

Drukmetingen retourspecie tijdens het uitvoeren van jetgrouten

Ing. Onno Langhorst
Movares Nederland BV



Prof. Em. Ir. Jan Maertens
Jan Maertens BVBA



Ir. Peter De Vleeschauwer
Smet F&C



Figuur 1

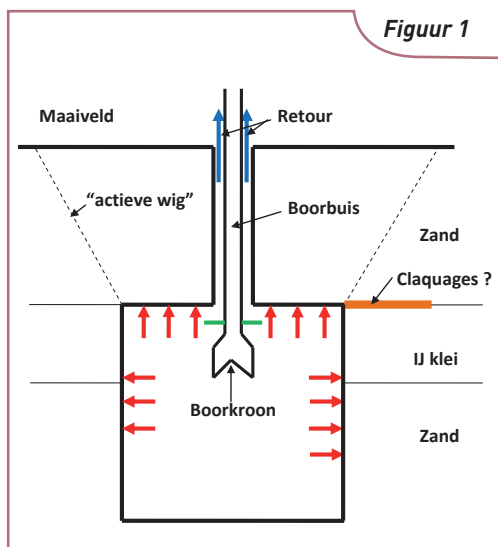


Foto 1



Inleiding

Voor de onderdoorgang van de Noord/Zuidlijn onder het Centraal Station van Amsterdam is een sandwichwand aangebracht bestaande uit 2 rijen Tubexpalen met daartussen een groot aantal jet-groutkolommen. Over de uitvoering van deze sandwichwand en de daarbij doorgevoerde monitoring is al uitvoerig gerapporteerd (zie referentie 5 en 6).

In het bestek zijn uitgebreide controles voorzien om de continuïteit van de retourstroming na te gaan alsook om de samenstelling en de eigenschappen van de retourspecie te controleren. Daarnaast zijn ook drukmetingen uitgevoerd bij een aantal groutkolommen met als doel daarmee informatie te verkrijgen betreffende de continuïteit van de retourstroming.

In onderhavig artikel wordt eerst het belang van de continuïteit van de retourstroming toegelicht

en vervolgens worden de resultaten besproken van de drukmetingen die tijdens de uitvoering van een aantal groutkolommen zijn doorgevoerd.

Belang van de retourstroming

Het is bekend dat een regelmatige retourstroming zeer belangrijk is bij de uitvoering van jet-grouten. Wanneer de retourstroming wegvalt, verhoogt de druk in de groutspecie rond de jet-groutstraal. Wanneer de druk voldoende groot wordt, kan de grond omheen de groutkolom worden opgelicht. Bij de uitvoering van groutkolommen onder bestaande funderingen kan deze aanleiding geven tot schade.

Bij de bi-jet en tri-jetmethode kan een te hoog luchtdebiet aanleiding geven tot een onderdruk in de retourspecie en als gevolg daarvan kunnen dan zettingen ontstaan.

Op het ogenblik dat er een verhoogde druk ontstaat in de groutspecie rond de jet-groutstraal, wordt er via de bovenkant van de gedeeltelijk gerealiseerde groutkolom een grote verticale kracht uitgeoefend op het grondmassief dat zich bevindt boven de bovenkant van de in uitvoering zijnde groutkolom, zoals weergegeven in figuur 1.

Onder invloed van deze opwaarts gerichte druk kan de grond worden opgelicht en kunnen er zogenaamde claquages ontstaan. Dergelijke claquages zijn bv. duidelijk vastgesteld bij de proefkolommen die ten behoeve van de uitvoering van de sandwichwand op het voorplein van het Centraal Station zijn gerealiseerd en die tot een diepte van ca. 5m zijn vrijgegraven. Een voorbeeld van een dergelijke claquage is weergegeven op de foto 1.

Eerder hebben door Smet-Boring uitgevoerde

Samenvatting

Voor realiseren van een groutkolom is de continuïteit van de retourstroming van groot belang. Tijdens de uitvoering van een groutkolom kunnen aanzienlijke overdrukken in de groutkolom ontstaan, die voor heffing van de grond kunnen zorgen. De nodige over- en onderdruk wordt in een belangrijke mate bepaald door de diameter van de gerealiseerde kolom en de samenstelling- en eigenschappen van de ondergrond. Er is een verband tussen de gemeten overdrukken en de gerealiseerde kolomdia-

meter. Door het uitvoeren van drukmetingen is het mogelijk om inzicht te verkrijgen in de mogelijke anomalieën in de gerealiseerde kolomdiameter.

Door het uitvoeren van drukmetingen is het mogelijk om het luchtdebiet bij bi-jetmethode zodanig aan te passen dat er in de groutkolom geen drukken ontstaan die kleiner zijn dan de hydrostatische waterdruk. Drukken kleiner dan de hydrostatische waterdruk kunnen leiden tot zettingen.

Figuur 2

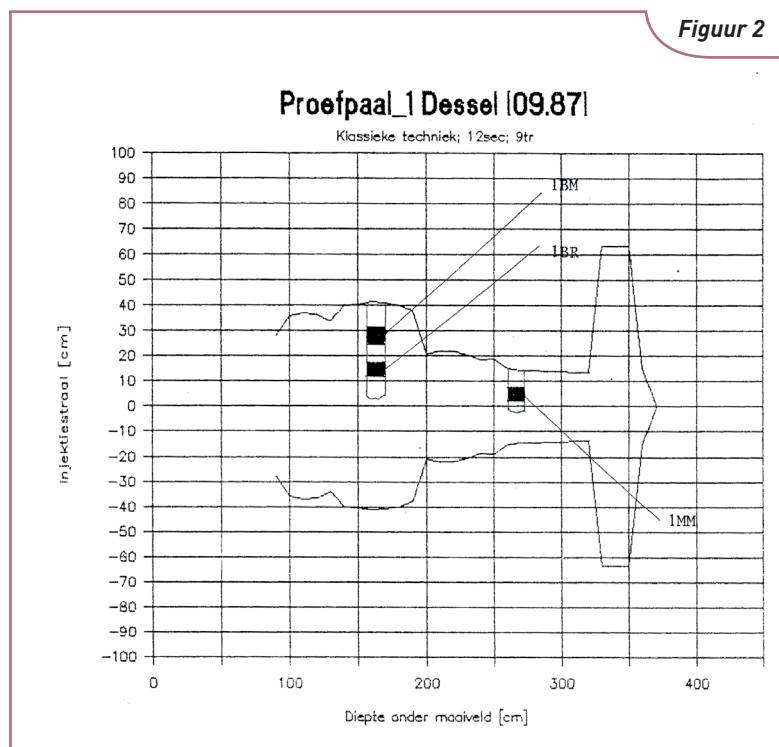


Foto 2



Foto 3



Foto 4

'80, samen met de KU Leuven is uitgevoerd, zijn in een zandige ondergrond te Dessel twee proefkolommen uitgevoerd waarbij de retourstroming moedwillig is onderbroken door zand op de uitstroomopening te gooien.

Bij de proefkolom, uitgevoerd volgens de mono-jetmethode, heeft het een vrij lange tijd geduurd vooraleer er retourspecie naar het grondoppervlak terugstroomt. De gerealiseerde kolom bestaat onderaan uit een schijf met een diameter die aanzienlijk groter is dan de normaal te verwachten kolomdiameter. Daarboven is een kolom gerealiseerd met een aanzienlijk kleinere diameter dan de normaal te verwachten diameter. De diameter van de kolom die gerealiseerd is, nadat de retourstroming weer regelmatig is geworden, stemt overeen met de normaal te verwachten diameter, cfr. figuur 2 en foto 2.

Bij de kolom, uitgevoerd volgens de bi-jetmethode, is het veel moeilijker om de retourstroming te onderbreken. De lucht zorgt immers voor een veel snellere drukopbouw. De gerealiseerde kolom vertoont wel een aanzienlijk kleinere dia-

meter over de hoogtes uitgevoerd in de periodes dat de retourstroming is onderbroken, cfr. foto 3.

In het bestek voorziene controles van de retourstroming

In het bestek is voorzien dat de retourstroming continu visueel dient te worden gecontroleerd en dat de retourstroming ook met een videocamera dient te worden geregistreerd. Het wegvallen of sterk afnemen van de retourstroming dient ook in het uitvoeringsprotocol te worden aangegeven.

Om de retourstroming zo goed mogelijk te kunnen controleren is ter plaatse van iedere kolom een voerbuis geplaatst die voorzien is van een V-vormige insnijding. De bedoeling daarvan is om ook informatie te verkrijgen betreffende een eventuele afname van het retourdebiet, cfr. foto 4.

De in het bestek voorziene controle van de retourstroming heeft alleen zeer veel videobanden opgeleverd. De bruikbare informatie is zeer beperkt.

proeven aangetoond dat het wegvallen van de retourstroming ook aanleiding geeft tot een sterke afname van de gerealiseerde kolomdiameter, dit zowel bij kolommen uitgevoerd met mono-jet als bi-jet.

In het kader van een onderzoek dat eind de jaren

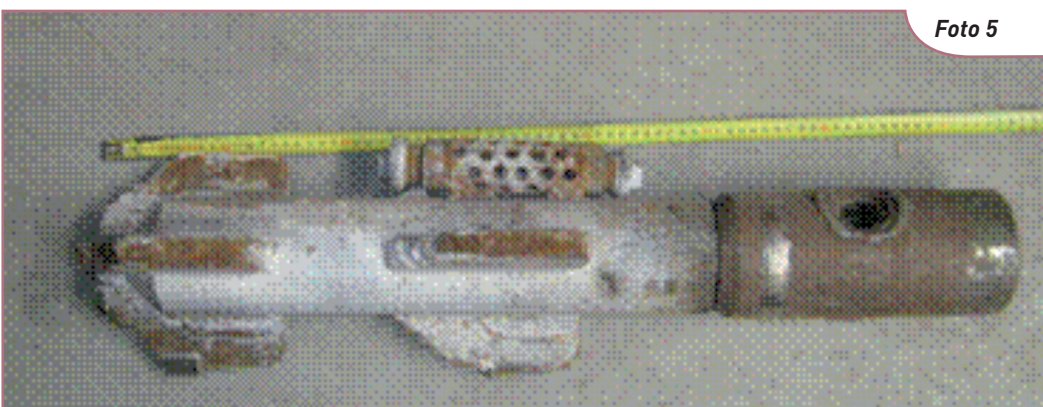


Foto 5

Het voordeel van deze methode voor het uitvoeren van de metingen is dat zeer betrouwbare gegevens worden verkregen. Het grote nadeel is dat de resultaten van de metingen niet online beschikbaar zijn omdat de Diver pas kan worden uitgelezen nadat de groutstangen volledig zijn opgehaald.

Uitvoering van de groutkolommen

Voor een gedetailleerde beschrijving van het ontwerp en de uitvoering van de sandwichwand, wordt verwezen naar de twee artikelen (zie referentie 5 en 6). Alle groutkolommen zijn uitgevoerd in opeenvolgende fasen waarbij telkens eerst is voorgesneden met een lichte groutspecie en vervolgens is nagesneden (gegrout) met een zwaardere specie.

De fasering is weergegeven in figuur 3, waar naast de fasering ook een typisch sondeerdiagram is opgenomen.

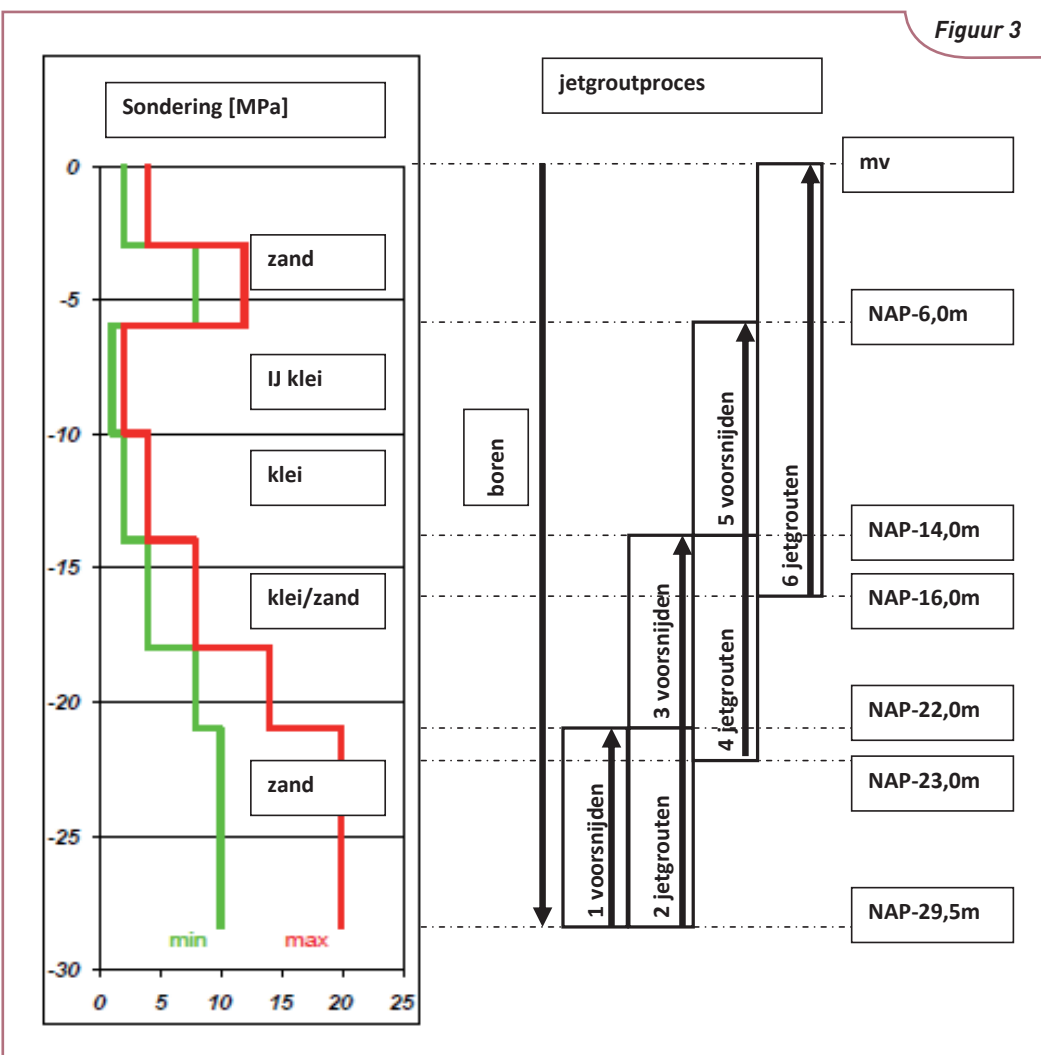
Overzicht van de uitgevoerde metingen

Na het gereed zijn van de ontwikkelde apparatuur zijn metingen uitgevoerd bij een groot aantal kolommen. Omdat alle metingen nagenoeg dezelfde resultaten geven, worden hier alleen de resultaten weergegeven van kolommen waarvoor ook nog andere meetgegevens beschikbaar zijn.

Randkolom 3030: uitgevoerd op 20 en 21-05-2008. Beoogde diameter 1000mm.

De resultaten van de drukmeting zijn weergegeven in figuur 4. Uit deze resultaten kan de volgende informatie worden afgeleid.

- Bij het boren tot ca. 30m diepte neemt de druk gelijkmatig toe van 10m waterkolom (= 1 bar of 1 atmosfeerdruk) tot ca. 50m waterkolom (= 5 bar = 500kN/m²). Deze toename kan in overeenstemming worden gebracht met een gemiddeld volumegewicht van 13,3kN/m³, hetgeen niet verwonderlijk, aangezien er geboord is met een cementspecie met een volumegewicht van 16kN/m³;
- Bij het voorsnijden tussen NAP -29,5m en NAP -22m blijft de druk vrij constant. Er is wel een belangrijke uitschieter tot 7,4m waterkolom bij het begin van het voorsnijden;
- Tijdens het grouten tussen NAP -29,5m en NAP -22m loop de druk op tot 70m waterkolom. Uitgaande van een volumegewicht van de groutspecie van ca. 16kN/m³ kan worden afgeleid dat de overdruk in de groutspecie tot ca.



Figuur 3

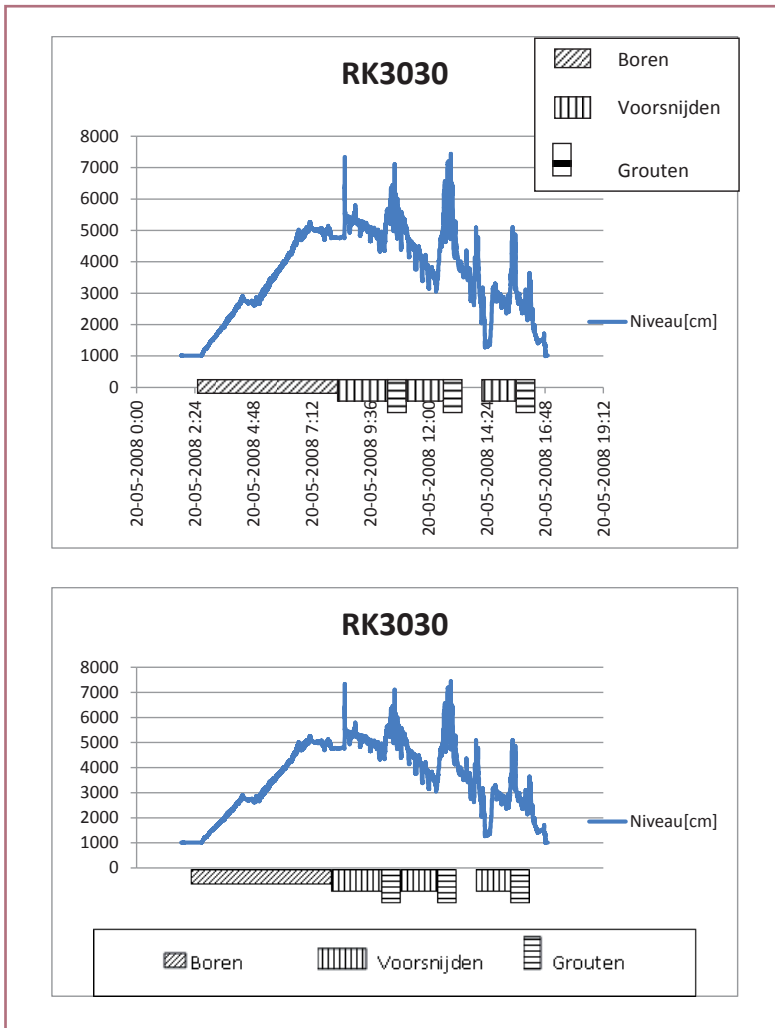
Doel en principe van de drukmetingen.

Het doel van de metingen bestaat erin om na te gaan of het mogelijk is om door middel van drukmetingen, juist onder de jet-groutstaal, na te gaan of de retourstroming naar het grondoppervlak op een regelmatige wijze plaatsvindt.

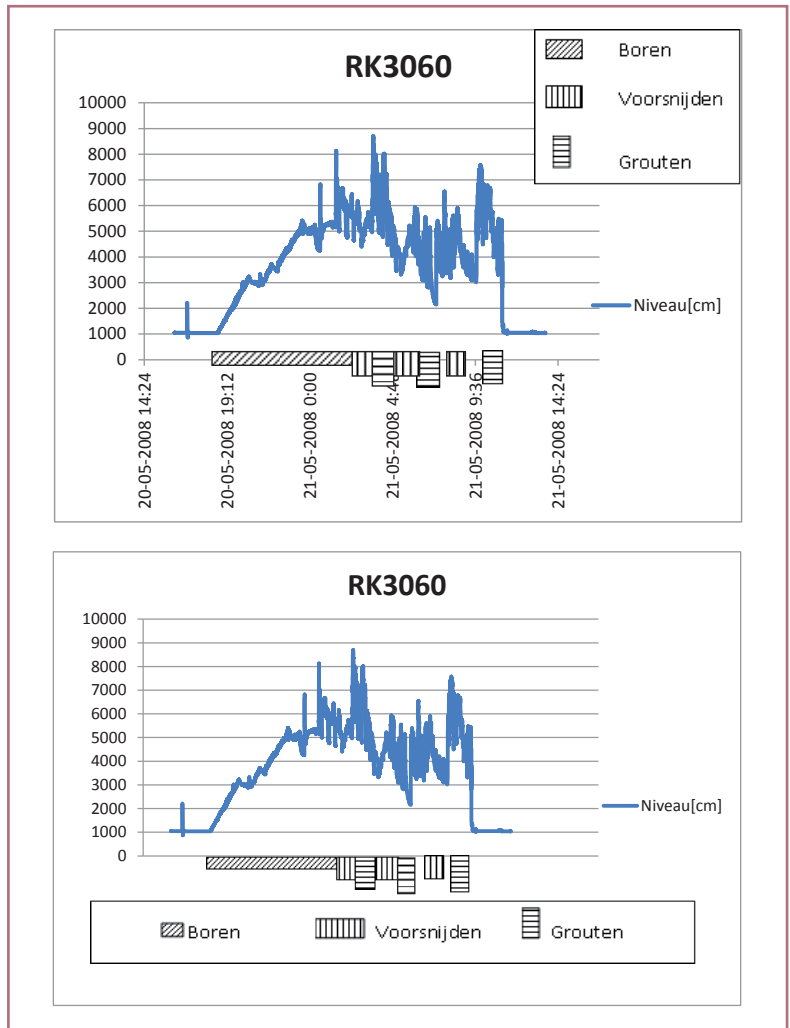
Omdat het technisch gezien nog altijd zeer

moelijk is om metingen uit te voeren op roterende boorstangen is ervoor geopteerd om juist boven de monitor (= jet-groutstraal) een zelfregistrerende drukopnemer (= Diver) aan te brengen. Deze drukopnemer is verpakt in een soepele PVC buis gevuld met olie en in een speciale houder vastgemaakt aan de groutstangen. De opstelling is weergegeven op foto 5.

Figuur 4



Figuur5



- 10m waterkolom moet hebben bedragen ten opzichte van de hydrostatische waterdruk;
- Bij het voorsnijden tussen NAP -22m en NAP -12m heeft er zich geen grote druktoename voorgedaan;
 - Tijdens het grouten tussen NAP -22m en NAP -12m is de druk opgelopen tot meer dan 70m waterkolom. Uitgaande van een volumegewicht van de groutspecie van 16kN/m³ kan worden afgeleid dat de overdruk in de groutspecie tot 30m waterkolom moet hebben bedragen;
 - Bij het voorsnijden tussen NAP -12m en NAP -6,1m heeft er zich geen grote druktoename voorgedaan;
 - Tijdens het grouten tussen NAP -13m en het werkvlak hebben zich enkele belangrijke druktoenames voorgedaan. Uitgaande van een volumegewicht van de groutspecie van 16kN/m³ kan worden afgeleid dat de overdruk in de groutspecie tot 20m waterkolom moet hebben bedragen.

Randkolom 3060: uitgevoerd op 21-05-2008. Beoogde diameter 1000mm.

De resultaten van de drukmeting zijn weergegeven in figuur 5. Uit deze resultaten kan de volgende informatie worden afgeleid.

- De resultaten van de drukmeting geven een gelijkwaardig beeld als deze van randkolom 3030. Dit betekent dat de overdruk zich vooral voordoet tijdens het grouten. De gemeten drukken zijn nog iets groter dan deze die tijdens de uitvoering van RK 3030 werden gemeten;
- Tijdens het nasnijden tussen NAP -16m en het werkvlak zijn drukken gemeten die wijzen op het bestaan van overdrukken tot 40m waterkolom.

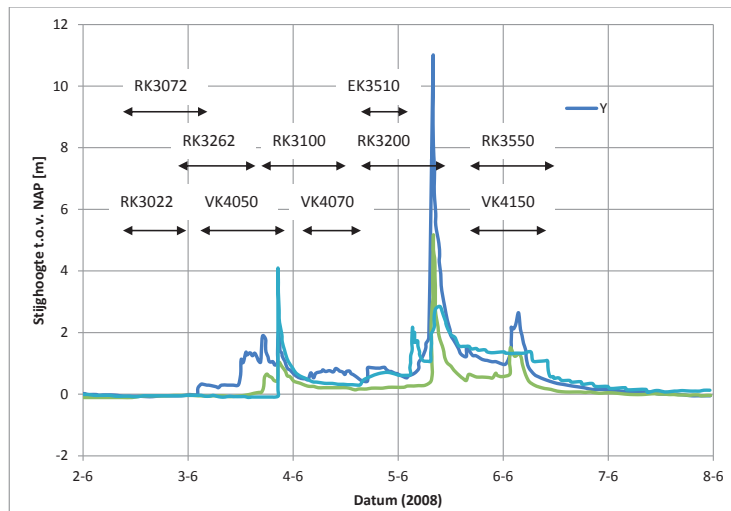
Het uitvoeren van de randkolommen 3030 en 3060 heeft geen aanleiding gegeven tot een be-

langrijke stijging van het waterpeil in de nabijgelegen peilbuizen Kort nadien heeft zich wel een belangrijke stijging van het waterpeil voorgedaan, zoals in figuur 6 te zien is. Bij de uitvoering van deze kolommen zijn jammer genoeg geen drukmetingen uitgevoerd. De oorzaak hiervan is grotendeels te verklaren door wegvallen of sterk afnemen van de retourstroom (verstopping boorgat).

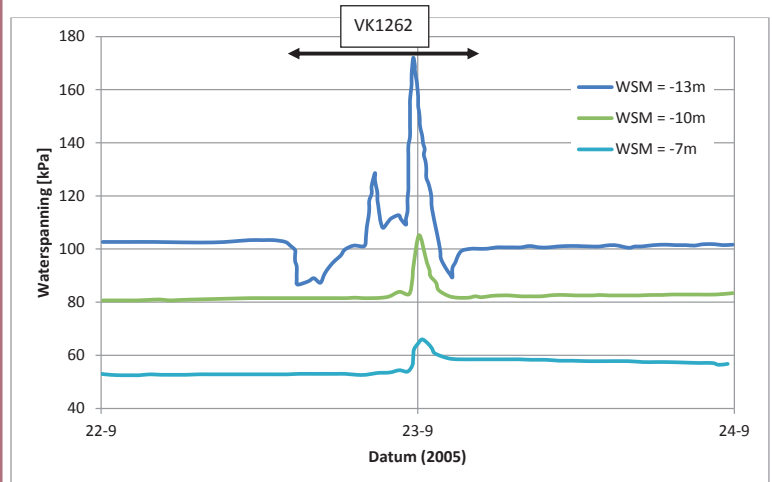
Metingen tijdens de uitvoering van vulkolommen

Tijdens de uitvoering van een aantal vulkolommen, waarbij de bi-jet (grout – lucht) methode is toegepast, zijn eveneens drukmetingen uitgevoerd. Deze drukmetingen geven systematisch aan dat tijdens het voorsnijden het equivalent volumegewicht (= gemeten druk / diepte) kleiner is dan het volumegewicht van de ingebrachte groutspecie en zeer dikwijls kleiner dan 10kN/m³, d.w.z. het volumegewicht van water. Tijdens het nasnijden met een zwaardere groutspecie

Figuur 6



Figuur 7



Figuur 8

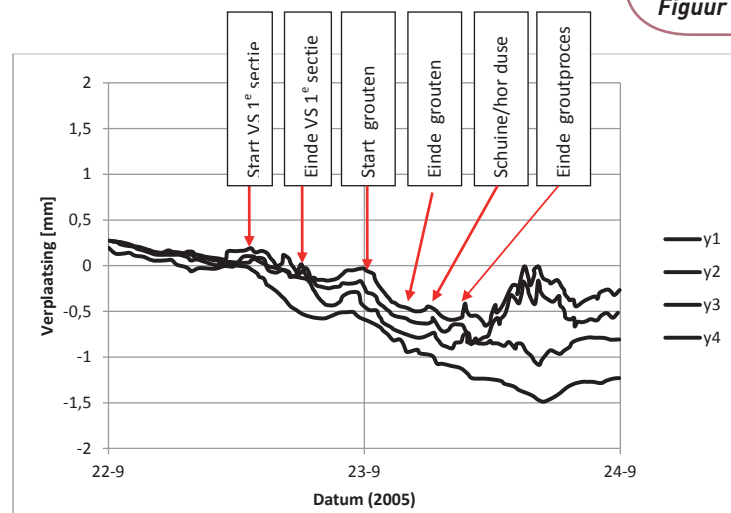


Foto 6



zijn wel altijd grotere drukken gemeten. Het equivalent volumegewicht is tijdens het nasnijden ook altijd groter dan 10 kN/m^3 . Dit is uiteraard een gevolg van het feit dat daarvoor een zwaardere groutspecie is aangewend.

De tijdens het voorsnijden opgemeten lage drukken kunnen verklaard worden door de impact van de luchtballen, die door de groutkolom naar het werkvlak stijgen en aldus zorgen voor een afname van het volumegewicht (= volume lucht) en voor een afname van de druk (opwaarts gerichte stromingsdruk van de lucht).

De in de omgeving uitgevoerde monitoring heeft aangegeven, dat tijdens het voorsnijden de in de groutkolom aanwezige onderdruk niet altijd aanleiding geeft tot zettingen. Alleen tijdens de uitvoering van VK 1262 werd met het in het sta-

tion geïnstalleerde waterbalanssysteem zettingen opgemeten. Tijdens de uitvoering van deze kolom is in de dichtst bijgelegen peilfilters eerst een daling en daarna een stijging van het waterpeil gemeten, cfr. figuur 7 en figuur 8.

Vaststellingen na het vrijgraven van het bovenste gedeelte van de groutkolommen

Een visuele inspectie van het bovenste gedeelte van de groutkolommen is mogelijk nadat de bouwput onder het CS tot ca. 6m diepte was ontgraven in den droge, cfr. foto 6.

Bij deze visuele inspectie zijn op enkele plaatsen belangrijke variaties van de diameter vastgesteld. Dat is onder meer het geval bij de Randkolommen 3030 (Foto 7) en 3060 (Foto 8). Deze variaties kunnen alleen maar verklaard worden door het wegvallen of sterk afnemen van de re-

tourstroom en deze zijn te relateren aan drukmetingen. Deze vaststellingen bevestigen dus het belang dat aan een degelijke controle van de retourstroming moet gehecht worden.

Bespreking van de resultaten van de uitgevoerde metingen

De resultaten van de uitgevoerde drukmetingen geven aan dat er tijdens de uitvoering van een groutkolom aanzienlijke overdrukken kunnen ontstaan in de groutkolom. De drukken, die tijdens de uitvoering van een aantal kolommen werden opgemeten, zijn van dien aard dat de oplichting van de grond die regelmatig wordt vastgesteld er gemakkelijk mee kan verklaard worden. De claquages zijn moeilijker vast te stellen aan een meting van hoge druk.

Meer metingen zijn nodig om na te gaan welke



Foto 7

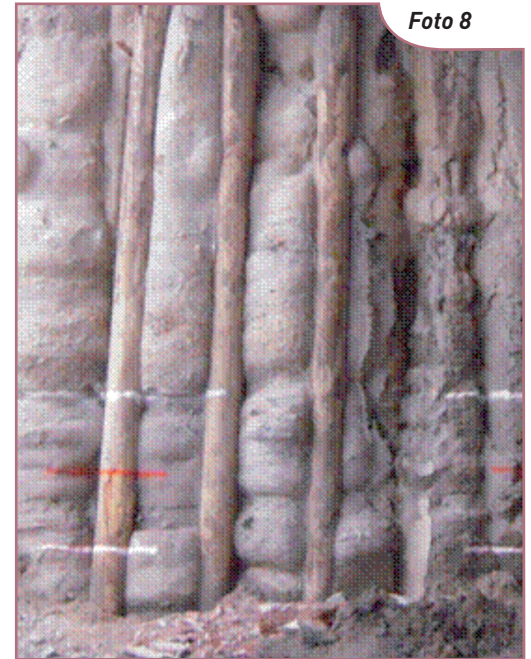


Foto 8

overdrukken er nodig zijn om oplichting van de grond te doen ontstaan. Het staat evenwel vast dat de nodige overdruk in een belangrijke mate bepaald wordt door de diameter van de gerealiseerde kolom en door de samenstelling en eigenschappen van de ondergrond.

Zoals in de vorige paragraaf is aangegeven is er een verband tussen de gemeten over- en onderdrukken en de gerealiseerde kolomdiameter. Door het uitvoeren van drukmetingen moet het dus mogelijk zijn om inzicht te verkrijgen betreffende de mogelijke anomalieën in de gerealiseerde kolomdiameter.

Tenslotte hebben de drukmetingen ook een beter inzicht gegeven betreffende de invloed van de bij de bi-jetmethode gebruikte lucht. Deze lucht zorgt immers voor een afname van het volumegewicht van de grout en voor opwaarts gerichte stromingsdrukken. Als gevolg daarvan kunnen zettingen ontstaan.

Door het uitvoeren van drukmetingen moet het zeker mogelijk zijn om het luchtdebiet zodanig aan te passen dat er in de groutkolom geen drukken ontstaan die kleiner zijn dan de hydro-

statische waterdruk.

De in Amsterdam uitgevoerde drukmetingen geven duidelijk aan dat dergelijke drukmetingen een belangrijke bijdrage kunnen leveren tot het optimaliseren van het luchtdebiet bij de bi-jetmethode en tot een meer doelgerichte controle door middel van kernboringen. Deze kunnen dan vooral worden uitgevoerd in de kolommen waarbij grote overdrukken werden gemeten.

Dankwoord

De drukmetingen worden uitgevoerd door Smet-Keller, o.l.v. Yves Sleuwaegen en Henk Dekker. Hun medewerking aan dit onderzoek wordt ten zeerste geapprecieerd.

Referenties

- [1] O.S. Langhorst, G.M. Kaptein, B.J. Admiraal, G.A. van Zwieten, 2012, "Jetgroutfundering viaduct A27 in de polderconstructie van folie te Amelisweerd", *Geotechniek*, april 2012, blz 22 - 27;
- [2] J.C.W.M. de Wit, P.J. Bogaards, O.S. Langhorst, B.J. Schat, R.D. Essler, J. Maertens, B.K.J. Obladen, C.F. Bosma, J.J. Sleuwaegen, H. Dekker, 2007, "Design and Construction

of a metrostation in A'dam, challenging the limits of jetgrouting", "Design and validation of validation of jetgrouting for the Central Station A'dam", 14th European Conference on Soil Mechanics, Madrid;

- [3] B.J. Schat, A. Bots, O.S. Langhorst, 2007, "Innovative retaining wall with jetgrout for new metrotunnel underneath Amsterdam Central Station", RECT te Toronto;
- [4] J.J. Sleuwaegen, H. Dekker, 2006, "Anwendung des Jetgrout Verfahrens unter dem Hauptbahnhof Amsterdam unter besonderen technischen und geologischen Randbedingungen", 13e Darmstädter Geotechnik Kolloquium, Grundbautag Technische Universität Darmstadt;
- [5] J.C.W.M. de Wit, P.J. Bogaards, O.S. Langhorst, B.J. Schat, R.D. Essler, J. Maertens, B.K.J. Obladen, C.F. Bosma, J.J. Sleuwaegen, H. Dekker, juli 2006, "Uitvoering van de sandwichwand onder Amsterdam Centraal Station", *Geotechniek*, nr 3, blz 28-33;
- [6] J.C.W.M. de Wit, P.J. Bogaards, O.S. Langhorst, B.J. Schat, R.D. Essler, J. Maertens, B.K.J. Obladen, C.F. Bosma, J.J. Sleuwaegen, H. Dekker, april 2006, "Ontwerp van de sandwichwand onder Amsterdam Centraal Station", *Geotechniek*, nr 2, blz 26-31;
- [7] J.M. van Esch, A.F. van Tol, H.R. Havinga, A.M.W. Duijvestijn, B.J. Schat, J.C.W.M. de Wit, 2005, "Functional analyses of jetgrout bodies base don Monte Carlo simulations", 11th Int. Conf. On Computer Methods and Advances in Geomechanics, Torino, Italy;
- [8] A.M.W. Duijvestijn en B.J. Schat, 2001, "Een kanaal onder het Centraal", *cement*, nr 3, blz 41-47.