkuip aan de Mauritskade in Den Haag zijn aanzienlijke vervormingen opgetreden aan het Rotondegebouw van Museum Panorama Mesdag. Na het stoppen van de bouwwerkzaamheden bleek uit onderzoeken dat de constructie onvoldoende stabiel was en dat mitigerende maatregelen nodig waren. Deze maatregelen bestonden uit het verstevigen van de fundering en het deels compenseren van de opgetreden zakkingen.

## Compensation grouting

Omdat met compensation grouting de mogelijkheid bestaat om de fundering van de Rotonde te liften en te stabiliseren, is deze methode het meest geschikt bevonden als mitigerende maat-

### IN 'T KORT - UITVOERING

- Fundering Rotonde Panorama Mesdag gestabiliseerd met compensation grouting
- Bij initiële groutinjectionen is grond gelijktijdig opgevuld en opgespannen
- Continue monitoring van optredende vervormingen in horizontaal en verticaal vlak
- Netto heffing van 4 millimeter bereikt, zelfde procedure ook later weer toegepast

regel. De horizontale fixatie is gewaarborgd door op funderingsniveau een spakenwiel aan te brengen, dat de funderingspoeren met de kern van het gebouw verbindt.

Bij compensation grouting worden door gerichte groutinjectionen de korrelspanningen in de grond zodanig verhoogd dat de grond rondom de injectieopening scheurt en de groutsuspensie de grond in stroomt. De grond boven de injectieopening wordt hierbij uiteindelijk omhooggedrukt, wat de opgetreden zakkingen compenseert.

De injectiewerkzaamheden bestonden uit drie fasen: initiële injecties (vullen van de poriën in het grondpakket), voorinjecties (gelijk maken van de horizontale korrelspanningen aan de verticale korrelspanningen) en heffingsinjecties (realiseren van de heffing).

## Injectionen

In augustus 2010 is begonnen met de werkzaamheden door het installeren van zogenaamde Tubes-à-Manchette (TAM, manchettenbuisen) tot op een diepte van circa NAP -7 meter. In totaal zijn in twee weken tijd 64 TAM's geïnstalleerd, waarvan 32 loodrecht en 32 onder een hoek. Om vervormingen tijdens het installatieproces zoveel mogelijk te reduceren, is voor het installeren van de TAM's gebruikgemaakt van een verbuisd boorsysteem en werd tijdens het boren het boorgat stabiel gehouden met een boorvloeistof. Na het trekken van de binnenbuis

werd de TAM ingebracht. De maximale verticale verplaatsing gedurende het installatieproces bedroeg circa 2,5 millimeter en is gemeten bij een funderingspoer op de kortste afstand van de boorpalenwand.

Voor het liften van de funderingspoeren is als criterium een maximale (netto) heffing aangehouden van circa 4 millimeter bij de poer die het dichtst bij de bouwkuip ligt en van 0,5 millimeter aan de randen.

Tijdens de initiële injecties bleek de grond zo goed te reageren dat deze gelijktijdig werd opgevuld en opgespannen, zodat de eerste twee fasen feitelijk in één fase zijn uitgevoerd. Een verklaring hiervoor is dat de poriën van het te injecteren zand gedurende de boorwerkzaamheden grotendeels zijn opgevuld met boorvloeistof.

Door het om en om injecteren van verticale TAM's is een wand rondom de fundering van de Rotonde gecreëerd. Met het injecteren van de onderste injectieopeningen van de schuin geplaatste TAM's werd een voet aan de wand gebracht. De overgebleven niet-geïnjecteerde injectieopeningen zijn vervolgens beurtelings gebruikt voor het gecontroleerd heffen van de fundering.

De benodigde heffing kan men in drie componenten opdelen: ter compensatie van de zakking door het installeren van de TAM's; om de gewenste nettoheffing per meetsensor te bereiken; en ter compensatie van de plastische krimp (bleeding) van het injectiemiddel (door bleeding trad volumevermindering op, waardoor het rendement van de injecties circa 90 procent bedroeg).

Na het bereiken van de gewenste bruto heffing is gedurende een rustperiode van twee weken bekeken of de Rotonde voldoende stabiel/zettingsvrij was.

## Monitoring verplaatsingen

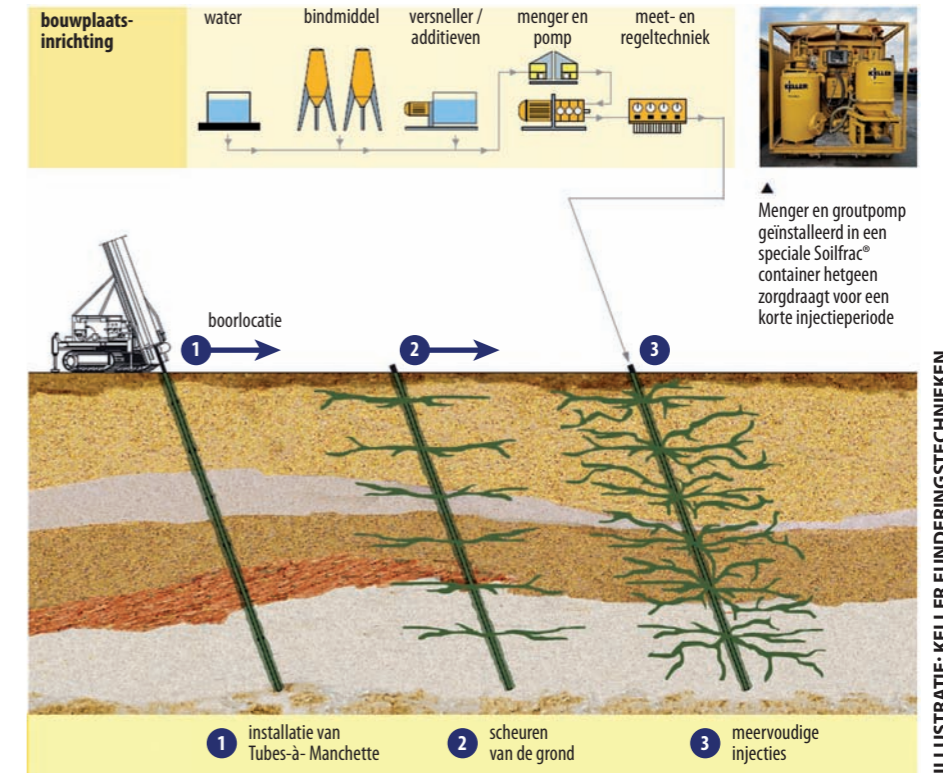
Gedurende de werkzaamheden zijn de optredende vervormingen van de Rotonde in zowel

**Overzicht van de projectlocatie (links) en installatie van de manchetbuisen.**

het horizontale als verticale vlak continu gemonitord. Sinds 2007 is hiervoor in de Rotonde een automatisch waterpassingsstelsel geïnstalleerd, waarmee bij negen punten circa eenmaal per uur wordt gemeten. Voor het registreren van de verticale verplaatsingen tijdens compensatiogrouting is het echter zaak dit realtime te doen om het proces te sturen en gezien de strikte aan de vervormingen gestelde eisen. Zo is het, indien nodig, mogelijk de injectiewerkzaamheden direct aan te passen aan de situatie. Het tweede monitorsysteem (het waterbalansmeetsysteem) registreert alleen de verticale verplaatsingen op vijftien meetpunten, die zich bevonden op de funderingspoeren en op de muur tussen de poeren.

Met de meetgegevens voorafgaand aan de werkzaamheden zijn de natuurlijke verplaatsingen (bijvoorbeeld door temperatuurveranderingen en grondwaterschommelingen) van de Rotonde geanalyseerd. Uit deze analyse volgt een natuurlijke verticale verplaatsing van circa +/- 0,3 millimeter per dag. De grenswaarde voor de verticale verplaatsing bij TAM-installatie bedroeg 2 millimeter, de alarmwaarde 1 millimeter. Bij overschrijding van de alarm- en grenswaarde werd een sms-bericht gestuurd naar alle betrokkenen. Voor de relatieve hoekverdraaiing ( $\beta_r$ ) in zowel het verticale als horizontale vlak is een door de gemeente opgegeven waarde van 1:1200 als absolute grens gehanteerd. De relatieve hoekverdraaiing en rotatie zijn direct gecheckt met de meetwaarden.

Rekeninghoudend met de natuurlijke verplaatsingen van het gebouw en de nauwkeurigheid van het meetsysteem (+/- 0,2 millimeter) kan men stellen dat de gestelde eisen aan de verplaatsingen zeer strikt zijn.



## COMPENSATION GROUTING

**Principe van compensation grouting.**

Gedurende alle fasen van de werkzaamheden zijn de monitoringgegevens direct op de bouwplaats geanalyseerd en getoetst aan de gestelde eisen, zodat desgewenst de werkzaamheden direct waren bij te stellen. Gedurende de TAM-installatie is een maximale zetting gemeten van 2,5 millimeter (in de nabijheid van de boorpalenwand); bij de randen van de werkzaamheden bedroeg deze zetting circa 0,5 tot 1 millimeter.

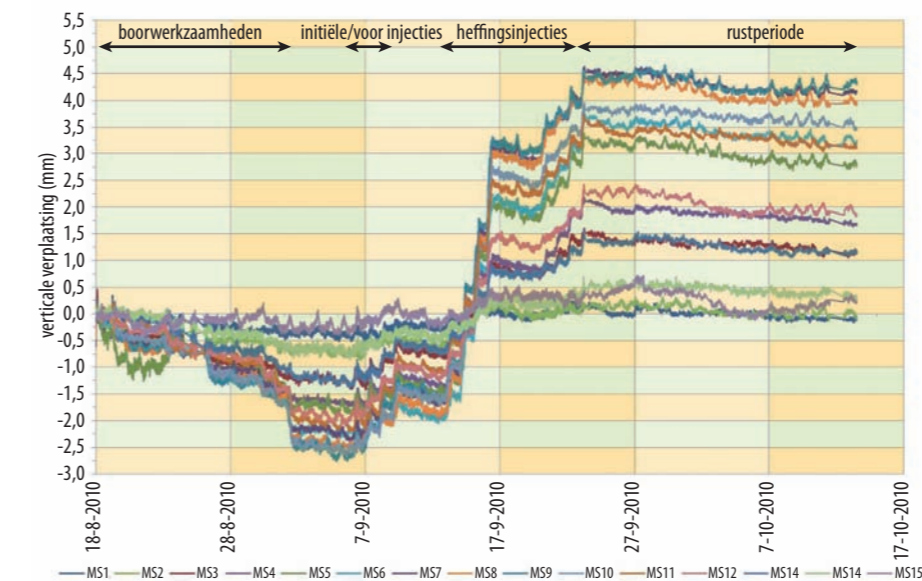
Het weekend na de boorwerkzaamheden is begonnen met de initiële injecties, waarbij reeds een heffing optrad van maximaal circa 1 milli-

meter. Daarna volgden de daadwerkelijke heffingsinjecties. De fundering van de Rotonde is hierbij maximaal circa 7 millimeter geheven om een netto heffing van 4 millimeter te bereiken. De injectiewerkzaamheden werden beëindigd toen op 23 september bij één meetpunt de horizontale verplaatsingslimiet werd overschreden, wat vanuit constructief oogpunt onacceptabel werd geacht. Bovendien was nagenoeg overal de gewenste heffing reeds bereikt. Op basis van monitoring gedurende een rustperiode van circa twee weken was vervolgens te concluderen dat het gebouw stabiel is.

## Nieuwe vervormingen

Na beëindiging van de compensation grouting is de boorpalenwand waterremmend gemaakt met jetgrouting. Tijdens deze werkzaamheden was de Rotonde wederom aan vervormingen onderhevig. Hierop is (reeds vooraf) besloten om voor een tweede maal daar waar nodig compensation grouting toe te passen, waarbij de opgetreden vervormingen gedurende de rustperiode en het jetgrouten zijn gecompenseerd. Deze werkzaamheden zijn in november 2010 succesvol afgerond, waarna de voorbereidingswerkzaamheden begonnen voor de realisatie van een naastgelegen ondergrondse parkeergarage. Indien noodzakelijk is het ook hierbij mogelijk opnieuw gebruik te maken het compensation grouting-systeem.

*Almer van der Stoel is directeur van CRUX Engineering en hoogleraar aan de Universiteit Twente en NLDA (Nederlandse Defensie Academie). Michel de Koning is adviseur bij CRUX Engineering. Laurens van Siltenburg is projectleider bij Keller Funderingstechnieken.*



## HEFFINGEN

**Gemeten heffingen (met het waterbalansmeetsysteem) tijdens de werkzaamheden van compensation grouting.**