

Eerste toepassing van de 'Observational Method' bij het ontwerp van een soilmixpalenwand in België

Samenvatting

Voor de bouw van zes torengebouwen op de Westkaai van het Kattendijkdok in Antwerpen is de *observational method* toegepast. Dit is een ontwerpmethodologie die uitgaat van een relatief optimistische benadering van grondparameters. Dankzij de methode is op deze werf enorm veel kennis opgedaan over de materiaal-kwaliteit van de C-mix®palenwand, de manier van ontwerpen en de aanname van grondparameters. De *observational method* bleek een goede manier om enerzijds met de meest waarschijnlijke grondparameters te ontwerpen, en anderzijds toch de nodige veiligheid te behouden dankzij een uitgebreekt monitoringprogramma en een vooraf vastgelegd actieplan indien bepaalde grenswaarden of triggercriteria overschreden zouden worden.

Inleiding

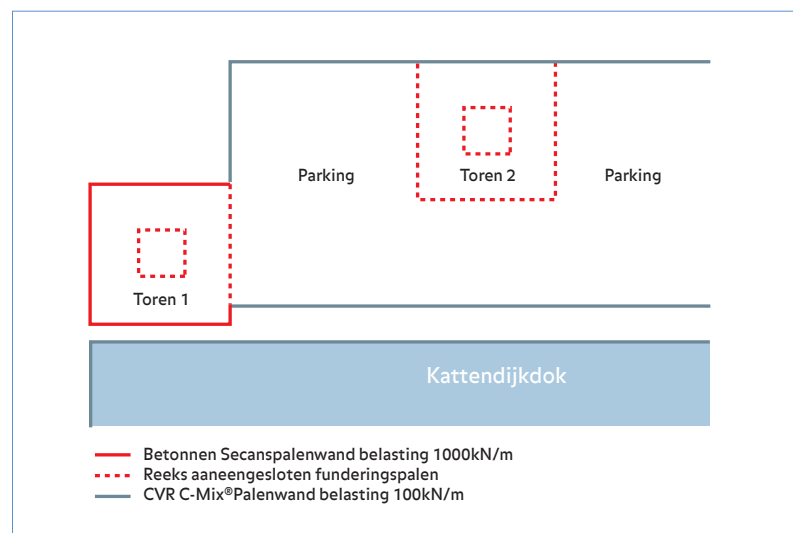
Op de Westkaai van het Kattendijkdok in Antwerpen worden 6 torengebouwen opgericht. In een eerste fase worden twee torens en een ondergrondse parking met twee ondergrondse niveau's gebouwd (figuur 1). Aan C.V.R. nv uit Beringen werd door hoofdaannemer MBG gevraagd om de volledige funderingswerkzaamheden uit te voeren. Dit hield de bouwputbeschoeiing met zijn verankering, de funderingspalen onder de torengebouwen en de trekpalen onder de parkings in. Een typische sondering die uitgevoerd werd op de desbetreffende site is gegeven in figuur 2.

Uit figuur 2 kan men afleiden dat de eerste 7 à 8 m in het algemeen uit aanvulmateriaal en zandhoudende leem- en/of kleilagen bestaat. Vanaf een diepte van 7 à 8 m vindt men een tertiaire glauconiethoudende zandlaag terug.

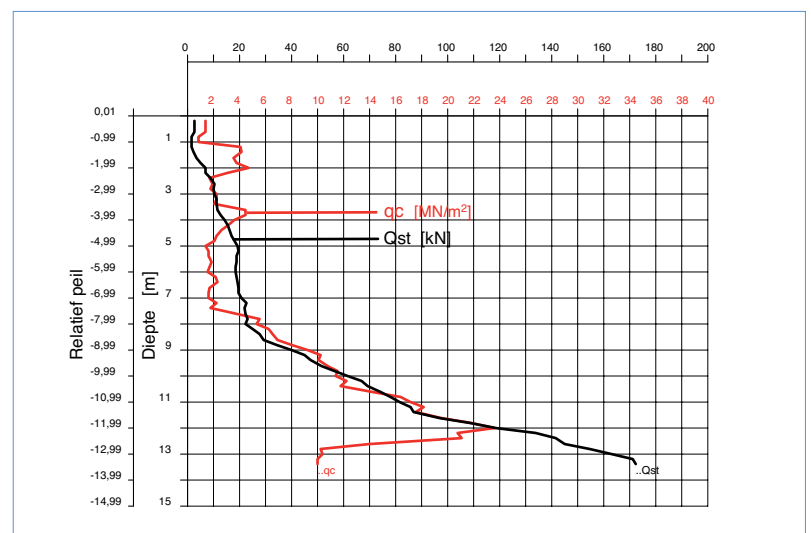
De bouwput diende gerealiseerd te worden op amper 10 m van het bestaande Kattendijkdok. Het maaiveld ligt op ongeveer +6,60 m TAW, het waterpeil van het Kattendijkdok bevindt zich op +4,25 m TAW. Er diende uitgegraven te worden tot -1,01 m TAW. Aangezien veel van de gebouwen in de buurt gefundeerd zijn op houten palen, was er buiten de bouwput maar

een kleine verlaging van de grondwatertafel toegestaan. Er werd gekozen voor een waterdichte secanspalenwand tot op niveau -11,00m TAW. Ter plaatse van de torengebouwen, heeft de palenwand, naast zijn tijdelijke grond- en waterkerende functie ook een permanent dragende functie. Ter plaatse van de ondergrondse parking heeft de wand een zeer geringe dragende functie en stelde C.V.R. voor om een C.V.R. C-mix®palenwand uit te voeren.

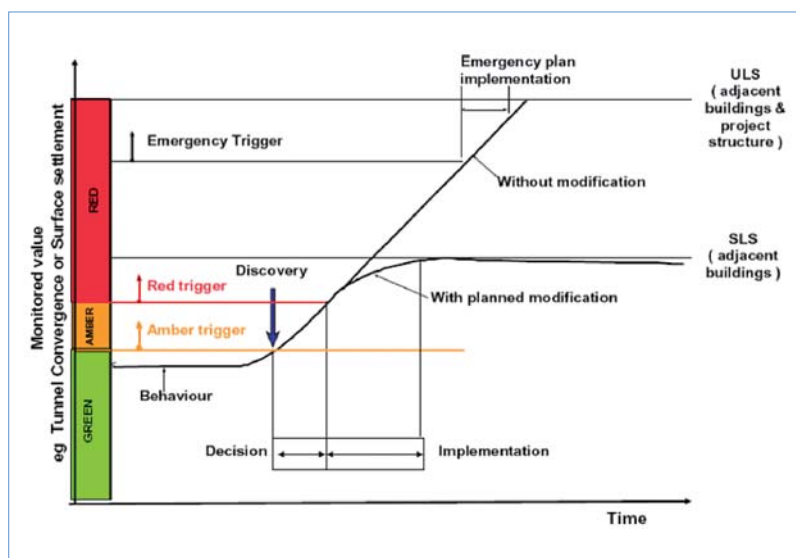
Omdat de in het bestek opgenomen grondparameters zeer conservatief waren stelde C.V.R. voor om de stabiliteitsberekeningen te



Figuur 1 Grondplan werf Westkaai.



Figuur 2 Typische sondering werf Westkaai.



Grondparameters per laag	LAAG 1			
	Bestek	Parameters CVR (initieel voorstel)	Grenzen groen-oranje	oranje-rood
γ_d in kN/m ³	16	16	16	16
γ_n in kN/m ³	18	18	18	18
φ_{in}^*	20	25	27	22,73
δ_{in}^*	13.33	16.67	18	15,15
c in kN/m ³	-	5	5	4,55
k in kN/m ³	1.000	3000	3.000	2.727

Tabel 1 Grondparameters project Westkaai

Figuur 3 Verkeerslichtensysteem Observational Method-principe. BRON: [4]

maken op basis van grondparameters die afwijken van het bestek. Deze grondparameters werden echter zowel door het raadgevend ingenieursbureau als door het controlebureau te optimistisch bevonden, met als gevolg dat het nieuwe ontwerp werd verworpen. In samenspraak met ir. Jan Maertens van het geotechnisch studiebureau Jan Maertens & Partners, stelde C.V.R. voor om de Observational Method (OM) toe te passen. Nadat C.V.R. in 2002 als eerste de soilmixing techniek toepaste als bouwputbeschoeiing, was deze ontwerpmethode alweer een primeur.

In samenwerking met Jan Maertens & Partners en met de ondersteuning van het WTCB, die in het kader van het project TIS-SFT [1] gedetailleerde toelichting gaf met betrekking tot de Observational Method, kon het raadgevend ingenieursbureau en het controlebureau overtuigd worden om C.V.R. met een meer optimistisch ontwerp verder te laten werken.

De toepassing van de OM was dus dé voorwaarde om de C.V.R. C-mix@palenwand en de meer optimistische grondparameters te mogen toepassen.

Observational Method

De observational method (OM) is een ontwerp-methode die toegestaan is in Eurocode7. De OM is een combinatie van ontwerp, uitvoering, monitoring en revisie. Deze ontwerpmethode kan gebruikt worden voorafgaand aan de werken (ab initio) of nadat er zich problemen voordeden (best way out). Meer informatie met betrekking tot de praktische toepassing van de Observational Method kan men terugvinden in [2, 3]

In tegenstelling tot een klassiek ontwerp waar men eerder vertrekt van relatief conservatieve grondparameters, volgt men bij de OM een meer optimistische benadering. Het ontwerp kan dan bvb. opgemaakt worden op basis van de 'meest waarschijnlijke' parameters:

- Er zijn echter een aantal voorwaarden waaraan voldaan moet worden voor het gebruik van de OM.
- Er moeten bepaalde grenzen aan het gedrag van de constructie gesteld worden;
- De verschillende manieren waarop de constructie of de onderdelen ervan zich gaan gedragen moeten bekeken worden. Er moet worden aangetoond dat de constructie zich waarschijnlijk zal gedragen binnen de gestelde grenzen;
- Een meetprogramma dient opgesteld te worden om na te gaan of de constructie zich binnen de grenzen gedraagt. De metingen moeten met voldoende korte intervals worden uitgevoerd. Het meetsysteem moet van die aard zijn dat het tijdig problemen meldt. Er moet immers altijd voldoende tijd zijn om actie te ondernemen;
- Er moeten op voorhand procedures vastgelegd worden voor de te ondernemen acties wanneer de grenzen overschreden worden. Deze acties moeten tijdig kunnen worden uitgevoerd;

Tijdens het uitvoeren van de werken moet de monitoring worden uitgevoerd zoals gepland. De resultaten van de monitoring moeten regelmatig worden geëvalueerd en actie moet ondernomen worden wanneer bepaalde grenswaarden, of triggercriteria, worden overschreden. Deze triggercriteria worden bepaald aan de hand van een verkeerslichtensysteem. In de groene zone gedraagt de constructie zich zoals voor-

speld. In de oranje zone is er verhoogde waakzaamheid; alles moet in gereedheid worden gebracht om actie te kunnen ondernemen wanneer de grens oranje-rood wordt overschreden. In de zone rood moet actie worden ondernomen om de stabiliteit van de constructie te garanderen. Na het uitvoeren van bijkomende stabiliteitswerken, moeten dan nieuwe grenzen worden vastgelegd. Het principe van dit verkeerslichtensysteem is gegeven in figuur 3.

Wanneer de uitvoering in verschillende fasen gebeurt, moeten er voor elke fase apart triggercriteria worden vastgelegd.

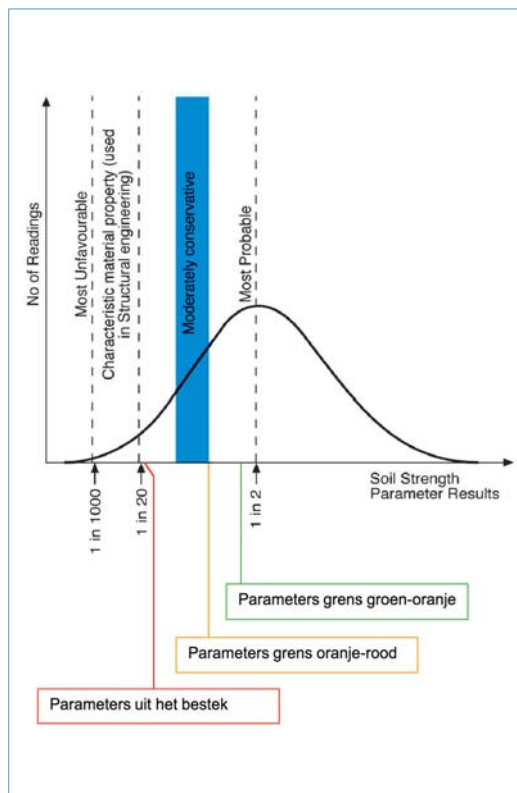
Implementatie van de Observational Method

Het aangepaste ontwerp

Op de werf werden een groot aantal sonderingen uitgevoerd. In de zone van de twee eerste torengebouwen waren zes sonderingen uitgevoerd. Deze sonderingen verschilden nogal van elkaar en daarom besloot C.V.R. om de werf in zes zones in te delen. Voor elke zone werd dus een apart ontwerp met MSheet 7.7 gemaakt.

De triggercriteria werden vastgelegd voor twee verschillende ontwerpen. De rek ten gevolge van de momentenlijn werd berekend met parameters die nog net iets gunstiger waren dan de door C.V.R. geschatte meest waarschijnlijke parameters. De grens oranje-rood werd berekend met conservatievere parameters. Dit principe wordt weergegeven in figuur 4. Ter illustratie zijn in tabel 1 de grondparameters van laag 1 gegeven die in rekening gebracht werden in één van de zes zones.

Bij minder goede grondparameters zouden de ankers overbelast worden vooraleer de wapening in de palenwand overbelast zou worden. Als noodmaatregel werd het boren van extra ankers voorzien. Hierdoor dalen de ankerkrachten per individueel anker. Bovendien zou het dan



Figuur 4 Gausscurve grondparameters

mogelijk zijn om grotere voorspankrachten aan te brengen op de ankers, met als gevolg dat het buigend moment gereduceerd zou worden.

Vastleggen triggercriteria

De volgende drie triggercriteria werden vastgelegd:

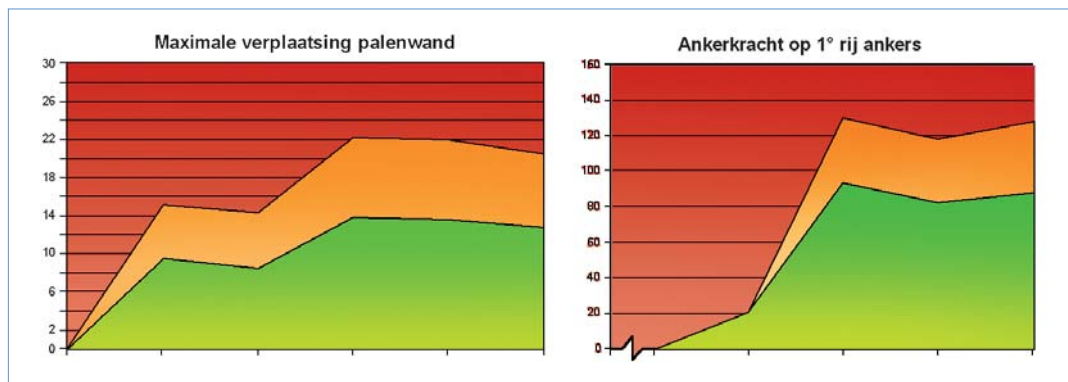
- verplaatsing van de palenwand wordt groter dan 50mm;
- ankerkrachten overschrijden de grens oranje-rood;
- maximaal toegelaten rek in het staal wordt overschreden.

In de onderstaande figuren 5 en 6 zijn de berekende verplaatsing en de ankerkrachten voor de grenzen groen-oranje en oranje-rood voor elke uitvoeringsfase weergegeven. Bij overschrijding van de grens oranje-rood dienden er – op kosten van C.V.R. – extra grondankers te worden geboord om de stabiliteit te vergroten.

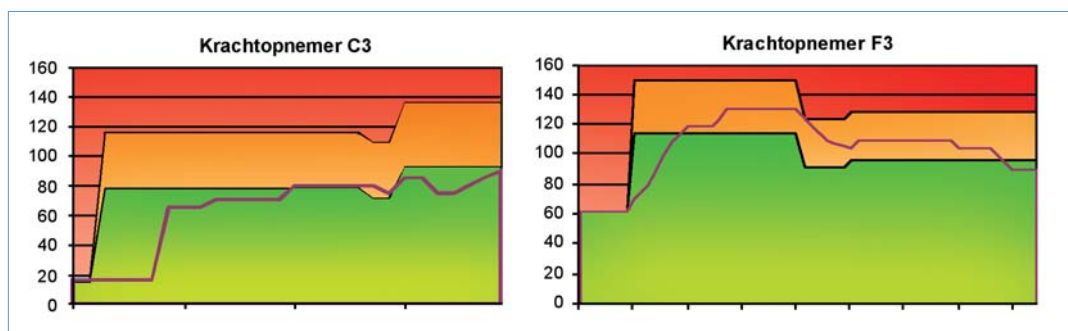
De meting van de triggercriteria diende te gebeuren met een systeem dat de volledige levensduur van de werf moest doorstaan. Dit was gezien de werfomstandigheden en het herfst en winterseizoen geen gemakkelijke opgave. Bovendien moesten de gevraagde gegevens snel en eenvoudig opvraagbaar zijn.

Opstellen meetprogramma

Ter controle van de triggercriteria werd het



Figuur 5 en 6 Verkeerslichtensysteem voor verplaatsing en ankerkrachten.



Figuur 7 en 8 Vergelijking van de opgemeten ankerkrachten met de berekende waarden.

volgende meetprogramma voorgesteld:

- inmeten van de palenwand na elke uitgravingsfase door een landmeter,
- dagelijks opmeten grondwaterstanden in de verschillende peilbuizen binnen en buiten de werf (ter controle van de randvoorwaarden),
- plaatsen krachtopnemers op verschillende ankers in elke van de zes verschillende zones. De aflezing van de reële ankerkrachten gebeurde dagelijks in de week na de uitgravingsfase. Daarna was de frequentie van het meten afhankelijk van de snelheid van waarmee de meetwaarden wijzigden. Er werd minstens één keer per week een meting uitgevoerd,
- meten van de rek in het staal in de wapeningsprofielen in de C.V.R. C-mix@palenwand met optische vezels. Deze waarden werden gemeten na elke uitgravingsfase en wanneer de ankerkrachten in de zone rood zouden gaan,
- uitvoeren kernboringen op soilmix ten behoeve van druk- en E-modulusproeven. Dit was nodig om nog tijdens de uitvoering de aangenomen eigenschappen van de gemixte grond te kunnen controleren.

Toetsing metingen aan de hand van het verkeerslichtensysteem

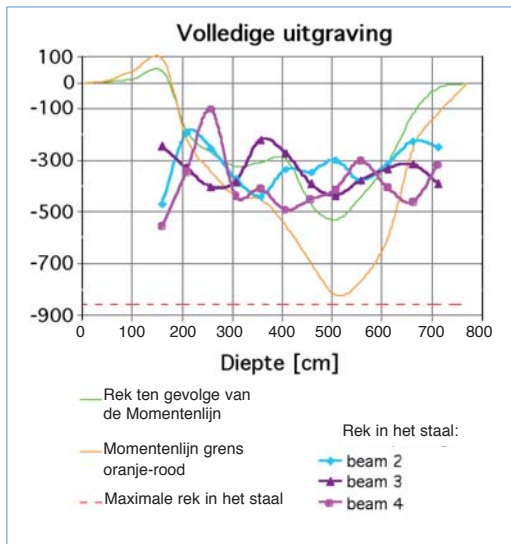
Nog tijdens het verloop van de werf werden de gevraagde druk en E-modulusproeven uitgevoerd door een extern laboratorium. Hierbij is

gebleken dat de gemiddelde druksterkte (12.8 MPa) en de E-modulus (± 7000 MPa) groter waren dan vooraf werd ingeschat.

De opmetingen van de landmeter toonden aan dat de verplaatsingen van de wand onder de 50mm bleven. Het verschil tussen de grenzen groen-oranje en oranje-rood was echter kleiner dan de nauwkeurigheid van de metingen. Daarom was het irrelevant om de opgemeten waarden te vergelijken met de berekende. De verplaatsing van de wand lag in de grootteorde van de berekende waarden.

De ankers waren in het ontwerp van C.V.R. kritisch voor de stabiliteit. Daarom werden deze, als extra veiligheid gedimensioneerd op hun maximaal toelaatbare trekkracht en niet op de grens oranje-rood. Enkele voorbeelden van het verloop van de ankerkrachten zijn grafisch weergegeven in de figuren 7 en 8. De grafieken tonen aan dat de ankerkrachten net iets groter zijn dan de berekende. Omdat de ankerkracht zich in de oranje zone bevond, werden deze quasi dagelijks opgemeten. De zone rood is echter nooit bereikt; er dienden bijgevolg geen bijkomende ankers geboord te worden.

Een aantal stalen profielen werden geïnstrumenteerd met optische vezels. Op de flenzen van



Figuur 9 Vergelijking staalrekken met berekende waarden

deze profielen heeft de firma FOS&S een optische vezel met telkens dertien meetpunten aangebracht. In twaalf meetpunten werd de staalvorming (rek) gemeten, in één meetpunt de temperatuur.

Op voorhand werd er berekend dat de rek in het profiel maximaal iets meer dan 800µstrain zou bedragen. De metingen hebben echter aangetoond dat de maximale waarden kleiner waren. Verder was het interessant om te zien dat het rekverloop vrij goed overeen kwam met de berekende momentenlijn

Dit dient wel enigszins genuanceerd te worden: Zo zijn de referentie momentenlijnen uit M-sheet in *figuur 9* omgerekend naar een rekverloop. De opgemeten waarden zijn hierbij echter de rekken ten gevolge van het buigende moment, maar ook t.g.v. de neerwaartse en de dwarskracht van de ankers. Bovendien dient men hierbij op te merken dat de reële positie van een profiel in een soilmixkolom afwijkt van de theoretische positie.

Conclusies

De werf 'Westkaai' is dankzij de Observational Method voor C.V.R. een zeer leerrijke werf geweest. Er werd op deze werf enorm veel kennis opgedaan over de materiaalkwaliteit van de C.V.R. C-mix® palenwand, de manier van ontwerpen, de aanname van grondparameters enz. *Figuur 10* geeft een beeld van de werf na volledige uitgraving.

De OM is dus een ideale manier om enerzijds met de meest waarschijnlijke grondparameters te ontwerpen, en anderzijds toch de nodige veiligheid te behouden dankzij een uitgewerkt moni-



Figuur 10 Vergelijking staalrekken met berekende waarden.

toringprogramma en een vooraf vastgelegd actieplan indien bepaalde grenswaarden of triggercriteria overschreden zouden worden. Het grootste voordeel voor C.V.R. op deze specifieke site was echter dat de C.V.R. C-mix® palenwand mocht toegepast worden dankzij de OM.

Hierbij dient toch de volgende kanttekening geplaatst te worden. De administratie, de voorbereidingen en het extra rekenwerk dat komt kijken bij de OM werd aanzienlijk onderschat. Voor elk van de zes zones dienden er drie ontwerpen met telkens verschillende parameters gemaakt te worden. Verder moesten er tijdens de werkzaamheden extra berekeningen gemaakt worden als gevolg van grote schommelingen in de grondwaterstanden. Het verzamelen en overzichtelijk weergeven van alle meetgegevens vroeg aanzienlijk meer inspanningen dan vooraf gedacht. Bijgevolg zal C.V.R. de OM dus enkel toepassen op de grotere projecten, omdat enkel hier de kostenbesparingen op materiaal opwegen tegen de extra administratieve taken.

Als slotconclusie kan er gesteld worden dat de OM C.V.R. enorm geholpen heeft om een beter inzicht te krijgen in het gedrag van de CVR C-mix® palenwand. Bovendien heeft deze werf CVR gestimuleerd om hun pioniersrol verder te zetten en verder te investeren in de CVR TWIN-

MIX® en TRIPLE C-MIX® systemen. Deze laatste is vanaf eind oktober 2008 operationeel.

Tenslotte dient er nog op gewezen te worden dat de realisatie van dit project verricht werd met steun van het Onderzoekscmité van het Grondfonds.

Referenties

- [1] WTCB 2006-2008, *Thematische Innovatiestimulering - Speciale FunderingsTechnieken, TIS-SFT, Project gesubsidieerd door het IWT, project nr. 050586. Info beschikbaar op www.tis-sft.wtcb.be.*
- [2] GeoTechNet Project GTC2-2000-33033, *WP3: Innovative Design Tools in Geotechnics - Observational Method and Finite Element Method, editor N. Huybrechts, BBRI. Report available on www.geotechnet.org.*
- [3] Patel D., Nicholson, D., Huybrechts, N. & Maertens, J. 2007 *The observational method in geotechnics, Proceedings of the XIVth ECSMGE, Madrid 2007.*
- [4] Nicholson, D., Tse, C. & Penny, C., 1999 *The observational method in ground engineering - principles and applications. Report 185, CIRIA, London. ■*