

**Samenvatting:**  
Keren door injecteren:  
Defensiecomplex  
Schaarsbergen

Door CRUX Engineering BV zijn sterkte- en vervormingberekeningen uitgevoerd ten bate van een bodeminjectie bij een gebouwencomplex van Defensie. Het ondervangen van de fundering op staal van een hangar diende trillingsvrij en onder de bestaande constructie te worden aangebracht zonder deze aan te tasten. Middels bodeminjectie is een kwalitatief hoogwaardige bouwkuipconstructie met een kerende hoogte van maximaal 5,5 m(!) gerealiseerd, die voldeed aan deze voorwaarden. Omdat na het oorspronkelijke dimensioneren bleek dat een onverankerde wand wel aan de sterkte- en stabiliteitseisen voldeed, maar niet aan de stijfheidseisen, is besloten de wand plaatselijk te verankeren. Dit bleek door de minder grote omvang van het benodigde injectielichaam óók economisch een aantrekkelijk alternatief!

# KEREN DOOR INJECTEREN: DEFENSIECOMPLEX SCHAARSBERGEN

■ Dr. Ir. Almer E.C. van der Stoel (CRUX Engineering BV)

## Inleiding

In opdracht van Injection Nederland BV zijn door CRUX Engineering BV sterkte- en vervormingberekeningen uitgevoerd ten bate van een bodeminjectie bij een gebouwencomplex van het Ministerie van Defensie te Schaarsbergen. Het betreft het ondervangen van de bestaande fundering op staal van hangar "Gebouw 85". De hierbinnen aan te leggen kelder betrof een aanpassing van een bestaande hal van circa 30 m x 33 m x 10 m. In verband met de wens het uit een Chinook helikopter springen te simuleren, diende deze hal te worden verdiept.

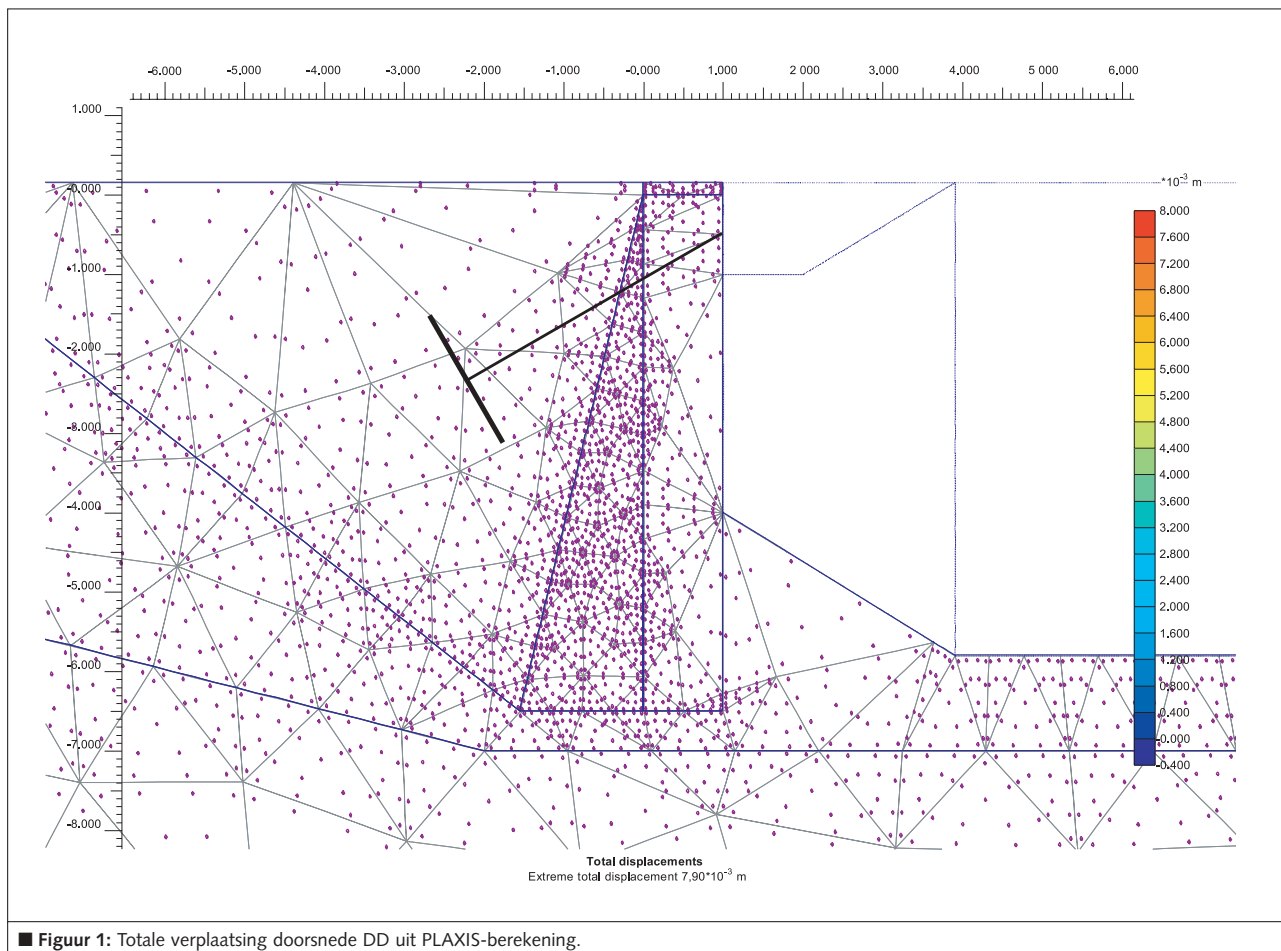
De twee belangrijkste voorwaarden voor de realisatie van de nieuwe kelder waren een trillingsvrije installatie (vanwege gevoelige vluchtsimulators in het gebouw) en realisatie van de bouwkuipwand onder de bestaande constructie zonder deze aan te tasten. Hoofdaannemer is Bouwbedrijf Paul BV uit Apeldoorn, die het werk in opdracht van het Ministerie van Defensie, Dienst Gebouwen, Werken en Terreinen uitvoert. De ontworpen bodeminjectie is met een kerende hoogte van maximaal 5,5 m voor Nederland uitzonderlijk te noemen.

## Uitgangspunten

Uit het grondonderzoek kan worden geconcludeerd dat de grondslag ter plaatse, tot de verkende diepte van circa 10 m, bestaat uit matig tot vast gepakt, matig fijn tot matig grof zand met een conusweerstand tussen 8 en 30 MPa. De grondwaterstand bevindt zich op meer dan 10 m diepte onder funderingsniveau. Als uitgangspunt kon daarom worden gehanteerd dat het zand goed met een mengsel op basis van waterglas te injecteren zou zijn.

In totaal zijn vier doorsneden berekend, waarvan in dit artikel ter illustratie alleen die met de grootste kerende hoogte wordt behandeld (doorsnede DD zie figuur 1).

Voor het injectielichaam is (conform het bestek) in de berekeningen een representatieve waarde van de sterkte van 1 MPa aangehouden. Gezien de goede injecteerbaarheid van het zand biedt deze relatief lage druksterkte voldoende zekerheid ten aanzien van eventuele inhomogeniteit van het injectielichaam. Bovendien is als uitgangspunt gehanteerd



■ **Figuur 1:** Totale verplaatsing doorsnede DD uit PLAXIS-berekening.

dat de aansluiting tussen het injectielichaam en de bestaande fundering afdoende moet zijn (100% raakvlak). Dit is een belangrijk aandachtspunt tijdens de uitvoering, omdat een onvoldoende aansluiting kan leiden tot te grote initiële verplaatsingen van het injectielichaam.

### Dimensioneren

Het ontwerp van het injectielichaam heeft allereerst bestaan uit het uitvoeren van een globale dimensionering. Hiertoe zijn de macrostabiliteit en de inwendige stabiliteit van / krachtswerking in het injectielichaam getoetst. Aansluitend zijn de vervormingen van de bestaande constructie gedurende de bouwfasen beschouwd. Dit laatste punt is vooral gezien de afmetingen van de ontgraving en de functie van de hal zeer belangrijk.

Aan de hand van NEN 6744 en NEN 6740 is door CRUX het computerprogramma *Stabin* (v1.4) ontwikkeld waarmee berekeningen aan injectielichamen, hetzij gebruikt als funderingsondervanging, hetzij gebruikt als keermuur, kunnen worden uitgevoerd. In *Stabin* is bijzondere zorg besteed aan het meenemen van veiligheidsfactoren in de berekeningen. Zo zal een verticale kracht die binnen het

injectielichaam ligt, zorgen voor een opspanning van dat injectielichaam en gunstig werken ten aanzien van de afschuif- en kantelstabiliteit, terwijl een kracht buiten het injectielichaam juist ongunstig zal werken. Wanneer de verticale kracht in/op het injectielichaam (te) groot wordt, neemt het gevaar op bezwijken van de onder het injectielichaam gelegen grond toe. Met *Stabin* wordt de constructie zodanig ontworpen dat met een optimale hoeveelheid te injecteren grond een stabiele, over voldoende draagkracht beschikkende constructie wordt verkregen. Bij het ontwerp wordt op de volgende mechanismen getoetst: horizontaal afglijden (schuif), kantelen, glijvlak (Prandtl) en pons (diepe slappe lagen). Het bleek dat hier de Prandtlstabiliteit maatgevend was.

De constructie is vervolgens verder uitgerekend conform de vigerende NEN-normen. Omdat in artikel 5.2.1 van NEN 6744 aangegeven is dat *indien horizontale krachten op de fundering aangrijpen, bijvoorbeeld bij keermuren, wordt geadviseerd een uitgebreidere berekening te maken*, is hier gekozen voor het dimensioneren middels een PLAXIS-berekening. In PLAXIS wordt middels zogenaamde phi-c reductie-berekeningen een toets op de macrostabiliteit en de inwendige stabiliteit van het injectielichaam uitgevoerd.



■ **Figuur 2:** Overzicht binnen de hangar



■ **Figuur 3:** Bovenaanzicht in de hangar

Voor het injectielichaam is zoals gezegd een sterkte van 1 MPa aangehouden. In de berekeningen is dit gemodelleerd door voor het injectielichaam een cohesie  $c'$  van 500 kPa (de helft van de ongesteunde druksterkte) en een E-modulus van  $E_{50}$  van 200.000 kPa aan te houden. Voor de hoek van inwendige wrijving  $\phi'$  wordt 33° aangehouden (*alle hiervoor genoemde getallen betreffen representatieve waarden*). De keuze van deze parameters is gebaseerd op de eigenschappen van het zand ter plaatse, welke is onderzocht middels het maken van een korrelverdelingsdiagram van representatieve monsters en de samenstelling van het gebruikte waterglasmengsel.

Uit de PLAXIS-berekeningen bleek dat de inwendige stabiliteit van het injectielichaam en de macrostabiliteit voor alle doorsneden gewaarborgd is. De overall-veiligheid is, uitgaande van de in de berekening gehanteerde *representatieve* parameters, minimaal gelijk aan 1,3. De overeenstemming met de Stabin-berekeningen is goed.

Voor de beschouwde doorsneden zijn de vervormingen ter plaatse van de onderzijde van de fundering bepaald. Uit de berekeningen kon worden geconcludeerd dat de zakking van de fundering als gevolg van de ontgraving van de kelder maximaal circa 10 mm bedraagt, hetgeen door de opdrachtgever als acceptabel wordt beschouwd.

De horizontale verplaatsing bedraagt maximaal circa 25 mm. Het werd geoordeeld dat de relatief grote horizontale verplaatsingen niet toelaatbaar zijn vanwege de aanwezigheid van een roldeur ter plaatse van deze doorsnede. Aangezien de bedrijfszekerheid van deze deur te allen tijde gewaarborgd diende te zijn, is besloten om de verplaatsingen te begrenzen door het onder de roldeur gelegen injectielichaam te verankeren.

Aangezien het anker onder een hoek dient te worden aangebracht, is bij het ontwerp uitgegaan van een anker onder een hoek van 30° met de horizontaal. De rekstijfheid (EA)

van het anker is aangenomen op 10.300 kN/m (stalen stang met 25 mm doorsnede), de lengte op 10 m (voldoende buiten het afschuifvlak van de wand) en de hart op hart afstand op 2,5 m. Daarom bedraagt de rekstijfheid van het anker 3.090 kN/m<sup>2</sup>. De ankers zijn als volgt geschematiseerd:

- Eerst ontgraven tot 1,0 m onder funderingsniveau.
- Anker aanbrengen op 0,5 m onder funderingsniveau.
- Anker afspannen.
- Verder ontgraven van de hele put.

Door het aanbrengen van het anker konden de afmetingen van het oorspronkelijk gedachte injectielichaam aanzienlijk worden gereduceerd. Uit de PLAXIS-berekeningen blijkt dat met deze gereduceerde omvang de inwendige stabiliteit van het injectielichaam en de macrostabiliteit voor alle doorsneden gewaarborgd is bij een afspankracht van 50 tot 75 kN/m wand. De zakking van de fundering als gevolg van de ontgraving van de kelder bedraagt nu maximaal 2 mm en de horizontale verplaatsing maximaal 5 mm, hetgeen door de opdrachtgever als toelaatbaar werd beoordeeld.

Om spanningsconcentratie in het injectielichaam bij de aansluiting met het anker tegen te gaan, dient een ankerplaat te worden toegepast, waarbij tussen de ankerplaat en het injectielichaam een voldoende vlakke aansluiting wordt gecreëerd (uitvullen). Uitgaande van een druksterkte van het injectielichaam van 1 N/mm<sup>2</sup> en een maximale ankerkracht van  $2,5 * 75 * 1,2 = 225$  kN is het benodigde oppervlak van de plaat minimaal 0,23 m<sup>2</sup> (bijvoorbeeld 0,5 \* 0,5 m<sup>2</sup>).

### Uitvoering

De injecties hebben plaatsgevonden met een mengsel met een waterglaspercentage van 50% en een harderpercentage van 7%. De injectiebuisen zijn geplaatst met behulp van een Geoprobe® Model 54LT (vergelijkbaar met een sondeerapparaat). De buizen zijn aangebracht tot het niveau van de onderzijde van het injectielichaam, waarna ze onder gelijk-

tijdig injecteren van de grond zijn getrokken. Het injecteren van het berekende massief heeft zonder noemenswaardige problemen plaatsgevonden. Bijzonder was dat door de onverwacht goede doorlatendheid van het zand het injectielichaam is 'uitgezakt' voor uitharding. Hierdoor waren de bovenste ca. 0,5 m niet voldoende verhard. Om dit probleem te verhelpen heeft een na-injectie van de bovenste ca. 0,7 m plaatsgevonden, waarbij ca. 0,25 m inboring in het bestaande lichaam heeft plaatsgevonden.

Tijdens de uitvoering is met de grootst mogelijke zorg ontgraven. In de nabijheid (circa 0,5 m) van het injectiemassief is met de hand ontgraven om het raken van eventuele uitlopers van het injectielichaam te voorkomen. Tevens is tijdens de uitvoering de aanbeveling opgevolgd om bouwverkeer, kranen, etc. enkele meters uit de rand van de ontgraving te houden door een bouwhek te plaatsen. Na ontgraven bleek het injectielichaam van een uitstekende kwaliteit te zijn. De druksterkte overtrof de gewenste 1 MPa ruimschoots en er zijn geen noemenswaardige verplaatsingen

van de bestaande constructie waargenomen. Op dit moment wordt de nieuwe kelderconstructie in de bestaande bouwkuip gerealiseerd.

### Conclusie

Middels bodeminjectie is een kwalitatief hoogwaardige bouwkuipconstructie gerealiseerd die voldeed aan de twee belangrijkste voorwaarden voor de realisatie van de nieuwe kelder, namelijk een trillingsvrije installatie en het creëren van de bouwkuipwand onder de bestaande constructie zonder deze aan te tasten. Omdat na het oorspronkelijke dimensioneren bleek dat een onverankerde wand wel aan de sterkte- en stabiliteitseisen voldeed, maar niet aan de stijfheidseisen (vanwege de te grote horizontale verplaatsingen), is besloten de wand plaatselijk te verankeren. Dit bleek overigens achteraf, door de minder grote omvang van het benodigde injectielichaam, bovendien óók economisch een aantrekkelijk alternatief!