

Handreiking Observational Method

Aansprakelijkheid

SBRCURnet en degenen die aan dit product hebben meegewerkt, hebben een zo groot mogelijke zorgvuldigheid betracht bij het samenstellen van deze publicatie. Toch kan niet worden uitgesloten dat de inhoud onjuistheden bevat. De gebruiker van dit product aanvaardt daarvoor het risico. SBRCURnet sluit, mede ten behoeve van de auteurs, iedere aansprakelijkheid uit voor schade die mocht voortvloeien uit het gebruik van informatie uit dit product.

© *SBRCURnet*

Alle rechten voorbehouden. Niets van deze uitgave mag worden verveelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand, getransformeerd tot software of openbaar gemaakt, in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, door fotokopieën, opname of enige andere manier, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de uitgever.

Voorzover het maken van kopieën uit deze uitgave is toegestaan op grond van artikel 16b Auteurswet 1912 in verbinding met het Besluit van 23 augustus 1985, Stb. 471 en artikel 17 Auteurswet 1912, dient men de daarvoor wettelijk verschuldigde vergoedingen te voldoen aan de Stichting Reprorecht (Postbus 882, 1180 AW Amstelveen). Voor het overnemen van gedeelte(n) uit deze uitgave in bloemlezingen, readers en andere compilatiewerken (artikel 16 Auteurswet 1912) dient u zich te richten tot: SBRCURnet, Postbus 1819, 3000 BV Rotterdam.

No part of this book may be reproduced in any form by print, photoprint, microfilm, stored in a database or retrieval system, or any other means without written permission from the SBRCURnet.

Colofon

SBRCURnet-projectmanager

Fred Jonker

Vormgeving

SBRCURnet

Fotoverantwoording

Omslag: Tunnel A2 Maastricht

Foto: Deltares

Delft, april 2015

Artikelnummer: 679.15

Handreiking Observational Method

Delft, 9 april 2015

Inhoud

Samenvatting 7

Summary 9

Voorwoord 11

1 Inleiding 13

1.1 Geolimpuls 13

1.2 Waarom een handreiking over de Observational Method? 13

1.3 1.3 De Observational Method binnen besta- ande kaders en trends 13

1.4 Definitie van de Observational Method 14

1.5 1.5 Hoe ziet een project met toepassing van de Observational Method er uit? 14

1.5.1 Ontwerp 15

1.5.2 Uitvoering 15

1.6 Veel gebruikte toepassingen van de Observational Method 16

2 Toepassing van de Observational Method in projecten: kansen en bedreigingen 17

2.1 2.1 Analyse van case histories 17

2.2 2.2 Kansen 17

2.2.1 Meerdere fasen of onderdelen in een project 17

2.2.2 Korte projectduur in combinatie met gunstig korte termijn gedrag van de bodem 17

2.2.3 Vervormingen als leidende ontwerpvoorwaarde 17

2.2.4 Directe relatie tussen meetgrootte en ontwerp voorwaarde 18

2.2.5 Geïntegreerde verantwoordelijkheid voor zowel ontwerp als uitvoering 18

2.2.6 Flexibele en op risico gebaseerde (bouw)cultuur 18

2.2.7 Communicatie tussen de bouwplaats en het ontwerpbureau 18

2.2.8 Grote heterogeniteit van de ondergrond en of onze- kerheid in faalmechanisme 19

2.2.9 Aanwezigheid van risico's met een kleine, maar onaanvaardbare 'a priori' kans van optreden en significante gevolgen 19

2.2.10 Goede communicatie met belanghebbenden 19

2.2.11 Noodoplossing 19

2.3 Bedreigingen 20

2.3.1 Te weinig tijd tussen de metingen en maatregelen en/ of snel veranderende belastingen. 20

2.3.2 Metingen die falen veroorzaken 20

2.3.3 Faalmechanisme / parameter kan niet worden gemeten 20

2.3.4 Verandering van faalmechanisme tijdens de bouw 20

2.3.5 Kosten voor wijzigingen tijdens de bouw zijn hoger dan de winst minus de kosten voor monitoring 20

2.3.6 Terughoudendheid bij vergunningverleners. 21

2.3.7 Beperkingen in tijd. 21

2.3.8 'Inverse modellering' met huidige berekenings- methoden en tools is niet altijd mogelijk. 21

2.4 Samenvatting 21

3 Ontwerpen met de Observational Method 23

3.1 Stappenplan 23

3.2 Aansluiting bij NEN-EN 1997-1 (Eurocode 7) 23

3.2.1 Veiligheidsfilosofie traditionele EC7-aanpak 23

3.2.2 Veiligheidsfilosofie Observational Method 24

3.3 Toepassen van de Observational Method in projecten 26

3.3.1 Onderdelen van een ontwerp met behulp van de Observational Method 26

3.3.2 Meten van het geotechnisch gedrag 26

3.3.3 Aandachtspunten bij toepassen van de Observational Method 26

4 Projectuitvoering met de Observational Method 28

4.1 Rollen en taken 28

4.2 Communicatie tussen ontwerp, werkvoorbereiding en uitvoering 29

4.3 Gebruik van monitoring 29

4.4 Enkele voorbeelden uit case studies 29

5 Literatuur 30

**A Observational Method in NEN-EN 1997-1
(Eurocode 7) 33**

B Cases 35

B.1 Overzicht in tabelvorm 35
B.2 Aanvoerweg voor zware modules in Afrika 35

B.2.1 Hoe de Observational Method is toegepast 35

B.2.2 Wat de Observational Method opleverde 35

B.2.3 Belangrijkste lessen 35

**B.3 Voorbelasting Uitbreiding Begraafplaats
Hardinxveld-Giessendam 36**

B.3.1 Hoe de Observational Method is toegepast 36

B.3.2 Wat de Observational Method opleverde 36

B.3.3 Belangrijkste lessen 36

B.4 Tankput 6 te Vlissingen 37

B.4.1 Hoe de Observational Method is toegepast 37

 B.4.2 Wat de toepassing van de Observational Method
heeft opgeleverd 37

B.4.3 Belangrijke lessen 37

B.5 Betuweroute 38

B.5.1 Hoe de Observational Method is toegepast 38

B.5.2 Wat de Observational Method heeft opgeleverd 38

B.5.3 Belangrijke lessen 38

B.6 Tramtunnel Den Haag 39

B.6.1 Hoe de Observational Method is toegepast 39

B.6.2 Wat de Observational Method heeft opgeleverd 39

B.6.3 Belangrijke lessen 39

**B.7 Trillingshinder bij een computercentrum nabij
de HSL Tunnel Rotterdam Noordrand 40**

B.7.1 Hoe de Observational Method is toegepast 40

B.7.2 Wat de Observational Method opleverde 40

B.7.3 Belangrijkste lessen 40

B.8 Observational Method, Case A2 Maastricht 41
B.9 Real-time insight in geotechnical risks 47

Samenvatting

De Observational Method is een ontwerpmethodiek waarbij in de aanlegfase van een project nog aanpassingen kunnen worden doorgevoerd in het uitvoeringsontwerp. De methode kan worden toegepast om op een rationele manier om te gaan met onzekerheden ten aanzien van geotechnische uitgangspunten en modellen.

Bij de traditionele aanpak ligt het ontwerp al voor de start van de uitvoering vast aan de hand van volledig gekwantificeerde geotechnische omstandigheden en het berekende constructiegedrag. Dit betekent normaal gesproken dat het ontwerp wordt gebaseerd op veilige en enigszins conservatieve aannames op basis van de informatie die voor aanvang van het project beschikbaar is. Bij toepassing van de Observational Method wordt niet uitgegaan van deze vooraf gemaakte conservatieve aannames, maar wordt uitgegaan van scenario's en kan met de uitvoering worden gestart met een gekozen, haalbaar geacht economisch scenario.

Door monitoring tijdens de uitvoeringsfase wordt relevante informatie verkregen over de geldigheid van de gehanteerde geotechnische uitgangspunten van dit aanvangsscenario. Daarmee kan het grond- en constructiegedrag worden geëvalueerd tijdens de uitvoeringsfase. De ingewonnen informatie bepaalt of er een schakelmoment moet worden ingelast; daarbij wordt dan overgeschakeld van het aanvangsscenario naar een meer conservatief of een meer optimistisch scenario. Dit schakelen is een essentieel onderdeel van de Observational Method en het bijbehorende werkplan is feitelijk onderdeel van het ontwerp. Het moet voor aanvang van de werkzaamheden duidelijk zijn wanneer en hoe er wordt geschakeld: de maatregelen moeten dus al voor de start van de uitvoering zijn ontworpen en direct inzetbaar zijn op het noodzakelijke tijdstip. Binnen deze context is het daarom uitermate belangrijk om goede afspraken over rolverdeling en communicatie te maken. Alleen op die manier kan een ontwerp met OM ook veilig worden uitgevoerd.

Toepassing van de Observational Method heeft veel voordelen en sluit aan bij trends in de huidige bouwpraktijk. De Observational Method betekent:

- Een ontwerp kan minder conservatief zijn. Wel moet de winst van dit scherpere ontwerp opwegen tegen de extra kosten van het uitgebreidere ontwerp en de metingen tijdens de uitvoering.
- Er wordt veilig ontworpen en gebouwd omdat de toepassing van de Observational Method expliciet risicomanagement vereist. Faal-scenario's en tegenmaatregelen worden tevoren doorgerekend.
- De Observational Method past naadloos in de trend om (geo)risicomanagement standaard toe te passen in infrastructurele projecten.

- Door de uitgebreide metingen wordt het gedrag van de constructie goed in kaart gebracht. Dit helpt om te verifiëren of datgene wat is gebouwd voldoet aan de eisen die zijn gesteld.
- De Observational Method dwingt een goede samenwerking af tussen ontwerp en uitvoering. Hierdoor kan een goede overdracht van kennis en keuzes met betrekking tot risico's van ontwerp naar uitvoering plaatsvinden.
- De uitgebreide monitoring kan uitstekend gebruikt worden om te visualiseren welke effecten een project heeft voor de omgeving en is daarmee een goed communicatie instrument.
- Bij toepassing van de Observational Method wordt veel gemeten. Bundeling van deze metingen leidt tot vergroting van kennis over gedrag van grond en de interactie met constructies en tot een continu lerende organisatie.

Summary

The Observational Method (OM) is a design methodology that enables the implementation of modifications during the construction phase of a project, modifications that can be made in the execution design. The method can be applied in a rational way to deal with uncertainties with respect to geotechnical principles and models. In the traditional approach the design is already fully completed at the start of the construction, by means of fully quantified geotechnical conditions and the calculated structural behavior. This normally means that the design is based upon safe and somewhat conservative assumptions, based upon information that is available prior to the start of the project. Application of the Observational Method does not emanate from pre-made conservative assumptions, but is based on scenarios and can be started with the implementation of a selected deemed feasible economic scenario.

Monitoring during execution provides relevant information about the validity of the applied geotechnical principles of this initial scenario. Thus the behavior of soil and structure can be evaluated during the construction phase. The information collected determines whether a switching moment should be inserted there; the change is then made from the initial scenario to a more conservative or a more optimistic scenario. This switch is an essential part of the Observational Method and its working plan is actually part of the design. It should be clear before the start of the work when and how this switch is made.

The measures should therefore be drawn up before the start of the construction and be applicable on the right moment. Within this context, it is therefore extremely important to make clear agreements about roles and communication. Only in this way can a design with OM also be performed safely.

Application of Observational Method has many advantages and is consistent with trends actual trends in building industry. The Observational Method means:

- A design can be less conservative. The profits of this more sophisticated design should outweigh the extra cost of extensive design and measurements during the execution.
- The Observational Method enables safe design and construction because it requires risk management explicitly. Failure scenarios and countermeasures are calculated in advance.
- The Observational Method fits seamlessly into the trend to apply geotechnical risk management in infrastructural projects.
- The behavior of the structure is well mapped by the extensive measurements. This helps to verify whether the built object satisfies the requirements.

- The Observational Method enforces good cooperation between design and construction. This allows a good transfer of knowledge and choices with respect to risks.
- The extensive monitoring is very suitable as a basis for the visualisation of the effects of a project for the environment. Therefore monitoring is a good communication instrument.
- The use of the Observational Method implies a lot of measurements. Combining these measurements leads to an increase in knowledge about soil behavior and interaction with structures and a continuous learning organization.

Voorwoord

In het kader van Geo-Impuls is een handreiking opgesteld door een werkgroep met brede vertegenwoordiging uit de bouwwereld; opdrachtgevers, adviesbureaus, kennisinstituten, en aannemers. De handreiking is bedoeld om de partijen bij het bouwproces te informeren over de mogelijkheden van de Observational Method, plus daarbij best practices te delen en aanwijzingen te geven over hoe de Observational Method in de bestaande context van regelgeving en praktijk kan worden toegepast.

De werkgroep spreekt de hoop uit dat deze publicatie zal bijdragen aan vernieuwing in het bouwproces en het terugdringen van de faalkosten in de bouw. Eindgebruikers en externe stakeholders kunnen met de informatie in deze handreiking onderbouwde keuzes maken bij de inzet van de methode. Ingenieurs bij zowel adviesbureaus als aannemers beschikken met deze handreiking over de handvatten om een goed ontwerp te maken. Ook staat benoemd in welke situaties de toepassing van de Observational Method voordeel biedt, zodat de ingenieurs dit kunnen gebruiken bij overleggen met opdrachtgevers of hun managers. Vergunningsverleners kunnen via deze handreiking kennis nemen van de veiligheidsfilosofie die aan de Observational Method ten grondslag ligt en van de eisen die aan een goed ontwerp worden gesteld.

In de driehoek opdrachtgever-adviseur-aannemer worden eisen gesteld aan het niveau van samenwerking en de invulling van de rollen en taken bij toepassing van de Observational Method. Ter illustratie van de aanpak is in deze publicatie een aantal cases opgenomen. Hieruit blijkt dat de aanpak zowel voor grootschalige als relatief kleine projecten tot voordeel kan leiden.

De werkgroep had bij het verschijnen van de handreiking de volgende samenstelling:

Thomas Bles	Deltares
Erwin de Jong	Geobest B.V.
Ruud Stoevelaar	Deltares
Elisabet Alink	Fugro GeoServices B.V.
Cees Buijs	Gemeente Rotterdam
Jan van Dalen	Strukton
Steven Delfgaauw	Witteveen+Bos
Theo Feenstra	Tauw
Rinus de Heus	Ingenieursbureau Amsterdam
Renger van de Kamp	Arcadis
Martin de Kant	Royal Haskoning DHV
Maarten Korevaar	Volker InfraDesign B.V.
Arend Kremer	Prorail
Paul Litjens	Rijkswaterstaat
Milcar Vijlbrief	BAM Infraconsult

In de loop van 5 jaren zijn waardevolle bijdragen geleverd door:

Saïd Azzouzi	Arcadis
Klaas Jan Bakker	WAD43 / TU Delft
Stefan Buykx	Witteveen+Bos
Jan Jaap Heerema	Rijkswaterstaat
Annemarij Kooistra	Ingenieursbureau Amsterdam
Mandy Korff	Deltares
Jessica Oudhof	Ballast Nedam Engineering B.V.
Paul Rebel	Ingenieursbureau Amsterdam
Kristina Reinders	Fugro GeoServices B.V.
Rogier Schippers	Volker InfraDesign B.V.
Rens Servais	Strukton

Inleiding

1.1 Geolimpuls

Geotechniek richt zich op het bouwen met, in en op de grond, waarbij vooral de sterkte-eigenschappen van die grond maatgevend zijn voor de inspanningen die verricht moeten worden om daarbij veilig te werk te gaan. Geotechniek is een vakgebied waarin het omgaan met onzekerheden voorop staat. Bekende uitspraken op dit gebied zijn “we kunnen lichtjaren ver omhoog kijken, maar nog geen meter in de grond” of “de onzekerheden bij het ontwerpen met grond zijn 3 x groter dan bij het ontwerpen met beton en zelfs 10 x groter dan bij het ontwerpen met staal”. Niet verwonderlijk derhalve dat Geotechniek een vakgebied is dat is omgeven met enige mystiek, maar het wordt ook geassocieerd met falen en alle bijkomende gevolgen in termen van tijd, geld, kwaliteit en imago.

Het Geo-Impuls programma is erop gericht dit falen met 50% te reduceren. Een van de speerpunten binnen het sector brede programma is het toepassen van de Observational Method. Deze handreiking is het resultaat van de studie die binnen de werkgroep ‘Observational Method’ in het kader van Geo-Impuls is uitgevoerd.

1.2 Waarom een handreiking over de Observational Method?

Bij het ontwerpen van Geotechnische constructies waarbij gebruik gemaakt wordt van de Observational Method wordt afgeweken van wat in normen wordt omschreven als de standaard ontwerppraktijk. Gezien de onzekerheden bij het bepalen van de eigenschappen van grond is het namelijk zo dat, los van de partiële veiligheidsnormen voorschrijven voor materiaaleigenschappen en modelnauwkeurigheden, aanvullende statistische bewerkingen van proefresultaten leiden tot “veilige” ontwerpparameters.

Deze veilige ontwerpparameters kennen bijvoorbeeld een zekerheid van 95%, dat wil zeggen dat indien 100 proeven op een bodemlaag worden uitgevoerd er slechts 5 een lagere sterkte bezitten. Meestal mag conform Eurocode 7 ook gebruik worden gemaakt van de ondergrens van het gemiddelde van de parameterwaarden. Gezien de spreiding in grondeigenschappen kan het voor komen dat de karakteristieke waarde aanmerkelijk lager ligt dan de gemiddelde waarde uit de proeven. Op het vervolg van de berekening met deze karakteristieke waarde worden de normale veiligheidsfactoren toegepast om zo te komen tot een voldoende

veilig ontwerp. Gegeven deze aanpak is er in veel gevallen dus sprake van een te dure ontwerppraktijk. Bij toepassing van de Observational Method kan gebruik worden gemaakt van een gekozen parameterwaarde die meestal tussen de gemiddelde waarde en de karakteristieke waarde is gelegen (maar in principe zijn alle waarden mogelijk, zie 3.2.2). Het risico dat we met parameters gaan rekenen die onvoldoende veilig zijn wordt vervolgens afgedekt door tijdens de uitvoering het gedrag van de grond of de te bouwen constructie nauwkeurig te monitoren. Het waargenomen gedrag wordt daarbij getoetst aan het voorspelde gedrag en bovendien zijn de maatregelen die noodzakelijk kunnen zijn bij een ongunstig afwijkend gedrag al voorzien en binnen de noodzakelijke tijd inzetbaar. Er kan worden gesteld dat bij toepassing van de Observational Method veilig en kosteneffectief kan worden ontworpen en risico's optimaal worden beheerst. Kansen benutten met de Observational Method is het optimaal inspelen op de lokale eigenschappen van de ondergrond.

1.3 De Observational Method binnen bestaande kaders en trends

De Observational Method is een ontwerpmethodede, die wordt beschreven in NEN-EN 1997-1 (Eurocode 7). De methode is daarmee minimaal net zo veilig als traditionele ontwerpmethoden.

Het is ook een ontwerpmethodede die past binnen de trend van gebruik van (geo)risicomanagement. Binnen het Geo-Impuls programma is toepassing van GeoRM omarmd als dé risicogestuurde werkwijze. GeoRM staat voor Geotechnisch RisicoManagement. Het heeft als doel om onzekerheid vanuit de ondergrond te beheersen. GeoRM is een cyclisch werkproces, waarbij continu, expliciet, gestructureerd en communicerend wordt omgegaan met risico's. Dit om projectdoelen zo effectief en kostenefficiënt mogelijk te realiseren. GeoRM bestaat uit zes stappen die volledig passen binnen het breed in de sector toegepaste RISMAN-proces. De Observational Method sluit aan bij deze risico gestuurde werkwijze in de geotechniek met terugvalopties als beheersmaatregel voor een risico. Met deze werkwijze kunnen de faalkosten worden geminimaliseerd. Een goede overdracht van ontwerpverantwoordelijkheid aan de uitvoerende partij is binnen GeoRM een essentiële stap en juist die stap wordt met toepassing van de Observational Method heel expliciet genomen.

1.4 Definitie van de Observational Method

De Observational Method is een begrip dat veel wordt gebruikt onder wisselende omstandigheden. Kenmerk bij alle toepassingen is dat er observaties (meestal metingen) worden gebruikt om beslissingen te ondersteunen. Binnen deze brede definitie blijven heel veel gebruiksmogelijkheden open.

De opstellers van deze richtlijn juichen in principe iedere vorm van meten of observaties toe, omdat dit meestal tot een sterk verbeterd inzicht en risicoprofiel leidt. Toch is het belangrijk om een duidelijk begripkader te hanteren, om er zo voor te zorgen dat alle stakeholders direct begrijpen wat wordt bedoeld als over de Observational Method wordt gesproken.

Buiten Nederland wordt de Observational Method al vaker toegepast en is ook al vaker beschreven hoe de methode toegepast zou moeten worden. Zo zijn er bijvoorbeeld richtlijnen in Engeland (CIRIA report 185, Nicholson et al., 1999) en Frankrijk (Irex-RGCU richtlijn, Allagnat, 2005). De definitie die in het CIRIA rapport wordt gehanteerd luidt als volgt:

De Observational Method is een continu, gecontroleerd en geïntegreerd proces van ontwerp, toezicht op de uitvoering, monitoring en review dat ervoor moet zorgen dat van te voren gedefinieerde aanpassingen kunnen worden ingepast tijdens of na de uitvoering. Al deze onderdelen moeten aantoonbaar robuust zijn. Het doel is om in zijn geheel meer winst te behalen, zonder afbreuk te doen aan de veiligheid. De methode kan worden gebruikt vanaf de start van het project of pas later als de voordelen bekend zijn geworden. De methode moet echter niet worden gebruikt als er onvoldoende tijd is om de geplande aanpassingen of noodmaatregelen volledig en veilig uit te voeren.

Als toelichting op deze definitie worden expliciet de volgende drie kenmerken genoemd waaraan een project moet voldoen om binnen de kaders van deze handreiking de term Observational Method te kunnen gebruiken. Deze kenmerken zijn:

- Vóór de uitvoering van een bepaald (deel)project zijn de ontwerpscenario's waartussen kan worden geschakeld vastgesteld. Dit betekent dus ook dat bijsturing tijdens de uitvoering mogelijk moet zijn.
- Metingen moeten inzicht geven in het gedrag van de grond, de constructie en/of de interactie met omgeving om zo vast te stellen of een schakelmoment tussen de scenario's kan of moet worden gekozen.
- Deze metingen moeten tijdens de uitvoering worden uitgevoerd.

Feitelijk gaat het er om dat de resultaten van observaties tijdens het bouwen worden gebruikt bij het vooraf maken van het ontwerp. Hier lijkt een discrepantie in te zitten, omdat een ontwerp moet worden gemaakt met kennis die er op dat moment nog niet is. Dat is echter juist de essentie van de Observational Method en het verklaart de noodzaak om in scenario's te denken.

Er zijn nog drie situaties, die door betrokkenen vaak ook Observational Method worden genoemd omdat metingen een grote rol spelen, maar die in het kader van deze richtlijn niet onder de methode worden verstaan:

- alleen maar meten of monitoren, zonder actieve bewaking, beslismomenten of vooraf bepaalde maatregelen, omdat er geen ontwerpscenario's zijn vastgesteld;
- uitvoering van proefbelastingen op funderingselementen, omdat (en als) deze niet tijdens de uitvoering plaatsvinden;
- inzetten van monitoring en fall back maatregelen nadat zich problemen hebben voorgedaan, om zo als noodoplossing ('best way out') toch verder te kunnen werken, omdat het niet vooraf tijdens de ontwerpfase ('ab initio') zo is voorzien.

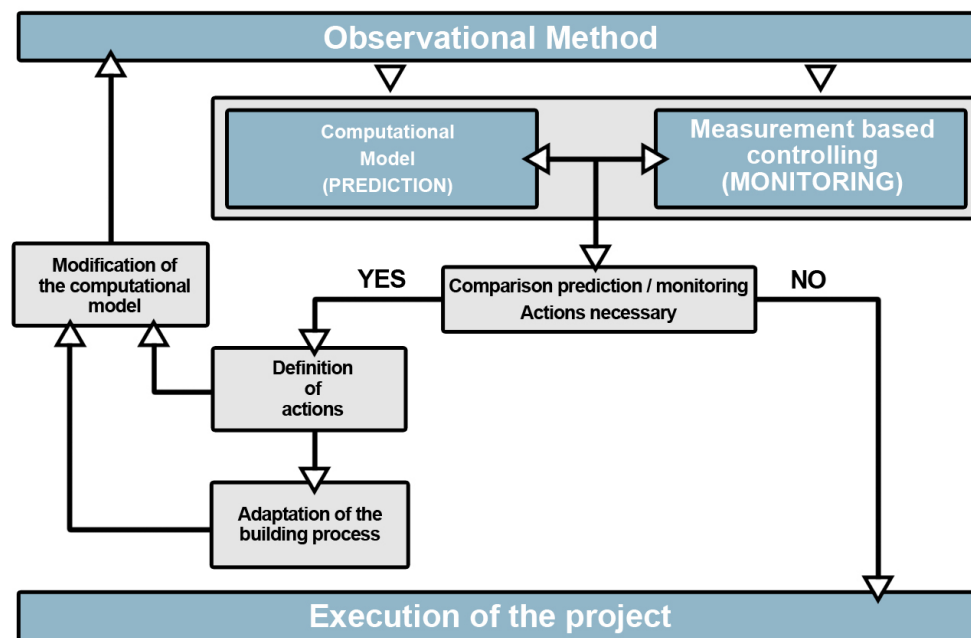
1.5 Hoe ziet een project met toepassing van de Observational Method er uit?

De Observational Method verloopt volgens een interactief proces van ontwerp, uitvoeringscontrole, monitoring en aanpassing van de uitvoeringswijze en/of ontwerp. De Observational Method is daarmee een werkwijze waarbij tijdens de uitvoering in de aanlegfase van een project nog aanpassingen kunnen worden doorgevoerd in het uitvoeringsontwerp. De methode kan worden toegepast bij onzekerheid over de geotechnische uitgangspunten.

Een voorwaarde is dat de maatgevende grenstoestand wordt gekenmerkt door meetbare grootheden; zie figuur 1. De meetbare grootheden vormen de basis van de evaluatie van het uitvoeringsscenario.

De meetbare grootheden kunnen bestaan uit:

- Verplaatsingen
- Waterdrukken
- Gronddrukken (moeilijk betrouwbaar door meting vast te stellen)
- Krachtmetingen



Figuur 1. Samenhang tussen ontwerp en actieve rol van monitoring bij de Observational Method (Katzenbach et al., 2013)

- Modelleringsgegevens: grondsoort, consistentie, gelaagdheid, sterkte- en stijfheidsparameters

1.5.1 Ontwerp

In tegenstelling tot de traditionele aanpak in Eurocode 7, waarbij het ontwerp tijdens de uitvoering vast ligt aan de hand van volledig gekwantificeerde geotechnische omstandigheden en het berekende constructiegedrag, kan hier met de uitvoering worden gestart met een gekozen, haalbaar geacht economisch scenario. De ontwerpalternatieven worden al voorafgaand aan de start van de uitvoering in diverse ontwerpscenario's uitgewerkt. Met de daarbij behorende geotechnische uitgangspunten hebben deze op zich voldoende constructieve veiligheid. De ontwerpscenario's bestrijken een range aan geotechnische uitgangspunten. In hoofdstuk 3 van deze handreiking wordt ingegaan op het ontwerpen met de Observational Method. Bij de Observational Method worden mogelijke ontwerpkeuzes vertaald in uitvoeringsscenario's en meetstrategieën. Tijdens de directe projectuitvoering op de bouwplaats wordt een uitvoeringsscenario gevolgd op basis van metingen die uitsluitsel geven over het gedrag van de bodem of de constructie. De aanpak gaat dus verder dan alleen het vaststellen van ontwerpuitgangspunten voorafgaand aan de projectuitvoering.

1.5.2 Uitvoering

In CUR 223 'Richtlijn Meten en monitoren van bouwputten' wordt uitgebreid ingegaan op de wijze waarop monitoring kan helpen om risico's tijdens de uitvoering te beheersen. Monitoring speelt ook bij de Observational Method een belangrijke rol. Er wordt op basis van monitoring tijdens de projectuitvoering geschakeld tussen de scenario's. De werkwijze op basis van de Observational Method genereert door monitoring tijdens de aanlegfase relevante informatie over de geldigheid van de gehanteerde geotechnische uitgangspunten. Daarmee kan het grond- en constructiegedrag worden geëvalueerd tijdens de uitvoeringsfase. De ingewonnen informatie bepaalt of er een schakelmoment moet worden ingelast; daarbij wordt dan overgeschakeld van het aanvangsscenario naar een meer conservatief of een meer optimistisch ontwerpscenario. Dit schakelen is een essentieel onderdeel van de Observational Method en het bijbehorende werkplan is feitelijk onderdeel van het ontwerp. Het moet voor aanvang van de werkzaamheden duidelijk zijn wanneer en hoe er wordt geschakeld, inclusief de daarbij behorende organisatie en benodigde communicatie tussen betrokkenen. In hoofdstuk 4 van deze handreiking wordt ingegaan op de uitvoering van een project met toepassing van de Observational Method. Daarnaast biedt CUR 223 veel aanknopingspunten voor de organisatie van de monitoring en het opstellen van een goed monitoringsplan.



Figuur 2. Schematische voorstelling van het werkproces OM

1.6 Veel gebruikte toepassingen van de Observational Method

Een handreiking die de toepassing van de Observational Method wil bevorderen doet wellicht vermoeden dat toepassing van de Observational Method heel bijzonder is. Toch wordt in de dagelijkse geotechnische praktijk al veelvuldig gebruik gemaakt van de Observational Method. De volgende voorbeelden genoemd om op die manier weer te geven dat brede toepassing van de Observational Method in feite gewoon een uitbreiding is van een al bestaand arsenaal aan toepassingen.

- Ophogingen

De grote onzekerheid in zettingsparameters maakt een goed en efficiënt ontwerp onhaalbaar zonder gebruik te maken van metingen. Metingen van zakkakens en waterspanningen zijn algemeen

geaccepteerd en worden veelvuldig gebruikt om de ontwerpparameters te fitten en vervolgens nieuwe ophoogslagen aan te brengen of langere rustperiodes aan te houden.

- Bemalingen

Bij bemalingen is er naast onzekerheid over de doorlatendheid van de bodem ook het spanningsveld tussen bijvoorbeeld de eis van “een droge kuip” en anderzijds de noodzaak tot het beperken van het waterbezwaar om te voldoen aan vergunningseisen. Het inregelen of optimaliseren van de bemaling op basis van peilbuis- en debietmetingen is standaard. Daarnaast worden peilbuismetingen gebruikt om bij een oplopende waterstand een (extra) pomp aan te laten slaan. Ook wordt automatisch een noodaggregaat ingeschakeld bij stroomuitval.

- Inbrengen van funderingselementen

Bij het inbrengen van funderingselementen is er een flinke mate van onzekerheid over de voortplanting van trillingen in de ondergrond en de reactie/ gevoeligheid van belendende bebouwing. Wanneer bijvoorbeeld damwanden moeten worden toegepast nabij bestaande bebouwing kunnen trillingen ontoelaatbaar zijn vanaf een bepaald niveau. Vaak wordt dan begonnen met trillen op een op basis van een predictie veilig geachte afstand van de bebouwing, waarbij er gelijktijdig ook metingen van de trillingen plaatsvinden. Bij het benaderen van de grenswaarde voor de trillingen op de bebouwing wordt overgeschakeld op drukkend inbrengen van damwanden of andere trillingsbeperkende maatregelen.



Foto: Erwin de Jong van GeoBest

Toepassing van de Observational Method in projecten: kansen en bedreigingen

2

2.1 Analyse van case histories

Dit hoofdstuk illustreert de resultaten van een analyse naar kansen en bedreigingen op basis van case histories (zie bijlage B) en literatuur. De analyse richt zich op de omstandigheden in projecten die deze geschikt maken voor de toepassing van de Observational Method. Door het verzamelen van deze aspecten kan men controleren of voor een nieuw project de toepassing van de methode voordelen op kan leveren. Geotechnische monitoring is een essentieel onderdeel van de Observational Method en indien afzonderlijk gebruikt meestal toegepast om het bouwproces te beheersen en de ontwerpuitgangspunten te waarborgen. Als onderdeel van de Observational Method wordt monitoring ook gebruikt voor ontwerpdoeleinden. Indien uit de monitoring blijkt dat een ontwerp kan/moet worden gewijzigd met minder/meer conservatieve aannames dan is dit voorzien binnen de Observational Method. In de analyse wordt monitoring ook beschouwd, omdat het een onderdeel is van de methode.

2.2 Kansen

Bepaalde projectkenmerken kunnen in sterke mate pleiten voor de toepassing van de Observational Method. Bij projecten waar deze kenmerken aanwezig zijn, kan de methode worden beschouwd als een serieuze optie.

2.2.1 Meerdere fasen of onderdelen in een project

Patel et al. (2007) suggereren dat het voor een goede toepassing van de Observational Method noodzakelijk is dat aanpassingen kunnen worden doorgevoerd bij de diverse projectonderdelen of bij fasen van de bouw. De essentie van de methode is dat wordt geleerd van eerder waargenomen gedrag. Projecten met meerdere bouwfasen hebben bijvoorbeeld een gefaseerde ontgraving of een gefaseerde belasting. Voorbeelden zijn de ontgraving na het instorten van de Heathrow terminal beschreven door Hitchcock (2003) en de aanleg van het baanlichaam van de Betuweroute op zeer slappe ondergronden, zoals beschreven in het verslag van Geotechnet door Huybrechts (2000). In een bouwproces met meerdere fasen kan de betrouwbaarheid worden geborgd door monitoring van de voorgaande fases te interpreteren en door het, indien nodig, ondernemen van verdere

actie ter bijsturing van ontwerp en uitvoering. Een gefaseerde ontgraving, waarbij de stempels afhankelijk van de vervormingen kunnen worden voorgespannen of wanneer er extra stempels of verankeringen kunnen worden geïnstalleerd, heeft kenmerken die deze geschikt maakt voor de toepassing van de Observational Method.

Een ander kenmerk is aanwezig bij projecten met een voortschrijdend bouwproces. Deze projecten zijn flexibel in de snelheid waarin ze worden uitgevoerd of bestaan uit verschillende stappen. Bijvoorbeeld projecten met een grote lengte (lijn infrastructuurprojecten zoals spoor en wegen) aangelegd in vergelijkbare bodemgesteldheid, kunnen een goede basis bieden voor de Observational Method, zoals beschreven voor de 'Limehouse Link' door Glass en Powderham (1994).

2.2.2 Korte projectduur in combinatie met gunstig korte termijn gedrag van de bodem

Het kan voordelig zijn om gebruik te maken van korte termijngedrag van grond, wanneer de ongedraineerde sterkte van de bodem groter is dan de gedraineerde sterkte en waar de belasting kortdurend is, zodat er geen drainage kan plaatsvinden.

Hier kan als voorbeeld de New Austrian Tunneling Method (NATM) worden vermeld. Bij deze tunnelmethode wordt een flexibele ondersteuning tijdens ontgraven aangebracht, waardoor de omringende formaties door boogwerking een nieuw evenwicht vinden. De belasting vanuit het massief wordt tijdens de ontgraving hoofdzakelijk door de (korte termijn sterkte van de) grond gedragen. De binnenbekleding heeft voornamelijk een ondersteunende functie. De uiteindelijke tunnelconstructie bestaat uit een dikwandige tunnelbuis van binnenbekleding en rotsomhulling. Bij het rekenen op de ongedraineerde grondsterkte moeten er terugvalopties in de procedures zijn opgenomen voor het geval dat het werk (onverwacht) stilvalt. Door bijvoorbeeld dissipatie-effecten kan de grond draineren en de sterkte afnemen.

2.2.3 Vervormingen als leidende ontwerpvoorwaarde

Projecten waar vervormingen het ontwerp bepalen zijn bij uitstek geschikt voor het gebruik van de Observational Method. Vervormingen kunnen meestal nauwkeurig en uitgebreid worden gemonitord (en zijn juist moeilijk te berekenen) en bieden een goede indicatie van de

mechanismen die moeten worden beheerst. Het meten van waterspanningen is hierbij vaak een goede aanvulling, omdat waterspanningen reageren voordat vervormingen zichtbaar worden.

Krachten en spanningen zijn op zich goed te meten, maar de toepassing zal in het algemeen beperkt zijn tot detailonderdelen; de gemeten krachten en spanningen in bijvoorbeeld een stempel hebben vooral een directe relatie tussen de meetgrootte en het herontwerp van het betreffende constructiedeel. Indirect zal de gemeten kracht ook een aanwijzing zijn voor het gedrag van de totale constructie, maar voor die vaststelling zijn aanvullende analyses noodzakelijk.

Wanneer deformaties van aangrenzende gebouwen belangrijk zijn, kan de Observational Method geschikt zijn. Er dient hierbij te worden vermeld dat de mogelijke maatregelen en aanpassingen beperkt kunnen zijn door de vaak strenge eisen. Het kan echter als een sterkte worden beschouwd als het project een bestaande constructie betreft of een situatie die moeilijk vooraf kan worden beoordeeld, zoals de stabiliteit van een bestaande ophoging (Lee, 2012) of oude constructies met onbekend funderingsgedrag (Chapman en Green, 2004). De toepassing van de Observational Method kan in die gevallen het constructiegedrag blootleggen. In het algemeen kunnen onzekerheden samenhangend met een gebrek aan kennis over het gedrag van een bestaand gebouw, worden verlaagd door het gebruik van monitoring (Nossan, 2006).

2.2.4 Directe relatie tussen meetgrootte en ontwerp voorwaarde

Projecten met een directe relatie tussen een meetgrootte en de bepalende onzekerheid voor de kans op “falen” zijn bij uitstek geschikt. Bijvoorbeeld: gefaseerd ophogen met stabiliteitsbewaking door middel van waterspanningsmetingen, compensation grouting van panden bij passeren van een tunnelboor (met sturing naar aanleiding van het bereikte effect van het grouten) of opbarstsituaties waarbij de onzekerheid in de grondwaterdruk zit en er op tijd maatregelen genomen kunnen worden door voldoende marge aan te houden. Gesteld kan worden dat succesvolle inzet van de Observational Method wordt bepaald door meetbare parameters die via betrouwbare metingen moeten kunnen worden vastgesteld. Is dit niet het geval dan is de methode niet geschikt.

2.2.5 Geïntegreerde verantwoordelijkheid voor zowel ontwerp als uitvoering

Situaties met een goede relatie tussen ontwerp- en bouwteams en waar een goede communicatie tussen deze partijen is gewaarborgd, hebben een sterk argument voor het gebruik van de Observational Method. De methode werkt goed in een alliantiecontract, waarin risico's (positief en negatief) worden gedeeld tussen opdrachtgever en opdrachtnemer.

2.2.6 Flexibele en op risico gebaseerde (bouw)cultuur

Het kan ook als sterkte worden beschouwd als de cultuur van elke betrokken organisatie open staat voor enige flexibiliteit, maar daarnaast ook gedisciplineerd omgaat met risicobeheer en monitoring. Medewerkers met een goede opleiding en voldoende ervaring met de methode zijn een belangrijk voordeel. Een toezegging van het management om de methode op alle werkniveaus te implementeren is een voorwaarde.

2.2.7 Communicatie tussen de bouwplaats en het ontwerp bureau

Toepassing van de Observational Method vereist directe communicatie tussen de bouwplaats en het ontwerp bureau, dat verantwoordelijk is voor de directe analyse van de metingen. Als deze verschillende culturen elkaar niet gemakkelijk in een project weten te vinden, kan deze vertraging veroorzaken in ‘go’ of ‘no-go’ momenten of zelfs resulteren in voortzetting van de werkzaamheden op het terrein zonder de toestemming van het ontwerp bureau. Echter, als de communicatie goed is afgestemd, kan dit worden beschouwd als een sterkte van de methode die daarmee ontwerp en constructie dichter bij elkaar brengt. Projecten waar de cultuur is gebaseerd op individuele winst en niet op wederzijds voordeel, of projecten met een extreem laag bod c.q. moeilijke marktomstandigheden, zijn niet geschikt voor de toepassing van de Observational Method.

2.2.8 Grote heterogeniteit van de ondergrond en of onzekerheid in faalmechanisme

In gevallen van grote onzekerheid dwingt een 'traditionele' ontwerpbenadering de ontwerper tot conservatieve ontwerpkeuzes of te conservatieve voorspellingsmodellen (dit is ook het geval bij grond en/of constructies waarvoor geen betrouwbaar model beschikbaar is). Bij toepassing van de Observational Method is het voordeel dat met gunstiger uitgangspunten kan worden gewerkt, zoals bijvoorbeeld bij de keuze tussen een fundering op staal en een paalfundering bij de aanleg van LNG-tanks (zie bijlage B), waarbij hoge eisen aan verschildzettingen worden gesteld. Het voordeel geldt ook voor geologisch heterogene gebieden.

Twee combinaties zijn vooral geschikt voor de Observational Method. Bij de eerste combinatie is de bodemsterkte of de stijfheid niet bekend of vertonen deze een grote spreiding, maar de belasting is bekend, bijvoorbeeld in NATM tunnels of diepe ontgravingen, zoals beschreven door Kamp (2003), of bij spoorwegen zoals beschreven door Lee (2012). Het tweede geval is tegenovergesteld. De belasting is relatief onbekend maar de bodemsterkte is goed bekend, bijvoorbeeld bij diepe funderingen en taluds beschreven door o.a. Peck (1969). Als de belasting en de sterkte beide bekend zijn of beide zijn onbekend, dan is de Observational Method niet geschikt. In die gevallen moet een grote heterogeniteit als een bedreiging worden beschouwd voor toepassing van de methode.

2.2.9 Aanwezigheid van risico's met een kleine, maar onaanvaardbare 'a priori' kans van optreden en significante gevolgen

Voor het gebruik van de Observational Method is het noodzakelijk dat het hele spectrum van gedrag wordt beoordeeld en dat wordt aangetoond dat er een aanvaardbare kans is dat het feitelijke gedrag binnen de aanvaardbare grenzen ligt (NEN-EN 1997-1 Eurocode 7). De Observational Method is geschikt als voor een standaard ontwerp de faalkans te hoog is, maar nog wel zo klein dat er een grote kans is dat het project zonder extra maatregelen kan worden voltooid. Dit vereist ook dat de eventuele gevolgen de extra kosten rechtvaardigen.

Voorbeelden hiervan zijn de mogelijke schade door het trillend installeren van damwanden in de buurt van een pijpleiding of mogelijke trillingschade aan oude

monumentale gebouwen door het heien van palen. De trillingen zullen waarschijnlijk significant zijn, maar de kans op overschrijding kan klein genoeg zijn om via de Observational Method 'a priori' kostbare maatregelen in het ontwerp te voorkomen.

2.2.10 Goede communicatie met belanghebbenden

De Observational Method leent zich uitstekend voor een goede communicatie tussen de belanghebbenden van het project. Een kritische houding van de burens van een project kan bijvoorbeeld worden beantwoord met een goede uitleg van de projectrisico's en inzicht in de pro-actieve houding ten opzichte van de risico's. Bij de Noord-Zuidlijn in Amsterdam is bij de definitieve ontgraving van Station Rokin gebleken dat een uitgebreide risico gebaseerde aanpak de belanghebbenden gerust heeft gesteld.

Ook de toepassing van de Observational Method bij de A2 Maastricht bleek een zeer goede manier te zijn voor de communicatie met de belanghebbenden (Grote en van Dalen, 2012). De onzekerheden gerelateerd aan de sterkte van de kalksteen en de bijbehorende reactie van de wand op de ontgraving, maakten de toepassing van de methode geschikt als onderdeel van een goede communicatiestrategie. Maar het moet ook worden vermeld dat miscommunicatie over de methode een bedreiging vormt voor het project, omdat de methode door belanghebbenden gemakkelijk ten onrechte kan worden geïnterpreteerd als een manier van window-dressing van een riskant project.

2.2.11 Noodoplossing

Hoewel de Observational Method het beste toegepast kan worden 'ab initio', heeft de methode vele malen bewezen een zeer goede aanpak te zijn in het geval van ongewenste gebeurtenissen die (bijna) optreden, bijvoorbeeld wanneer deze worden waargenomen door geotechnische monitoring. Omdat het oorspronkelijke ontwerp al is afgerond en dit niet gemakkelijk kan worden veranderd, kan een aanpak met de Observational Method nog steeds het project redden (best way out).

2.3 Bedreigingen

Tegenover de voordelen zijn er ook beperkingen aan toepassing van de Observational Method. Als een van de volgende kenmerken voorkomt, kan de toepassing van de methode resulteren in extra problemen of kan de methode ongeschikt zijn.

2.3.1 Te weinig tijd tussen de metingen en maatregelen en/of snel veranderende belastingen.

Een van de belangrijkste en meest bekende bedreigingen voor toepassing van de methode zijn snel veranderende belastingen, zoals verslechtering van de bodem door binnendringen van grondwater. Ook een externe belasting zoals extreme regenval veroorzaakt stijging van het grondwater. Risico's op verweking vormen potentiële bedreigingen voor het gebruik van de methode.

Ook als de mechanismen sneller optreden dan de maatregelen kunnen worden uitgevoerd en geïnterpreteerd is er sprake van een ernstige tekortkoming in de toepassing van de methode. In het geval van brosse breuk levert monitoring geen voorafgaande waarschuwing, daarmee is een brosse breuk een no-go voor de Observational Method.

Zich langzaam ontwikkelende mechanismen maken het toepassen van de Observational Method inefficiënt, omdat op basis van de waarnemingen geen besparingen kunnen worden doorgevoerd, zoals beschreven door (Korevaar, 2012). Voorbeelden van no-go situaties voor de methode zijn het niet-taai bezwijken van constructie-elementen, zoals schoren of andere muur verbindingen in gestutte kelders, beschreven door Patel (2007), en het ontbreken van verticaal bodemevenwicht bij diepe ontgravingen waarbij de onzekerheid in de sterkte/gewicht van de grond zit.

2.3.2 Metingen die falen veroorzaken

In sommige mechanismen, bijvoorbeeld bij het bepalen van de uiterste trekcapaciteit van (micro)palen of ankers, zou monitoring falen van het systeem veroorzaken, wat vanzelfsprekend niet aanvaardbaar is.

In het algemeen worden bezwijkproeven niet tijdens de feitelijke bouwperiode uitgevoerd maar tijdens de ontwerpfase. Het uitvoeren van bezwijkproeven wordt soms toch gezien als een vorm van Observational Method. Met dergelijke metingen kunnen ontwerpui-

tgangspunten, bijvoorbeeld site-specifieke draagkrachtfactoren, worden bepaald. Als dan tijdens de uitvoering maatregelen worden genomen (bijvoorbeeld een aanpassing aan de ankerlengte of hoeveelheid ankers), en als dit schakelmoment ook zo was voorzien voor aanvang van de proeven, dan is er ook in het licht van deze handreiking sprake van toepassing van de Observational Method binnen het gehele bouwproces.

2.3.3 Faalmechanisme / parameter kan niet worden gemeten

Het kan ook problematisch zijn als het bewakingssysteem niet in staat is het juiste mechanisme of relevante parameters vast te leggen. Dit is vaak het geval als stijfheid en sterkte slechts zwak zijn gecorreleerd, wat betekent dat deformaties niet altijd duiden op falen van een materiaal. Ook is dit het geval als de maatgevende situatie zich pas voordoet in een latere (gebruiks)fase, zoals windbelastingen of seismische belastingen.

2.3.4 Verandering van faalmechanisme tijdens de bouw

Een ander zwak punt voor toepassing van de methode bestaat als tijdens het bouwproces het maatgevende faalmechanisme verandert; bijvoorbeeld als een initieel ondiep mechanisme in de bezwijkfase een diep glijvlak vormt, of consolidatie over gaat in kruip. Als veranderende faalmechanismen van te voren worden onderkend kan de monitoring hier in principe op worden ingericht en kan de Observational Method wel worden toegepast, maar zullen altijd een interpretatie en analyse inclusief 'traditionele' ontwerpmethoden nodig blijven om voldoende veilig te kunnen bouwen.

2.3.5 Kosten voor wijzigingen tijdens de bouw zijn hoger dan de winst minus de kosten voor monitoring

Het gebruik van de Observational Method vereist gewoonlijk (kostbare) continue metingen, die geïnterpreteerd en geanalyseerd moeten worden tijdens de bouw. Tijdens het ontwerpproces moet het gedrag worden voorspeld voor meerdere scenario's en worden uitgewerkt in relatie met eerdere ervaringen. Deze kosten moeten worden afgewogen tegen de te verwachten voordelen. Soms blijkt dat beheersmaatregelen nodig zijn die een inefficiënt bouwproces opleveren. Dit is bijvoorbeeld beschreven door (Schmitt

en Schlosser, 2007) voor het geval van een ontgraving in Monaco, waarbij schoren met grote afmetingen, afgestempeld op de bodem van de ontgraving, grote gevolgen zouden hebben voor de doorlooptijd van het project.

2.3.6 Terughoudendheid bij vergunningverleners

Een andere vorm van potentiële bedreiging kan de terughoudendheid of afkeuring van de vergunningverleners zijn om de methode toe te staan, ook al in de methode gereguleerd en beschreven in NEN-EN 1997-1 (Eurocode 7). Het is bijna onvermijdelijk dat het gebruik van de Observational Method inspanningen op gebied van communicatie vergt om vergunningverleners uit te leggen wat de methode inhoudt, waarom de methode wordt gebruikt en hoe dit een veilig bouwproces waarborgt.

2.3.7 Beperkingen in tijd

Het toepassen van de Observational Method vereist meer inspanning in de ontwerpfase. Als de ontwerp-capaciteit niet wordt aangepast kan dit leiden tot een langere ontwerpprocedure. Voor projecten met hoge eisen aan de planning kan toepassing van de Observational Method daarom onpraktisch zijn, vooral als er geen tijdswinst bij de bouw wordt verwacht door toepassing van de methode.

2.3.8 'Inverse modelling' met huidige berekeningsmethoden en tools is niet altijd mogelijk

Tijdens de bouw komt een grote hoeveelheid gegevens beschikbaar die verwerkt moet worden. Bijvoorbeeld bij zettingsvoorspellingssoftware bestaan modules die modelparameters aanpassen aan metingen om betere voorspellingen te doen voor de komende bouwfasen. Echter, voor andere mechanismen, zoals vervormingen van keerwanden of berekende deformaties bepaald met een eindige elementen model, is dit niet eenvoudig. Er moeten in dat geval veel berekeningen op voorhand worden uitgevoerd om de Observational Method goed te kunnen gebruiken tijdens de bouw. Dit kan leiden tot inefficiënt gebruik van de methode door hoge ontwerpkosten.

2.4 Samenvatting

Uit de analyse kan worden geconcludeerd dat de Observational Method het meest geschikt is voor projecten waar de bruikbaarheidsgrenstoestand maatgevend is, of waarbij er een directe relatie is tussen een meetgrootte en de bepalende onzekerheid voor de kans op "falen". De Observational Method is toepasbaar, maar minder geschikt, voor ontwerpen die beheerst worden door uiterste grenstoestanden met taai gedrag. De methode is niet geschikt voor uiterste grenstoestanden waarbij bros bezwijken plaatsvindt. Op basis van de uitgevoerde analyse zijn Go/No Go criteria vastgesteld voor opdrachtgevers en initiatiefnemers, maar ook voor ontwerpers en aannemers, in een vroege projectfase. Deze criteria geven weer of het verstandig is om wel of niet de Observational Method toe te gaan passen. De criteria zijn weergegeven op volgorde van belangrijkheid. Veel criteria zijn duidelijk in te delen in een Go of No Go categorie. Daarnaast is er nog een categorie van dingen die essentieel zijn om te organiseren, maar die in de huidige praktijk nog niet altijd common practice zijn.

Go:

- Projecten met meerdere opeenvolgende fasen waar continu geleerd kan worden van voorgaande fasen;
- Aanwezigheid van risico's met een (bij een traditioneel ontwerp) lage, maar onacceptabele a priori faalkans en significante gevolgen;
- Aanwezigheid van integrale verantwoordelijkheid bij 1 partij voor zowel ontwerp als uitvoering;
- Grote heterogeniteit van de ondergrond of onzekerheid omtrent de grondeigenschappen en/of grote onzekerheid in faalmechanisme;
- Vervormingen of verplaatsingen als leidende ontwerpvoorwaarde;
- Korte duur van een project, waardoor korte termijn sterkte gedrag van de grond kan worden benut;
- Kritische houding van externe stakeholders waarbij de Observational Method als communicatiemiddel kan worden ingezet;
- Toepassing van de Observational Method als noodmaatregel (best way out).

No go:

- Te weinig beschikbare tijd tussen het verkrijgen van meetresultaten en het nemen van maatregelen;
- Snel veranderende belastingen;
- Niet-meetbare faalmechanismen of parameters;
- Veranderende faalmechanismen tijdens de bouw;
- Metingen die falen veroorzaken dan wel pas zinvol zijn na falen;
- Kosten voor aanpassing van scenario's zijn hoger dan de verwachte winst min aftrek van kosten van de monitoring.

Essentieel om te garanderen:

- Goede communicatie tussen uitvoering en ontwerp;
- Medewerking van vergunningverleners;
- Voldoende beschikbare tijd voor het maken van een ontwerp;
- Investeren in berekeningsmethoden die de toepassing van de Observational Method makkelijker maken;
- Flexibele en op risico gebaseerde cultuur van de betrokken partijen bij het bouwproces.

3.1 Stappenplan

Met dit stappenplan wordt aangegeven hoe het benodigde veiligheidsniveau, bij het werken met verschillende uitvoeringsscenario's, kan worden bereikt. Tevens wordt een kader gegeven van waaruit het veiligheidsniveau kan worden beoordeeld en waarmee ontwerpkeuzes kunnen worden gemaakt. Het uitgangspunt is dat het project efficiënt wordt voltooid met een aantoonbaar veiligheidsniveau door gebruik van objectieve (kwantitatieve) ontwerpmethoden.

De volgende stappen worden doorlopen:

(1) Risicoanalyse

GeoRisicoManagement (GeoRM) kan worden toegepast om via een risicoanalyse de relevante grenstoestanden vast te stellen. Aan de hand van een gedetailleerde beschrijving van de deelsystemen worden de faalmodes bepaald en een beschrijving opgesteld van de ontwikkelingen bij falen.

(2) Opstellen scenario's

Na schatting van de waarschijnlijkheid van optreden van de grenstoestanden, volgt een berekening van het gedrag van de constructie en de gevolgen van falen van constructiedelen. De terugvalopties in de vorm van alternatieve uitvoeringsscenario's worden gedefinieerd. In deze stap speelt ook de keuze van de set van grondparameters die gehanteerd gaan worden.

(3) Vaststellen veiligheidsniveau

Voor elk uitvoeringsscenario wordt het veiligheidsniveau gecontroleerd door analyse van de uiterste grenstoestanden (breuk, instorting, verlies aan evenwicht, ontstaan van een mechanisme of bezwijken door vermoeiing) en de bruikbaarheidsgrenstoestanden (deformaties, trillingen, scheuren of beschadiging die het gebruik negatief beïnvloeden). Het behaalde veiligheidsniveau van de diverse uitvoeringsscenario's wordt getoetst aan de geldende normen. De Observational Method is niet bedoeld om het veiligheidsniveau aan te passen door verlaging van partiële factoren. De partiële belastingfactoren zijn benodigd voor het afdekken van variatie in de representatieve belasting en in onzekerheid in de krachtverdeling binnen de constructie. De partiële materiaalfactoren zijn nodig voor het afdekken van modelonzekerheid in het weerstandsgedrag en onzekerheid in de (grond)materiaaleigenschappen.

(4) Vaststellen beschrijvende meetgrootheden

Voor de maatgevende grenstoestand worden de beschrijvende meetbare grootheden vastgesteld (maatgevende parameters).

(5) Monitoring

Door monitoring van de grootheden wordt het gedrag tijdens het startscenario bewaakt. Daarbij moeten zoals gebruikelijk naast een snelle beschikbaarheid eisen worden gesteld aan de precisie en de nauwkeurigheid. Tijdens de uitvoering zal er steeds sprake zijn van een belastingsituatie voor de representatieve (bouw) belastingen. De voorspelling van het constructiegedrag in meetbare grootheden moet hierop zijn afgestemd. Verwezen wordt naar CUR richtlijn 223 voor aanbevelingen ten aanzien van monitoring.

(6) Toetsing en schakelen

Op basis van de waarnemingen en monitoringsresultaten wordt regelmatig beoordeeld of het gekozen uitvoeringsscenario kan worden voortgezet.

3.2 Aansluiting bij NEN-EN 1997-1 (Eurocode 7)

Met de veiligheidsfilosofie van de Observational Method is het mogelijk om de geotechnische uitgangspunten zo te kiezen dat ze in gunstige zin afwijken van de traditionele semi probabilistische aanpak in Eurocode 7 (EC7). In EC7 is aangegeven dat de Observational Method kan worden toegepast om een maatgevende grenstoestand te beoordelen. De overige grenstoestanden kunnen volgens EC7 daarbij vaak met relatief eenvoudige analyses worden getoetst. In dit hoofdstuk wordt de aanpak van de Observational Method binnen EC7 verder uitgewerkt. Voor een gedetailleerde toelichting op de methode in EC7 zie bijlage A.

3.2.1 Veiligheidsfilosofie traditionele EC7-aanpak

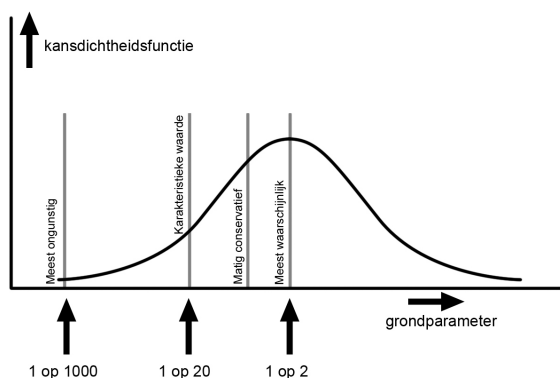
Bij een traditioneel ontwerp volgens EC7 worden ontwerpberekeningen voor een (geotechnische) constructie vooraf gemaakt met een voorgeschreven, voorzichtige inschatting van het verwachte grondgedrag. Dit zijn de karakteristieke waarden voor het grondgedrag (EC7 2.4.5.2). De karakteristieke waarden kunnen ook worden vastgesteld volgens statistische methoden die worden toegepast op gemeten waarden. Hierbij kan de karakteristieke waarde als 5% onderschrijdingskans

worden gehanteerd of als ondergrens van het gemiddelde (EC7 2.4.5.2). Ook kan gebiedservaring gebruikt worden in de vorm van standaardtabellen, zoals Tabel 2b van NEN 9997-1. Tenslotte is een combinatie van gebiedservaring en gemeten parameterwaarden mogelijk (EC7 2.4.5.2).

Na toepassen van partiële factoren worden rekenwaarden voor de geotechnische parameters verkregen en daarmee wordt getoetst of geen van de grenstoestanden wordt overschreden. De rekenwaarde van de draagkracht moet groter of gelijk zijn aan de rekenwaarde van de belasting. Deze toetsing wordt gedaan voorafgaand aan de start van de bouwactiviteiten en vormt onderdeel van het definitieve (uitvoerings)plan.

3.2.2 Veiligheidsfilosofie Observational Method

Bij de Observational Method is de aanpak anders. Hierbij wordt een inschatting van het gedrag gemaakt op basis van grondonderzoek en gebiedservaring, rekening houdend met natuurlijke variatie en geologie. Er worden diverse, op zichzelf veilige, scenario's uitgewerkt en hiervoor worden aparte ontwerpberekeningen gemaakt. Tevens wordt vastgesteld bij welke waarneming/meetwaarde overgeschakeld moet worden naar een ander (veiliger) uitvoeringsscenario/ontwerp.



Figuur 3. Kansdichtheidsfunctie van een grondparameter

In principe kan elke waarde voor de dominante grondparameters worden gekozen en worden uitgewerkt in een scenario. Hoe conservatiever de keuze (een waarde steeds meer naar de linkerkant van de kansdichtheidsfunctie, zie figuur 3), hoe kleiner de kans dat schakelmomenten moeten worden toegepast. Maar ook de winst ten opzichte van een traditioneel ontwerp zal kleiner zijn, terwijl wel extra kosten worden gemaakt. Wanneer een optimistische keuze wordt gemaakt (een

waarde aan de rechterkant van de kansdichtheidsfunctie, zie figuur 3) moet rekening worden gehouden met de volgende aspecten:

- De kans dat een (vroeg) schakelmoment moet worden toegepast is groot. Dit heeft consequenties voor de uitvoering in termen van kosten en planning. Het is de vraag of deze grote kans op een schakelmoment, met de extra kosten die met de Observational Method worden gemaakt, opwegen tegen de opbrengst. Ook kan een vroeg schakelmoment nadelig zijn voor het vertrouwen in de methode (hoewel nog steeds veilig).
- Aangetoond moet worden dat met monitoring nog steeds tijdig gesignaleerd kan worden of een schakelmoment noodzakelijk is. Omdat er optimistisch wordt gerekend kan een schakelmoment al vroeg in het bouwproces vallen en het zal daardoor niet altijd mogelijk zijn om dan al voldoende metingen te hebben om beslissingen te kunnen nemen.

Hoewel de keuze voor de parameterwaarde dus vrij is, lijkt het meest voor de hand te liggen om waarden te kiezen die veiliger zijn dan of gelijk aan de gemiddelde waarden. Dit wordt onder andere ook aanbevolen in het CIRIA report 185 (Nicholson et al., 1999), door Powderham (1994, 1998) en Muir Wood (2000). Het ontwerp is dan minder conservatief dan een traditioneel ontwerp, en tegelijkertijd is er geen al te grote kans op een schakelmoment (wat immers kosten en vertragingen met zich mee kan brengen). De aanpak ligt dan dicht aan tegen een ontwerp met een genormaliseerd risiconiveau (traditioneel ontwerp) en het uitvoeren van optimalisaties op basis van de metingen. Uiteindelijk zal altijd nauw overleg tussen ontwerp en uitvoering moeten plaatsvinden tijdens het ontwerp, om zo een optimale keuze voor de parameters van het startscenario te maken, in combinatie met goed toepasbare fall back scenario's.

Het EC7-uitgangspunt is dat geen van de grenstoestanden mag worden overschreden, dit wordt via de Observational Method getoetst aan de hand van het (grond)constructiegedrag. Dit kan betrekking hebben op constructiedeformaties (bij toets van de bruikbaarheidsgrenstoestand) of op componenten van de sterkteberekening (bij de toets van één van de uiterste grenstoestanden).

Bij de afweging voor de Observational Method is het belangrijk dat duidelijk wordt vastgesteld welke grenstoestand maatgevend is. Via monitoring tijdens de aanlegfase wordt aanvullende informatie over de dominante grondparameters (die parameters waarvoor het faalmechanisme het meest gevoelig is) in de maatgevende grenstoestand ingewonnen. Voor de niet-

dominante grondparameters moeten op de normale wijze de karakteristieke waarden zijn bepaald.

Eén van de uiterste grenstoestanden (UGT) is maatgevend

Bruikbaarheidsgrenstoestand (BGT) is maatgevend

Met de monitoringinformatie wordt het deformatiegedrag tijdens de aanlegfase getoetst om de juistheid van de gekozen waarde(n) van de dominante grond te bevestigen. Het uitgangspunt voor de kalibratie is een berekening met de feitelijk aanwezige belastingen tijdens de aanlegfase. Indien de maatgevende BGT-belastingssituatie afwijkt van de situatie die aanwezig is in de aanlegfase (bijvoorbeeld een tijdens de uitvoering niet aanwezige variabele belasting uit het gebruik) moet de BGT-toets na kalibratie van de dominante grond alsnog op gebruikelijke wijze door berekening volgens EC7 worden uitgevoerd.

Bij de toetsing van de uiterste grenstoestanden kan onzekerheid bestaan aan de belastingkant of aan de (materiaal)sterkte kant. Ook het UGT-voorspellingsmodel kan onzekerheden bevatten. In het algemeen is het niet mogelijk om zonder een speciale proefopzet tijdens de aanlegfase door metingen aan de constructie voldoende informatie in te winnen over de sterkteparameters van de grond of de geldigheid van een UGT-voorspellingsmodel. Wel is het mogelijk om door metingen extra inzicht te verkrijgen in belastingcomponenten, zoals waterdrukken. Hierbij moet aandacht zijn voor de variaties in de tijd van de betreffende waarneming. Als, zoals in dit geval, de uiterste grenstoestand maatgevend is, moet de bruikbaarheidsgrenstoestand

In tabel 1 zijn de diverse stappen schematisch weergegeven.

Toetsen van:	Traditioneel EC7	Observational Method
Bruikbaarheids grenstoestand	Berekening met karakteristieke parameterwaarden	<p>Indien BGT maatgevend:</p> <p>(1) Berekening diverse BGT- scenario's met <i>gekozen dominante</i> parameterwaarden. Overige parameterwaarden volgens EC7</p> <p>(2) Vaststellen startscenario voor aanleg</p> <p>(3) Toets van <i>gekozen dominante</i> parameterwaarde door monitoring van BGT-constructiegedrag bij feitelijke belastingen tijdens aanleg. Overwegen of schakelmoment c.q. aanpassing werkwijze nodig is.</p> <p>(4) Stap (3) is in principe BGT-toets. Bij afwijkende belastingen: BGT-toets door berekening, inclusief de <i>gevalideerde dominante</i> parameterwaarden</p> <p>Indien UGT maatgevend:</p> <p>(1) Toetsing Traditioneel EC7</p>
Uiterste grenstoestanden	Berekening met rekenwaarden, inclusief toepassen van EC7-materiaalfactoren op karakteristieke parameterwaarden	<p>Indien BGT maatgevend:</p> <p>(1) Toetsing Traditioneel EC7</p> <p>Indien UGT maatgevend:</p> <p>(1) Berekening diverse UGT-scenario's, inclusief toepassen van EC7-materiaalfactoren en de <i>gekozen</i> parameterwaarden. Overige parameterwaarden volgens EC7</p> <p>(2) Vaststellen startscenario voor aanleg</p> <p>(3) Toets van <i>gekozen</i> parameterwaarden door monitoring. Overwegen of schakelmoment c.q. aanpassing werkwijze nodig is.</p> <p>(4) UGT-toets door berekening, inclusief toepassen van EC7-materiaalfactoren en de <i>gevalideerde</i> parameterwaarden</p>

op traditionele wijze volgens EC7 door berekening worden getoetst.

3.3 Toepassen van de Observational Method in projecten

3.3.1 Onderdelen van een ontwerp met behulp van de Observational Method

Een ontwerp met behulp van de Observational Method is anders dan een traditioneel ontwerp. Traditioneel wordt de veiligheid van het ontwerp aangetoond door middel van berekeningen en analyses. Bij een ontwerp met de Observational Method komen hier twee onderdelen bij.

Allereerst moet aangetoond worden dat het basis-scenario en de terugvalsscenario's allemaal veilig zijn binnen de bandbreedtes die met de monitoring worden bewaakt. Dit betekent dus dat van meer dan 1 ontwerp de veiligheid moet worden aangetoond. Daarnaast bestaat het ontwerp expliciet uit het plan van aanpak waarmee de scenario's worden bewaakt. Binnen dit plan van aanpak staat de monitoring centraal. Het moet duidelijk zijn welke parameters worden gemeten en wat de schakelwaarden zijn naar een ander scenario. Het vereist een goede organisatie en communicatie om zeker te zijn dat tijdig beslissingen en maatregelen worden genomen. Hiermee is bij toepassing van de Observational Method expliciet een 'menselijke factor' opgenomen in het ontwerp, waarvan moet worden aangetoond dat deze zal functioneren. In hoofdstuk 4 wordt ingegaan op dit aspect.

3.3.2 Meten van het geotechnisch gedrag

Grote onzekerheid omtrent het geotechnische gedrag leidt mogelijk tot een te conservatieve aanpak en daardoor tot een niet-economisch, te zwaar ontwerp. In een aantal gevallen kan er een economische constructie worden gebouwd door elimineren van onzekerheden op basis van monitoring van het gedrag van de (geotechnische) constructie. Wellicht ten overvloede wordt aangegeven dat dit iets anders is, dan het verlagen van het vereiste veiligheidsniveau. Het doel van de Observational Method is niet primair om de (partiële) veiligheidsfactoren te verlagen. Dat is iets wat in principe wel mogelijk is op het moment dat er sprake is van 'bewezen sterkte', maar hierop wordt in deze handreiking niet verder ingegaan. Zie hiervoor CUR 2008-2.

Door tijdens de uitvoering informatie in te winnen in de vorm van monitoring neemt de onzekerheid over het gedrag af. Daarbij is het belangrijk dat informatie wordt verkregen over de maatgevende grenstoestand. Is er bij een ontwerpsituatie sprake van een variabele belasting of een calamiteitbelasting, dan kan tijdens de aanleg een verkeerd beeld worden verkregen van de werkelijke situatie; tijdens de monitoring zijn deze belastingen wellicht niet aanwezig. In dat geval kan de ontwerpsituatie na kalibratie van de parameters alsnog door berekening worden getoetst. De Observational Method kan dan worden toegepast onder de voorwaarde dat het bezwijkmechanisme door deze aanvullende belastingen niet wijzigt en de algemene eis dat precies bekend is onder welke belastingen de metingen zijn gedaan. Deze extrapolatie kan slechts worden toegepast onder de volgende voorwaarden:

- er is een betrouwbaar berekeningsmodel (met belastingfactoren om de effecten van de variabele- of calamiteitenbelasting in rekening te brengen);
- er is voldoende inzicht in eventueel niet-lineair gedrag.

Indien deformaties maatgevend zijn voor het ontwerp, maatgevende grenstoestand BGT, moet monitoring uitsluitend geven over de dominante grondparameters, waarvoor aannamen zijn gedaan voor het startscenario. Dit bijvoorbeeld aan de hand van deformatiegedrag tijdens de aanleg van de constructie.

Is voor een constructie de sterkte maatgevend (uiterste grenstoestand UGT), dan moet de monitoring relevante informatie opleveren over het bezwijkmechanisme van de (geotechnische) constructie (onderdelen).

De overige parameters moeten volgens de gebruikelijke procedure in Eurocode 7 zijn vastgesteld.

3.3.3 Aandachtspunten bij toepassen van de Observational Method

In hoofdstuk 2 zijn de voorwaarden voor toepassing van de methode al genoemd. Hieronder worden kort nog de relevante punten genoemd, specifiek vanuit het ontwerp perspectief:

- Een range van mogelijk gedrag moet zijn vastgesteld en er moet aangetoond zijn dat er een acceptabele kans is dat het feitelijke gedrag zich bevindt tussen de voorgestelde grenzen.
- Het bezwijkgedrag van de geotechnische constructie moet voldoende flexibel zijn, dat wil zeggen volgens geleidelijke en langzame bezwijkprocessen, om tijd te hebben om te kunnen schakelen tussen de ontwerp scenario's. Meervoudig statisch onbe-

paalde constructies hebben vaak een bros, progressief bezwijkgedrag.

- In principe zijn de gekozen (grond)parameterwaarden subjectief en mede afhankelijk van de ervaring van de ontwerper bij soortgelijke constructies en vergelijkbare grondslag. Over het algemeen zal gelden dat het eerder noodzakelijk zal zijn om over te stappen naar een ander scenario, wanneer waarden voor parameters worden gehanteerd die buiten de range van lage en hoge waarden uit Tabel 2b van NEN 9997-1 vallen.
- Bij het vaststellen van de grenswaarden moet rekening zijn gehouden met de actuele belasting-situatie. Maatgevende veranderlijke belastingen, verkeersbelastingen en dergelijke, zijn zeer waarschijnlijk nog niet aanwezig tijdens de bouwfase.
- Er moeten schakelwaarden voor de monitoring worden vastgesteld om de voorbereidingen voor een schakelmoment naar een ander ontwerpscenario vast te stellen.
- De monitoring moet zo worden ingericht dat de precisie en de nauwkeurigheid voldoende zijn. De nauwkeurigheid van de resultaten worden vergroot door meetwaarden in een grafiek tegen de tijd te presenteren.
- Voor specifieke geotechnische modellen wordt vaak op basis van ervaring de modelonzekerheid in de keuze van de parameterwaarde verwerkt. Bij toepassing van de Observational Method moet dit expliciet worden gemaakt.

4.1 Rollen en taken

De projectuitvoering met de Observational Method wordt gekenmerkt door uitvoeringscontrole (visuele inspecties) en monitoring. Hiermee wordt vastgesteld of het gedrag overeenkomt met de verwachting van het gekozen uitvoeringsscenario. Als het gedrag afwijkt van de verwachting dan wordt het uitvoeringsscenario aangepast.

Deze werkwijze genereert via monitoring en uitvoeringscontrole tijdens de bouwfase relevante informatie over de geldigheid van de gehanteerde *geotechnische en geometrische uitgangspunten*. De ingewonnen informatie bepaalt of er een *schakelmoment* moet worden ingelast.

Binnen deze context is het heel belangrijk om goede afspraken over rolverdeling en communicatie te maken. Alleen op die manier kan een ontwerp met de Observational Method ook veilig worden uitgevoerd. Ook externe partijen zullen overtuigd moeten worden van

een veilige toepassing van de methode, waarbij dus naast een goed ontwerp ook een goede organisatie beoordeeld moet worden.

Bij het toepassen van de Observational Method kunnen de diverse taken worden gekoppeld aan verschillende rollen in het bouwproces. De rollen en taken zijn in principe onafhankelijk van de contractvorm; de rollen worden ingevuld door de opdrachtgever of door de opdrachtnemer. Bij de Observational Method kunnen diverse rollen worden onderscheiden; zie tabel 2. In veel gevallen zal de methode worden toegepast in een vorm van een Design&Construct contract, waarbij de uitvoerende partij ook verantwoordelijk is voor het ontwerp.

Om externe partijen te overtuigen van een veilige uitvoering van een ontwerp met de Observational Method is het belangrijk om het totale ontwerp met hen af te stemmen, dus inclusief organisatie en plan van aanpak. Een vergunningverlener geeft dus een vergunning op

Tabel 2. Rollen en taken bij de Observational Method

	Rol bij Observational Method	Taken
A1	Externe partij: Bevoegd gezag Vergunningsverlener Verzekeraar Eindgebruiker	Formele goedkeuring op ontwerp
A2	Opdrachtgever of hoofdaannemer	Toetst uitvoeringsscenario's met bijbehorend ontwerp en keuze tot schakelmomenten. Hierin spelen immateriële risico's (politiek, imago) ook een rol.
B1	Beslisser	Beslissen over schakelmoment/informer van Opdrachtgever/terugkoppelen beslissing naar Adviseur/informer van de externe partijen/informer van opdrachtgever
C1	Adviseur	Uitwerken uitvoeringsscenario's/Opstellen (laten opstellen). Monitoringsplan/Afstemming met Monitoring coördinator/Interne opdrachtgever voor ICT-presentatie en verwerking (laten verwerken) van gegevens/Advies aan Beslisser over schakelmoment
C2	Hoofduitvoerder	Effectieve projectuitvoering/aanpassen van werkwijze na schakelmoment/Vrijgave van bouwproject
D1	Monitoring coördinator	Aansturen Meetploeg/beoordeling en QA van meetgegevens en verwerking/terugkoppelen aan Beslisser /bewaken van signaleringswaarden/overleg met Adviseur over waargenomen gedrag
D2	Meetploeg	Uitvoeren van metingen/Informer van ICT en Monitoring coördinator
D3	ICT-presentatie	Data presentatie/verwerking van gegevens/ regelmatige communicatie met monitoring coördinator

het complete pakket als alle scenario's veilig zijn en het Plan van Aanpak uitvoerbaar is.

Het ligt voor de hand om de rol van Monitoring Coördinator (D1) als onafhankelijke te zien ten opzichte van de Hoofduitvoerder (C2). De belangen die aan deze rollen zijn gekoppeld zijn principieel verschillend; de Monitoring Coördinator werkt samen met de Adviseur (C1) en de Beslisser (B1) aan het benodigde kwaliteitsniveau (op tijd schakelen naar een voldoende veiligheidsniveau) en de Hoofduitvoerder (C2) moet het project in zo kort mogelijke tijd en met minimale kosten afronden. De rollen kunnen dus niet worden gecombineerd. Ook een combinatie van Beslisser (B1) en Adviseur (C1) kan leiden tot een conflict van belangen. Een beslisser overweegt naast de technische aspecten ook de "politieke" aspecten.

Het monitoringsplan kan een onderdeel vormen van het zogenoemde risicobeheersplan. Het doel van het monitoringsplan is het vastleggen van een kader waarbinnen monitoringsactiviteiten plaatsvinden. Hieruit moet voor alle betrokken partijen duidelijk worden waarom, wat, waar en hoe gemonitord wordt en wie op welke wijze gegevens ontsluit. Hoe de ontsloten gegevens vervolgens worden aangewend en wanneer dit volgens de schakelwaarden wordt verlangd. De schakelwaarden zijn ook in het monitoringsplan opgenomen.

In het monitoringsplan moet zijn vastgelegd hoe de verantwoordelijkheden zijn verdeeld, hoe het beslisproces eruit ziet en vanuit welke rollen de benodigde werkzaamheden (taken) worden uitgevoerd. Tevens wordt de personele invulling van de rollen vastgelegd, waarbij eventueel de rol van Adviseur (C1) en de rol van Monitoring coördinator (D1) kan worden gecombineerd bij dezelfde persoon.

4.2 Communicatie tussen ontwerp, werkvoorbereiding en uitvoering

Ontwerp en planning moeten op een dusdanige manier samenkomen dat de Observational Method kan worden toegepast. Hiervoor is organisatie van de projectuitvoering belangrijk. Hiervoor is een duidelijke verdeling van taken en verantwoordelijkheden noodzakelijk. Het moet bij de projectuitvoering duidelijk zijn dat toepassing van de Observational Method een door monitoring gestuurd ontwerp betekent. Als dit niet duidelijk is kan het erin resulteren dat de Adviseur veel tijd aan de uitvoering moet besteden (bouwkuipinspecties etc).

Op de bouwplaats moet het duidelijk zijn dat middels alarmwaarden ruim op tijd wordt gewaarschuwd voor onveilige situaties. Bij automatische alarmering behoeft de Adviseur niet permanent aanwezig te zijn maar

moet voeling houden met het project; dus regelmatige inspecties en beschouwing van meetdata.

Het monitoringsplan (als onderdeel van een risicobeheersplan) moet op werkplanniveau minimaal de volgende informatie bevatten (voor meer informatie zie CUR 223):

- Monitoringsplanning afgestemd op de totale werkplanning;
- Beschrijving van de scenario's, het startscenario met de schakelwaarden voor de meetparameters;
- Grafische weergave van het voorspelde constructiegedrag aan de hand van de te meten kenmerkende grootheden. Via de grafische weergave kan een goede indruk van de actuele snelheid van het (deformatie)proces worden verkregen;
- Type meting, meetfrequentie, nauwkeurigheden en meetbezetting (24 uur, 7 dagen per week?);
- Rapportagetijdstippen naar Beslisser en benodigde verwerkingssnelheid van meetgegevens;
- Details van de grafische presentatie van de waarnemingen;
- Benodigde signaleringstijd tot een schakelmoment.

4.3 Gebruik van monitoring

Bij monitoring wordt vaak gewerkt met Signaal- en Interventiewaarden. Wanneer een signaalwaarde wordt overschreden betekent dit extra waakzaamheid ten aanzien van het doel waarvoor wordt gemeten. Bij overschrijding van een interventiewaarde wordt de bouw stil gelegd en/of worden maatregelen genomen om verder te kunnen bouwen. Bij toepassing van de Observational Method wordt ook aanbevolen om gebruik te maken van een dergelijk systeem. Wel wordt aanbevolen om niet de term 'interventie' te gebruiken aangezien er feitelijk niet sprake is van een ongewenste overschrijding, maar een overschrijding van een gekozen scenario waarbij is voorzien dat overgestapt kan worden naar een ander scenario. Daarom kunnen beter de termen Signaal- en Overstapwaarden worden gebruikt, of meer algemeen de term schakelwaarden. Bij het gebruik van schakelwaarden is het belangrijk dat de meetdata in grafische vorm beschikbaar zijn. Alleen dan zijn trends namelijk goed te zien, waarbij in een tabel (of nog erger in een meetbestand) trends niet altijd duidelijk zichtbaar zijn. Een grafische weergave geeft met name een duidelijk zicht als er sprake is van een versnelling in de trend of als er onduidelijke of onverwachte meetresultaten zijn. De Monitoring Coördinator moet de meetdata vergelijken met de prognose en hierover contact onderhouden met de Adviseur. De rapportage van de meetparameters naar de Beslisser

en de Adviseur moet in grafische vorm plaatsvinden. Wordt vastgesteld dat het constructiegedrag afwijkt van de prognose en de schakelwaarde voor de meetparameter wordt dicht genaderd, dan is overleg tussen de Beslisser/Adviseur/Monitoring Coördinator op korte termijn noodzakelijk.

Op het moment dat duidelijk is dat de schakelwaarde voor de meetparameter zal worden overschreden moet de beslissing worden genomen om een aangepast, conservatiever uitvoeringsscenario te gaan volgen, conform het plan van aanpak. De situatie waarbij een gunstig gedrag wordt waargenomen kan ook aanleiding zijn om naar een optimaler scenario over te schakelen, bijvoorbeeld een reductie van het aantal bouwputstempels.

Voor aanbevelingen over toepassing van monitoring wordt verwezen naar CUR 223, Meten en monitoren van bouwputten. Hierin wordt uitgebreid beschreven aan welke eisen een goed monitoringsplan moet voldoen.

4.4 Enkele voorbeelden uit case studies

In de praktijk worden vaak voorafgaand aan de feitelijke bouw op 1:1-schaal proeven uitgevoerd. Daarbij is dan voldoende tijd om een aangepaste werkwijze voor het project te kiezen (cases B1 en B2).

In het geval Betuweroute (case B6) bleek dat de procedure voor het schakelmoment en de verantwoordelijkheden niet goed waren vastgelegd. Er is een ongewenste discussie over de kosten op gang gekomen wat tot vertraging van het handelen heeft geleid.

Voor het project Tramtunnel Den Haag (case B7) zijn op 24/7 uur basis de waterdrukken in de bodem gemeten en beoordeeld. Aan de hand van signaleringswaarden is de pompcapaciteit bijgesteld.

Allagnat, D. (editor) La Méthode observationnelle pour le dimensionnement interactif des ouvrages. Guide Technique, Presses de l'ENPC (The observational method for the interactive design of structures), 2005.

Chapman, T. and Green, G. Observational method looks set to cut city building costs. Proceedings of ICE Civil Engineering 157, 125–133 Paper 13416. Gouda, 2004.

CUR 2008-2. Van onzekerheid naar betrouwbaarheid. DelftCluster/CUR Bouw&Infra, 2008

CUR 223. Richtlijn meten en monitoren van bouwputten voor kwaliteits- en risicomanagement. DelftCluster/CUR Bouw & Infra, Gouda, 2000.

Grote, B.J.H. en van Dalen, J.H. 2012. Onzeker kalksteen in grip met Observational Method, Land + Water, 12.

Hitchcock, A. Elimination of temporary propping using the observational method on the Heathrow airside road tunnel project. Ground Engineering Magazine. Vol. 36, No. 5, 30-33, 2003.

Huybrechts, N. Design Tools in Geotechnics – Observational Method and Finite Element Method. GeoTechNet Project GTC2-2000-33033, WP3: Innovation, 2000.

Kamp, R.A.J. van de, Observatiemethode voor diepe bouwputten met voorbeeldstudie Station Vijzelgracht, eindrapportage afstudeeronderzoek, TU Delft, 2003.

Katzenbach et al. Safety Assurance for Challenging Geotechnical Civil Engineering Constructions in Urban Areas. Open Journal of Civil Engineering, 3, 33-38, 2013.

Korevaar, M. De Observational Method, Onderzoek naar een veilige toepassing van deze methode voor bouwkuipen (In Dutch), afstudeeronderzoek TU Delft, 2012.

Lee, S. Application of the observational method for railway earthwork stabilisation in the UK. Presentation DGF Geotechnisk monitoring og observationsmetoden, Kopenhagen, 2012.

Muir Wood, A.M. Tunnelling: management by design, Londen: E & FN Spon, pp 65-69, 2000. NEN-EN 1997-1+C1:2012 (Eurocode 7).

NEN 9997-1+C1:2012, Nederlandse norm, Geotechnisch ontwerp van constructies – Deel 1: Algemene regels

Nicholson, D, Tse, C and Penny, C. . The Observational Method in ground engineering – principles and applications. Report 185, CIRIA, London, 1999.

Nossan, A.S. Observations on the Observational Method. XIII. Danube-European Conference on Geotechnical Engineering. Logar, J., Gaberc, A., Majes, B. (ed). - Ljubljana : Slovenian Geotechnical Society. 171-178, 2006.

Peck, R.B. Advantages and limitations of the observational method in applied soil mechanics. Geotechnique, 19 2, pp 171-187, 1969.

Patel, D., Nicholson, D., Huybrechts, N. and Maertens, J. The Observational Method in Geotechnics. Proceedings of the 14th ECSMG: Madrid, Spain. Vol. 2, 365-370, 2007

Powderham, A. J. An overview of the observational method: development in cut and cover bored tunnelling projects. Géotechnique, 44 (4), 619-636, 1994.

Powderham, A. J. (1998). The observational method– application through progressive modification. Civil Engineering Practice: Journal of the Boston Society of Civil Engineers Section/ASCE, 13 (2), 87-110

Schmitt, P. and Schlosser, F. La méthode observationnelle : du suivi géotechnique au dimensionnement interactif (in French)) Travaux (Paris) Y. 2007, No. 844, 99-106, 2007.

Observational Method in NEN-EN 1997-1 (Eurocode 7)

Volgens NEN-EN 1997-1 is het gedrag van een constructie verzekerd als geen grenstoestand wordt overschreden. Grenstoelstanden kunnen zowel in de ondergrond als in de constructie als door gezamenlijk bezwijken van constructie en ondergrond optreden. In de praktijk is vaak uit ervaring bekend welk soort grenstoestand maatgevend is voor het ontwerp. Een eenvoudige controle volstaat dan om aan te tonen dat andere grenstoelstanden niet maatgevend zijn; H 2.1. Zowel de korte termijn als de lange termijn ontwerp situaties moeten zijn beschouwd; H 2.2 (1). Bij de toetsing van de grenstoelstanden wordt onderscheid gemaakt in uiterste grenstoelstanden (UGT) en bruikbaarheidsgrenstoelstanden (BGT).

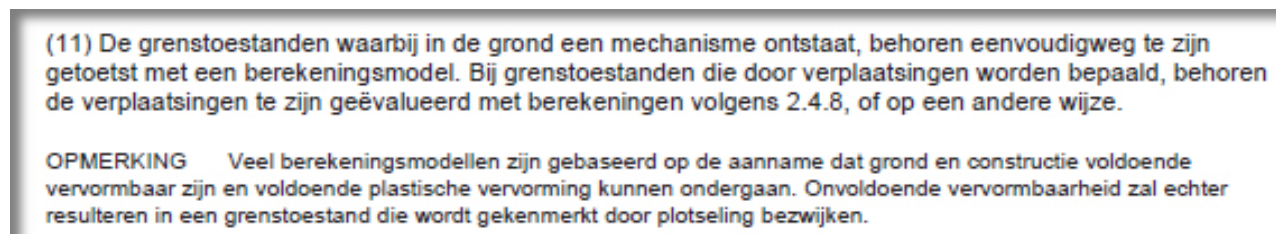
De uiterste grenstoelstanden zijn; H 2.4.7.1:

- Verlies aan evenwicht van de constructie of ondergrond (EQU)
- Intern bezwijken of uitzonderlijke vervorming van de constructie of onderdelen hiervan (STR)
- Bezwijken of uitzonderlijke vervorming van de ondergrond (GEO)
- Verlies van evenwicht van de constructie of de ondergrond door opwaartse druk of andere verticale belastingen (UPL)
- Hydraulische grondbreuk, interne erosie en erosie door geconcentreerde grondwaterstroming (piping) (HYD)

Voor de bruikbaarheidsgrenstoelstanden moet gelden; H 2.4.8:

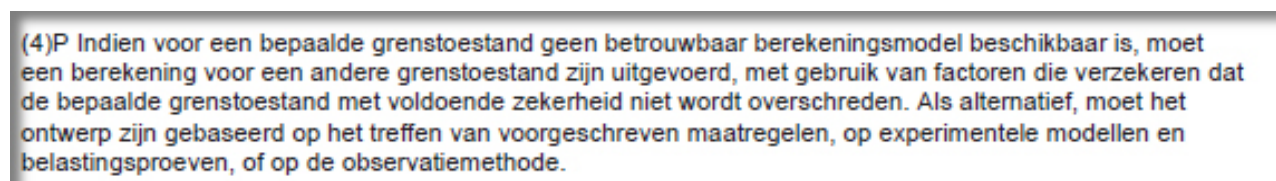
- De rekenwaarde van het belastingeffect moet kleiner of gelijk zijn aan de grenswaarde van het van toepassing zijnde bruikbaarheidscriterium of, er mag worden aangenomen dat aan de BGT is voldaan indien:
- Er geen bepaalde waarde van de vervorming is vereist, en
- Aantoonbare en vergelijkbare ervaring bestaat met soortgelijke ondergrond, constructies en gebruiksmethode

Volgens NEN-EN 1997-1 geldt dat grenstoelstanden waarbij in de grond een mechanisme ontstaat, eenvoudigweg behoren te zijn getoetst met een rekenmodel; H2.4.1. Zie Figuur A.1.



Figuur A1 Citaat NEN-EN 1997-1 2.4.1

Hierbij is tevens gesteld dat bij grenstoelstanden die door verplaatsingen worden bepaald, de verplaatsingen behoren te zijn geëvalueerd met berekeningen van de bruikbaarheidstoestand (BGT), of op een andere wijze. Hier komt de Observational Method in beeld. In H 2.4.2 wordt de observatiemethode (OM) als alternatieve aanpak geïntroduceerd. Zie figuur 4.2.



Figuur A.2 Citaat NEN-EN 1997-1 H 2.4.1

In H 2.7 (1) wordt geëist dat het ontwerp voortdurend tijdens de bouw wordt beoordeeld. In dit kader wordt gedurende de bouw de maatgevende grenstoestand beoordeeld en daarbij hoort een controle of de andere grenstoestanden niet worden overschreden.

In H 2.7 (2) worden de eisen genoemd waaraan moet worden voldaan voordat aan de bouw wordt begonnen. Zie figuur A.3.

2.7 Observatiemethode

(1) Indien het moeilijk is om het geotechnisch gedrag te voorspellen, kan de methode worden gebruikt die bekend staat onder de naam observatiemethode, waarbij het ontwerp gedurende de bouw wordt beoordeeld en zo nodig bijgestuurd.

(2)P Aan de volgende eisen moet zijn voldaan voordat met de bouw wordt gestart:

- er moeten aanvaardbare grenzen van het gedrag zijn vastgesteld;
- de mate waarin het gedrag kan variëren moet zijn vastgesteld en aangetoond moet zijn dat het werkelijke gedrag met aanvaardbare waarschijnlijkheid binnen aanvaardbare grenzen blijft;
- er moet een monitoringplan zijn opgesteld, waaruit kan worden afgeleid of het werkelijke gedrag binnen aanvaardbare grenzen blijft. Uit de monitoring moet dit in een vroeg stadium duidelijk worden, en met voldoende korte tijdsintervallen om in staat te zijn succesvol mitigerende maatregelen te nemen;
- de reactietijd van de apparatuur moet voldoende kort zijn en de procedure voor de analyse van de resultaten moet voldoende snel zijn, gelet op de mogelijke ontwikkelingen van het gehele systeem;
- er moet een plan voor mitigerende maatregelen zijn opgesteld, dat kan worden aangepast indien uit de monitoring blijkt dat de aanvaardbare grenzen van het gedrag van de constructie worden overschreden.

(3)P Tijdens de bouw moet de monitoring worden uitgevoerd zoals is voorzien.

(4)P De resultaten van de monitoring moeten op geschikte tijdsintervallen worden beoordeeld en de voorziene mitigerende maatregelen moeten worden uitgevoerd indien de grenzen van het gedrag van de constructie worden overschreden.

(5)P Monitoringsapparatuur moet of worden vervangen of worden uitgebreid indien een bepaald soort gegevens onbetrouwbaar is of in onvoldoende mate wordt verkregen.

Figuur A.3 Citaat NEN-EN 1997-1 H 2.7

B.1 Overzicht in tabelvorm

Case	Constructietype	BGT	UGT	Monitoring
Aanvoerweg voor zware modules in Afrika	Grondconstructie, draagkracht		X	Zakking, waterspanningen
Voorbelasting begraafplaats Hardinxveld-Giessendam	Grondconstructie, stabiliteit		X	Zakking, waterspanningen
Tankput 6 te Vlissingen	Vloeistofkering, trillingshinder	X		Trilling metingen
Betuweroute	Grondconstructie, stabiliteit	X		Zakking, waterspanningen
Tramtunnel Den Haag	Grondconstructie, stabiliteit		X	Waterspanningen
Computercentrum bij HSL tunnel Rotterdam Noordrand	Fundering, trillingshinder	X		Trilling meten
Tunnel A2 Maastricht	Bouwput, stempelraam		x	Krachtmetingen stempel

B.2 Aanvoerweg voor zware modules in Afrika

De Observational Method is toegepast voor het funderingsontwerp voor een toegangsroute naar een raffinaderij. Over de weg van circa 2 km moesten grote modules (tot 7700 kN) worden getransporteerd. Onderzoek had uitgewezen dat het geotechnische vraagstuk bestond uit de bepaling van het plain strain draagvermogen van een stijvere toplaag van 1,5 m boven een pakket van 10-15 m zachte normaal geconsolideerde klei.

B.2.1 Hoe de Observational Method is toegepast

Vooraf zijn grondonderzoek en berekeningen op verschillende manieren uitgevoerd. De berekeningen zijn gekalibreerd met 1:1 proefbelastingen. Vervolgens is begonnen met het transport van de lichtste modules. Tijdens elk transport werd het gedrag van de ondergrond gemeten en geëvalueerd of het volgende zwaardere transport ook kon plaatsvinden. Op basis hiervan kon de beslissing genomen worden om een groot deel van de weg een vrij lichte fundering te geven, deels een zwaardere fundering aan te brengen en de slechtste stukken op palen te funderen.

B.2.2 Wat de Observational Method opleverde

Omdat slechts kleinere delen van de hele weg zwaarder gefundeerd hoefden te worden is een aanzienlijke kostenbesparing gerealiseerd. Daarnaast is het proces beter beheersbaar geworden en de beheersing van de uitvoering verbeterd.

B.2.3 Belangrijkste lessen

Het meetsysteem moet vooraf in detail worden ontworpen (zeker in een low-tech omgeving). In dit project waren bijvoorbeeld de hellingmeetbuizen niet vast verankerd in diepe grondlagen. Dit maakte de meetgegevens onbruikbaar.

Er is een on-line meetsysteem nodig om een on-line terugkoppelmechanisme mogelijk te maken.

B.3 Voorbelasting Uitbreiding Begraafplaats Hardinxveld-Giessendam

De gemeente Hardinxveld-Giessendam wilde de begraafplaats uitbreiden. Hiervoor moest een nabijgelegen weiland worden opgehoogd tot het niveau van de bestaande begraafplaats. De Observational Method is hierbij ingezet om met de risico's van afschuiven en squeezing om te gaan. Tijdens de uitvoering zou de stabiliteit, op basis van een relatief positieve inschatting van de karakteristieke waarden, 1,01 bedragen bij een talud van 1:2. In de uitvoering moest het talud steiler opgezet worden (ongeveer 1:1), omdat anders de voorbelasting niet voldoende breed voor de toegang van zandauto's.

B.3.1 Hoe de Observational Method is toegepast

Vooraf is grondonderzoek en zijn berekeningen uitgevoerd. Tijdens de uitvoering zijn waterspanning en zakking gemonitord. Het optimale moment voor elke ophoogslag is hiermee bepaald op basis van de afname van de waterspanningen.

De resultaten van de monitoring werden ook gebruikt om de inzet te bepalen van een van de mogelijke bijstuuringsmaatregelen:

- Verlaging voorbelasting;
- Langzamer ophoogtempo;
- Verflauwen talud;
- Aanbrengen steunberm ter plaatse van watergang

B.3.2 Wat de Observational Method opleverde

Door het optimale ophoogschema is een tijdsbesparing van zeker enige maanden behaald. Het terrein was tijdens de uitvoering veel beter bereikbaar, waardoor de aannemer op de aanvoerkosten voor het zand zal hebben bespaard.

Ondanks de - op basis van gunstige grondparameters - berekende lage stabiliteit is de voorbelasting zonder bezwijken aangebracht. Hierbij waren uiteindelijk geen aanpassingen aan het ontwerp nodig.

B.3.3 Belangrijkste lessen

Bij dit soort projecten is het zeer belangrijk dat er praktische ervaring aanwezig is over uitvoeringstechnische mogelijkheden en onmogelijkheden. Er moet expliciet vastgelegd worden welke risico's er zijn en welke maatregelen bij welk mechanisme genomen dienen te worden.

Automatische verwerking van metingen verhoogt de slagkracht en reactiesnelheid.

B.4 Tankput 6 te Vlissingen

In het havengebied van Vlissingen zijn 9 tanks gebouwd. Onderdeel hiervan is een damwand als vloeistofdichte kering rondom de tankput. Op 2,5 meter naast de damwand bevindt zich een 40 jaar oude koelwaterleiding. Deze leiding mocht geen schade oplopen aangezien dan een groot deel van het havengebied buiten bedrijf is gesteld. Schade zou kunnen optreden door (verschil)zettingen of breuk, beide als gevolg van trillingen. Vanwege de grondslag was trilling arm of trillingvrij installeren niet mogelijk. De Observational method is daarom ingezet voor risicobeheersing.

B.4.1 Hoe de Observational Method is toegepast

Vooraf zijn een trilling risicoanalyse en een monitoringsplan opgesteld. In het plan waren grenswaarden opgesteld voor de deformatie van de leiding (gemeten met zakbaken) en voor de verdichting van het zand (gerelateerd aan versnellingswaarde, gemeten met vibroconussen).

Er waren vooraf 3 mogelijke maatregelen vastgesteld:

1. Inwateren van het terrein. In nat zand kan een damwand makkelijker ingebracht worden.
2. Trillen met een zwaarder blok met een lagere slagkracht
3. Voorboren ter plaatse van de damwand

Er is gestart op veilige afstand zonder dat overschrijdingen optraden. Naar de leiding toe werkend, werden de grenswaarden voor de versnelling overschreden. De eerste maatregel, inwateren van het terrein, was niet afdoende om veilig door te gaan. Na toepassen van een zwaarder trilblok en met voorboren van de slotlocaties van de damwandplank, bleek dat de grenswaarde voor trillingen nog steeds overschreden werd. Hierop is er besloten enig risico op schade aan de leiding te accepteren, om het installatiewerk af te kunnen maken. Na inbrengen is gecontroleerd of de leiding geen schade heeft opgelopen.

B.4.2 Wat de toepassing van de Observational Method heeft opgeleverd

Alle damwanden zijn geïnstalleerd en de leiding heeft geen schade opgelopen. Vanwege de monitoringswerkzaamheden heeft het project langer geduurd. Besluiten op hoger niveau (bijstellen uitgangspunten/randvoorwaarden) vergden meer tijd dan uitvoeringstechnische oplossingen.

B.4.3 Belangrijke lessen

Altijd geotechnische risico's afbakenen, zeker als bebouwing of leidingen op korte afstand aanwezig zijn

B.5 Betuweroute

Tussen Sliedrecht en Gorinchem moest 9 km van de Betuweroute worden aangelegd langs bestaand spoor. Omdat dit intensief gebruikt wordt, was verstoring van het verkeer als gevolg van schade aan het spoor onacceptabel. De beschikbare tijd was beperkt en de ondergrond van lage kwaliteit. Oorspronkelijk was er een damwand gepland tussen de twee aarden banen. Aan het aanbrengen en het verwijderen (zakking door verdichting) van de damwanden (ontstaan van wellen) waren grote risico's verbonden. Daarom is besloten met de Observational Method te werken.

B.5.1 Hoe de Observational Method is toegepast

Er is grondonderzoek uitgevoerd en er zijn voorspellingen gedaan met MSettle en Plaxis (de op dat moment nieuwe soft soil creep module). Vervolgens zijn er twee proefophogingen aangelegd om sterkte- en vervormingsparameters te kalibreren.

Monitoring is op drie manieren gedaan:

1. rail geometrie (relatieve vervorming) van het bestaande spoor, voor de veiligheid daarvan
2. Geodetische metingen om de absolute vervorming van het spoor en de bovenleidingpalen te bepalen.
3. Geotechnische monitoring van grondwater (peilbuizen) en horizontale beweging (inclinometers)

B.5.2 Wat de Observational Method heeft opgeleverd

Een extra investering in monitoring en toezicht van 0,2 M€ leverde een besparing van 4 M€.

B.5.3 Belangrijke lessen

De projectorganisatie moet de monitoringsgegevens snel genoeg kunnen beoordelen om op tijd actie te kunnen nemen. Het is belangrijk dat duidelijk is wie verantwoordelijk is voor de verschillende onderdelen (inwinnen van gegevens, interpretatie, beslissingsbevoegdheid). Wanneer er een onverwachte gebeurtenis optreedt, dan moet er niet eerst gediscussieerd worden over de kosten, maar direct opgetreden worden.

B.6 Tramtunnel Den Haag

De tramtunnel van Den Haag is gelegen onder het drukste winkelgebied van het stadscentrum en combineert een tramlijn met ondergrondse stations met een parkeergarage. Op het diepste punt bestaat de tunnel uit 3 niveaus tot 13 meter diep. In 1998 ontstond er een lek in een jetgroutboog die onder de tunnel moest zorgen voor een waterafsluitende laag. Dit leidde tot zanderosie die als verzakking aan het maaiveld optraden. Om de instroom van zand te stoppen en de nabijgelegen gebouwen te beschermen is de tunnel deels onder water gezet en hebben de werkzaamheden 2 jaar stil gelegen. Op de plaats van de lek werd besloten onder verhoogde luchtdruk verder te bouwen. Een deel van de tunnel had geen jetgrout, maar een soft gel afsluitende laag. Hier bleek een groot deel van de capaciteit van de bemaling verloren gegaan te zijn. Er werden extra bemalingen aangelegd, maar deze raakten binnen enkele dagen verstopt, door een reactie tussen de soft gel en organisch materiaal in de bodem. Observational Method is hier toegepast om het project te kunnen afronden

De Observational Method moet geïntegreerd zijn in het algehele risicomanagement. Er zijn veel meer partijen betrokken bij een project dan op het eerste gezicht gedacht wordt. Wanneer ze zich allemaal inzetten voor de Observational Method kan dat veel opleveren.

B.6.1 Hoe de Observational Method is toegepast

Er is grondonderzoek uitgevoerd en er zijn voorspellingen uitgevoerd. Op basis hiervan is bepaald dat ontgraving mogelijk was met een bemaling in grindkolommen, wanneer de stijghoogte nauwkeurig gemonitord zou worden met een dicht grid van piëzometers.

B.6.2 Wat de Observational Method heeft opgeleverd

De Observational method maakte beheersing van de stabiliteit van de bouwput mogelijk, leidde tot een reductie van schade aan de belendingen en een twee keer sneller bouwproces.

De werkzaamheden onder verhoogde luchtdruk konden beperkt worden. Dit leverde een grote kostenreductie voor dit deel van de werkzaamheden op.

B.6.3 Belangrijke lessen

Voor toepassing van de Observational Method moet er voldoende flexibiliteit zijn in het ontwerp en de bouwplannen.

B.7 Trillingshinder bij een computercentrum nabij de HSL Tunnel Rotterdam Noordrand

Op 30 meter van een bouwput voor een HSL tunnel bevindt zich een computercentrum met computerapparatuur van een financiële instelling die gevoelig is voor trillingen. Vanwege de kosten was een trilling arm systeem (vibro-combinatiepalen) gewenst. Vanwege de gevoeligheid voor trillingen was de toepassing van een trillingvrij funderingssysteem gewenst, de beheerder van het computercentrum had hier mogelijkheid om procedure te vertragen. Om vertraging te voorkomen is besloten toch trilling arm te gaan werken en dit te monitoren.

B.7.1 Hoe de Observational Method is toegepast

Ook na (zeer) geavanceerde metingen en berekeningen van TNO Bouw resteerde er bij aanvang van de bouw nog steeds een onacceptabele kans op overschrijding van de trillingsgrenzen. Aangezien de bouwwerkzaamheden op meer dan 1.5 km afstand begonnen, was het mogelijk enkele full-scale tests te doen om deze prognoses steeds verder te verfijnen.

Er is gemonitord met trillingmeters op het gebouw en in de grond. Op basis van de meetgegevens was het mogelijk om te bij te sturen door:

- Lagere hei-energie
- Toepassing dunnere palen
- Overgaan op trillingvrij paalsysteem

Door de toepassing van stalen kernen zouden de beoogde prefab paalkernen overbodig kunnen worden, maar ook beschikbaar voor toepassing in de opvolgende bouwkuipen. In het paalontwerp van deze kuipen is hier daarom rekening mee gehouden.

B.7.2 Wat de Observational Method opleverde

Doordat er geen oponthoud is ontstaan in de bouwstroom door het niet verkrijgen van toestemming voor het gebruik van een trilling arm systeem is het proces snel verlopen. Doordat er geen trilling arm paalsysteem benodigd was, is er een grote kostenbesparing gerealiseerd.

B.7.3 Belangrijkste lessen

Dat trillingen van binnen het gebouw de eisen doen overschrijden (waarbij overigens de computers niet uitvallen) geeft aan dat de trilling criteria zeer streng zijn. Vroegtijdig aandringen op reële eisen is daarom van belang. Zo kan voorkomen worden dat kostbare maatregelen moeten worden toegepast.

Door de trilling metingen ook op een monitor in het computercentrum te tonen, werd de beheerder beter betrokken.

Observational Method, Case A2 Maastricht

Dalen J.H. van, Servais, R. and Boone, D.C.

Avenue2 consortium (Strukton and Ballast Nedam) The Netherlands

Abstract. The A2 tunnel in Maastricht has been built within a dry building pit with a maximum depth of 22 meters with sheet pile walls, suspended in a cement bentonite trench supported by struts at 2 to 4 levels. Dewatering is done by deepwells. The excavation reaches into Limestone layers so the maximum mobilized passive resistance of the sheet pile wall is depending on the strength parameters of these layers. In the design stage of the project uncertainties occurred about both strength parameters and permeability of the Limestone for a large part of the project. These uncertainties could only partly be reduced by additional soil investigation and in-situ tests, but they were vital for the design of the retaining walls. To combine economical implementation of the project with a very favourable risk profile the "Observational Method" was adapted. This article deals with the background behind the variations in soil conditions and the residual uncertainties. The elaboration of the Observational Method is explained, including the measurement results and the decisional system during the construction. Finally the results of the adaption of this method in the project will be evaluated. In May 2014 the building pit was fully excavated, so final conclusions are drawn.

Keywords. Observational Method, building pit, Limestone, cohesion, passive resistance, permeability, monitoring, dewatering, uncertainty soil conditions, variation in soil conditions, risk profile, economic design.

1. Introduction

The highway A2 in Maastricht is an important route for traffic passing Belgian and German borders. The highway runs straight through the city of Maastricht which causes traffic jams and separates the city into two parts (see also figure 2). Ballast Nedam and Strukton (Avenue2 consortium) are currently building project 'De Groene Loper' which is tackling the traffic issues around Maastricht and melting the city of Maastricht into a unified habitat. Part of this project is the construction of a double deck tunnel underneath Maastricht (see also figure 1). This tunnel is very unique and will be the first double deck tunnel in Europe which is open to all traffic.



Figure 1. Artist impression.

The main part of the tunnel has been built within a cut and cover dry building pit of approximately 16 m deep and 30 m wide. The phreatic groundwater table is approximately 3 m below surface level. A typical cross section is given in figure 3.

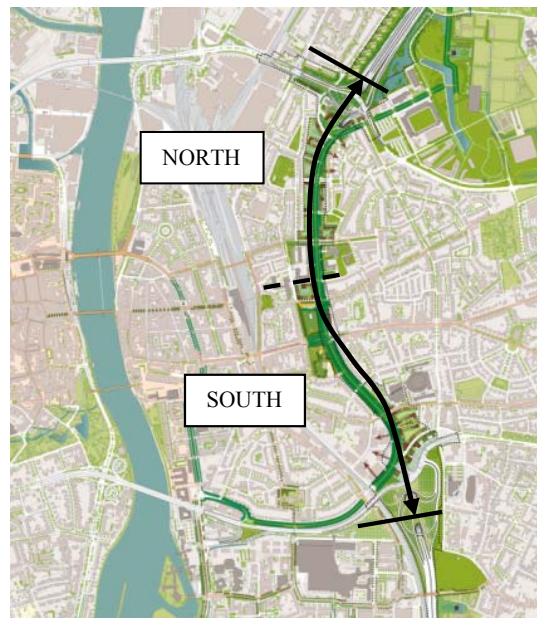


Figure 2. Location of tunnel in Maastricht.

2. Soil investigation and design

As shown in figure 3 the soil consists for a large part of Limestone, a soil type which is, in the Netherlands, exclusively present in the Limburg province. Subsequently, Dutch experience with constructing in this soil type is limited, which is why experts from Belgium and Germany were consulted during the design process and why also part of the soil investigation was carried out by a German consultant.

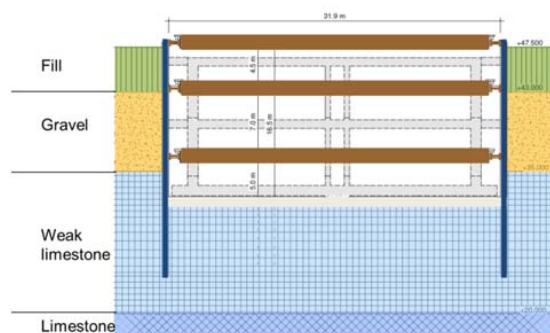


Figure 3. Cross section building pit, including temporary struts and the final construction (dotted lines).

During and prior to the design phase, an extensive soil investigation has been performed in two phases. The soil investigation consists of boreholes including laboratory tests, CPTs and SPTs. Additionally Geophysical tests have been performed to increase knowledge of layer separations and anomalies, such as fractures and Karst phenomena. Due to the local presence of relatively hard layers of rock (flint) within the Limestone, CPTs could not be carried out on all locations.

Based on soil conditions, the tunnel trajectory can be divided into a northern and southern part of about equal sizes. Climatological conditions in the period the Limestone was shaped, caused the Limestone in the Northern part to be less cemented than in the Southern part. Especially the top meters of Limestone of the Northern part are very weak due to weathering. Consequence is that the passive soil resistance, which can be mobilized by the retaining walls, in this part is less than for the Southern part. The lack of passive resistance is especially important for the design of the sheet

pile walls during the deepest excavation phase of the building pit.

The strength of the Limestone has mainly been determined with one-axial unconfined compression tests. For the relevant top layers, in these tests, UCS values of 0.03 to 1 MPa were found for the Northern part and 1 to 8 MPa for the Southern part. Figure 4 shows the relation between saturated volumetric weight and UCS value for both parts.

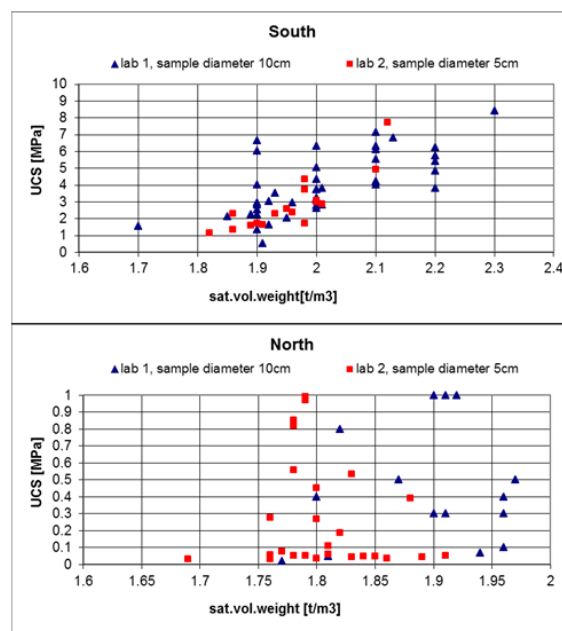


Figure 4: UCS Test results on Limestone for the southern and northern part. Mark the difference in scale.

Figure 4 demonstrates that a clear relation between UCS value and saturated volumetric weight can be derived for the Southern part but not for the Northern part. Remarkable however is the fact that there seems to be a link with the laboratory which performed the tests. Laboratory 2 finds many values <0.1 MPa, laboratory 1 hardly any.

Apart from several FEM analyses, most of the design calculations of the retaining walls have been done with the 'Beam on elastic foundation' model, which also uses a Mohr Coulomb failure condition. For the design, the UCS values have therefore, based on Tirant (1994), been translated into values for internal friction Φ' and cohesion c' (see also table 1).

Table 1: Cohesion (kPa) Limestone used in design (characteristic values), northern part; for all cases the angle of internal friction is 32.5°.

Layer	Thickness	laboratory 1	laboratory 2
Top	1 to 5 m	20	8
Medium	5 to 15 m	40	8
Deep	-	80	80

Two possible causes for the extreme difference between both laboratories were considered: First, the fact that laboratory 2 has trimmed the samples to a relatively small diameter before performing the UCS tests, could have damaged the samples and lead to lower results. However it is also possible that laboratory 1 has tested a non-representative selection of samples, because of the fact that stronger samples are more easily treated to test and/or the samples of the weakest limestone got lost during the drilling process. Comparison with additional in situ measurements (CPTs) has shown that the first explanation is the most plausible, indicating that the results of laboratory 1 would be most representative. However the second cause could not be fully excluded, leading to the conclusion for the design, that a large uncertainty in strength had to be taken into account.

Another issue that influences the passive resistance of the retaining walls is related to the geohydrology during construction. To provide a dry building pit, drainage consisting of deep wells, placed on both sides within the building pit have been applied. Prior drainage tests with tracers indicated a ratio between horizontal and vertical permeability of 5:1. This large ratio ensures almost hydrostatic water pressures as function of depth on the passive side of the retaining walls. If the ratio between horizontal and vertical permeability would locally be lower, this would lead to a more progressive increase of water pressures with depth, thus reducing the passive resistance for the retaining wall. Environmental issues blocked the possibilities for extended investigation on this issue in terms of additional drainage tests.

Both uncertainties mentioned: The strength (cohesion) of the Limestone and the water pressures at the passive side, may have a negative impact on the passive resistance of the wall. It was decided not to base the calculations

of the retaining walls on the worst case situation, but working out the Observational method for this case.

3. Observational Method

The Observational Method is a design method which does not deal with the uncertainty of the subsoil by assuming the worst case scenario and applying the full safety factors. Instead the performance is extensively monitored during construction, and for all foreseeable, but uncertain events, a follow up scenario with mitigation measures is present. These mitigation measures will be applied when and where necessary. In this way, the most economical solution in terms of desired reliability level and investment can be achieved. The moment of taking measures is determined by signal (S) and intervention (I) values.

The case in which no additional measures are needed, is based on the situation where only one of both uncertainties (strength of the soil or water pressure in the passive zone) would be unfavorable at the same location.

Since the passive resistance cannot be measured directly, it was decided to monitor the indirect parameters that change with a decrease of the passive resistance significantly:

- *Monitoring of pore pressure below the excavation level;*

Since too high pore pressures in the passive zone are a major cause for a reduced passive resistance (especially in case of low cohesion for the Limestone), the effectiveness of the dewatering is monitored by monitoring wells.

- *Monitoring of strut forces;*

If the strength (cohesion) of the Limestone is lower than expected, the force in the lower strut will exceed the expected values, with increasing excavation. This strut layer is provided with strain sensors. Since the normal force in the circumference of the pipe may vary due to moments, four strain sensors are spread over the circumference. The S- and I-values are graphically presented in figure 5.

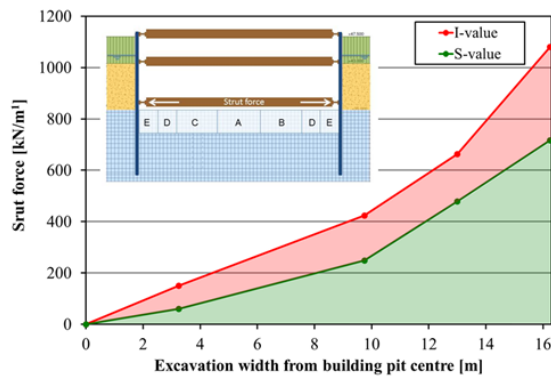


Figure 5: Excavation scheme and pre-calculated force in the deepest strut.

- *Monitoring deformation of the sheet pile foot;*

By monitoring the deflection of the sheet pile wall (from excavation level to bottom sheet pile wall), an indication is received if passive collapse occurs. The foot of the sheet pile wall will undergo a displacement when the passive resistance is too low. The monitoring is performed with inclinometers mounted to the sheet pile wall.

The monitoring data is guarded by S- and I-values that are sent by text message and email.

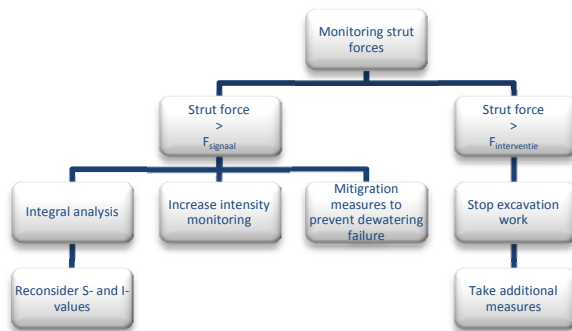


Figure 6: Example decision scheme Observational Method

Important part of the Observational Method is an elaboration of mitigation measures when exceeding the limits (see also figure 6):

- *Increase intensity monitoring;*
The intensity of the monitoring is increased from discontinuous to continuous registration, to gain more accurate information about the situation.

- *Increase capacity dewatering;*
By increasing the capacity of the dewatering, the water pressure in the passive zone is lowered to increase passive resistance.

- *Partially refill the building pit with gravel;*

A 2 m thick layer of gravel is applied on the excavation level to stabilize the building pit.

In case of the last mitigation measure, instability of the building pit (or an undesirable level of safety against instability) is prevented, but to be able to continue construction of the tunnel, one of the following additional measures is taken:

- *Placing an additional strut layer*
An additional strut layer, to be placed underneath the lowest strut layer.

- *Injecting the Limestone.*
If the strength of the Limestone is extremely low (cohesion around 0 kPa), the ultimate measure is to strengthen the Limestone by injecting it to create an underground strut. In this case, it is important that the injection layer may not be closed completely, otherwise there is a chance that uplift will occur.

Since the passive resistance is influenced by various factors and it can be measured only indirectly, always an integral analysis of the situation is carried out when exceeding the S- and I-values.

4. Observations during Construction

The excavations in the Observational Method are carried out between October 2012 and May 2014. Before and after each working day a decision is taken regarding the next execution scenario of the building pit. This decision is based on the monitoring results in relation to the established S- and I-values, building pit inspections and expert insight.

During construction, some adjustments had to be made to the working plan. Originally the

only dewatering elements were the deep wells. To remove effectively the large amount of internal water, released by the Limestone during excavation, additional surface drainage had to be used, in combination with excavation under a gradient. Without these measures clogging of the deep wells occurred, due to the inflow of water, polluted with fine Limestone particles, directly from the building pit floor.

The monitoring systems are extensively described by Galenkamp (2015). The water pressures were continuously monitored in periscopes and, especially in the first excavation stages, some of these pressures exceeded S- and sometimes even the I-values. The maximum observed horizontal sheet pile wall deflection at the excavation level, was very low: 10 mm, where 40 mm was expected for the best case scenario regarding the strength of the Limestone. The continuously monitored strut forces mainly increased during the excavation of part E (see figure 5). After part E is excavated, the forces remained equal; no time effect (consolidation or creep) is observed. Maximum values of about 40% of the expected values were observed.

Originally, the mitigation measure in the case of high water pressures (exceeding the I-value) was to install extra deep wells. Based on the low measured strut forces and sheet pile wall deflections however, it was decided to make a new integral analysis of the situation first. The combination of high water pressures with very low strut forces were in fact an unforeseen scenario. This integral analyse included the back calculations of the strength (cohesion) of the Limestone on the basis of all the monitoring data. The conclusion was that the cohesion of the Limestone is significantly higher than the assumed values, and therefore the higher water pressures could easily be accepted.

5. Back analysis

When approximately 25% of the construction was finished, a comprehensive back analysis has been performed and reported, Servais et al. (2014). This back analysis consists of recalculations with the 'beam on elastic foundation' model and FEM calculations, taking into account the as-built information. Based on

the recalculated strut forces it is concluded that the cohesion and stiffness of the Limestone are at least 3 to 5 times the design values for the best-case scenario (see also figure 7). However, even assuming these higher values, the calculated sheet pile wall deflection in that case is still about 10 times higher than the observed values.

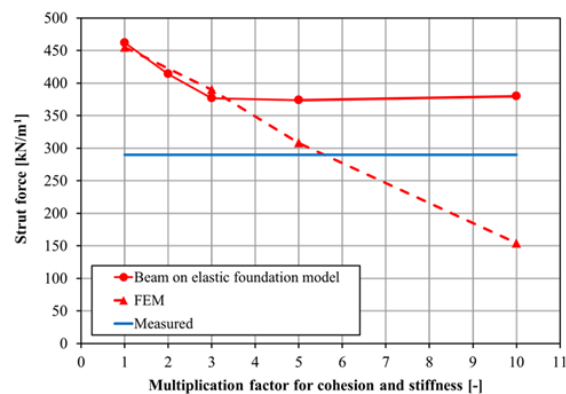


Figure 7: Recalculated strut forces for one location.

Based on these intermediate results, the question came up, if adaption of the Observational Method for the remaining part would be appropriate. New consideration of the existing soil investigation however, learned that for the remaining part to be constructed, soil conditions could be much worse. Therefore, in spite of the good results based on the monitoring and back calculations, it was decided to execute the remaining 75% also in the regime of the Observational Method. However, few optimisations were made in the working plan, i.e. less, and therefore larger excavation parts and less evaluation moments. Also, for the remaining part A (see figure 3) was excavated before, instead of after the installation of the deepest strut layer. This adaption gave a better control of the dewatering and the groundwork could be performed more efficiently.

6. Conclusions

Use of the Observational Method can lead to an economical solution with a very favourable risk profile.

In the case of A2 Maastricht, the Observational Method has proven to be an efficient way to deal with uncertainties regarding

the cohesion and permeability of the Limestone. More generally, for cases in which soil investigation cannot take away all uncertainties in soil parameters, using the Observational Method should be considered.

Additional back analysis and evaluation during the construction process helped to improve and economise the working method.

The monitoring has proven that the cohesion of the Limestone in the passive zone is at least 3 to 5 times higher than assumed in the original design.

The most likely cause for the extreme difference in results from UCS tests has been the effects of trimming of samples on the strength.

References

- Boone, D.C., Os van, P.P. (2012) Observational Method Tunnel A2 Maastricht, Geotechniek October (2012).
- Dalen van, J.H., Salazar, J. (2012). Bouwput A2 Tunnel Maastricht: Diepe ontgraving en kerende wanden in Kalksteen, Geotechniek July (2012).
- Galenkamp, H.F., Bosma, C.F. (2015) : Real-time insight in geotechnical risks; monitoring during the observational method, *proc. ISSGR 2015*, Rotterdam, 13-16 October 2015.
- Servais, R., Dalen van, J.H., Boone, D.C. (2014). Tunnelbouwkuip A2 Maastricht, evaluatie Observational Method deel 1, Geotechniek Juli (2014).
- Tirant, P. Le, Nauroy, J.F.: Design guides for offshore structures, Foundations in carbonate soils, Editions Technip, Paris, 1994.

Real-time insight in geotechnical risks; Monitoring during the Observational Method

Galenkamp, H.F., Bosma, C.F.

Avenue2 (Strukton - Ballast Nedam consortium), The Netherlands

Abstract. Designing challenges engineers to develop both economically attractive and safe designs. This might seem a paradox, but with the application of the observational method, wherein safety is checked by real-time monitoring, economic design and safety are united. The observational method is recently successfully applied in the Netherlands during the excavation works of the double layered tunnel across densely populated central Maastricht. The uncertainties in the limestone conditions and possible karst holes, combined with a length 2.5 km of tunnel, made the observational method very applicable. This paper outlines the application of state of the art real-time monitoring techniques as vital part of the observational methods' success. The individual components of the monitoring network will be discussed with an emphasis on reliability and availability of data. Actual data is presented and attention is paid to the essential relation of the monitoring team with the geotechnical engineers and excavation crew.

Keywords. Observational Method, monitoring, limestone, measuring passive resistance, strut forces, strain measurements, water pressure measurements, dewatering, economically attractive design.

1. Introduction

The design of a 2.5 km long double layered highway tunnel across the urban area of Maastricht, South-eastern Netherlands, faced engineers with uncertain ground conditions. Were peat, clay and sand are common Dutch soils, this tunnel trajectory consists of limestone and gravel. Despite extensive research into soil conditions, uncertainties remained concerning the limestone conditions (i.e. cohesion, permeability) and possible karst holes, which urged for prudence.

To prevent a very conservative design, *Avenue2* (a Strukton - Ballast Nedam consortium), decided to adopt the Observational Method [OM] to obtain a less conservative but safe design. With this approach, safety factors are reduced by adding real-time monitoring. For more details in the geotechnical considerations, reference is made to the paper "Observational Method, Case A2 Maastricht", Dalen (2015), elsewhere in these conference proceedings.

2. Monitoring focus

This paper discusses the system that is designed to monitor the major risks of the design:

1. Lower cohesion of the limestone than anticipated on;
2. Aquiferous karst holes or otherwise higher water flow rates, endangering the stability of the building pit.

The building pit consists of sheet piles placed in a cement-bentonite suspension, excavated stepwise and reinforced with girders and several strut levels, visualised in Figure 1.

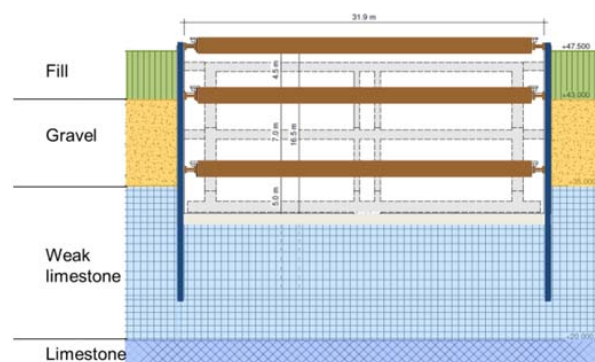


Figure 1. Cross section of the building pit with struts and girders. The final construction is represented with dashed lines.

The vital role of the limestone (in the absence of underwater concrete) is to form the lower ‘strut’, hence, the sheet piles need to mobilise sufficient passive resistance.

2.1. Monitoring components

Since passive resistance is not a directly measurable unit, indirect quantities have to be monitored to disclose the level of safety:

1. Strut forces as a measure for the load transfer from the limestone towards the struts;
2. Water pressure as a measure for the effectiveness of water extraction and as an indicator for overpressure /effective grain stress;
3. Inclination of the sheet piles: movement of the sheet piles’ toe warns for low passive resistance;
4. Settlement of adjacent buildings.

The next chapters will discuss the individual monitoring components.

3. Strut forces

To monitor strut forces, several techniques are available i.e. flat jack, hydraulic jack, pressure cells, strain gages, fibre optics and etcetera. The techniques fall into two categories: incorporated within the strut head or applied on the strut. Hardware incorporated in the strut, demands a lot of diligence and effort when installing it simultaneously with the strut and when not chosen in the design phase, the design of the struts need adjustment.

Besides lower costs, major benefit of non-strut head applications is the independence of any strut logistics. The hardware can be pre-installed on the strut or can be installed in the building pit after strut placement. Flexibility, experience and relatively low costs led to the final decision for strain gages.

3.1. Testing of strain based force system

The functionality of the whole system was tested during the excavation of the southern trajectory

with stronger soil conditions. The OM was only applicable on the weaker northern part of the tunnels trajectory, Dalen (2015).

The test strut was adapted to fit four very stiff hydraulic jacks equipped with calibrated pressure sensors. The excavation was simulated by increasing the oil pressure. Knowing the exact surface of the jacks, the force could be calculated and should comply with the average force calculated from the recorded strains.

Figure 2 shows almost identical results for both strain and pressure based force calculations at both 1000 kN and 3000 kN.

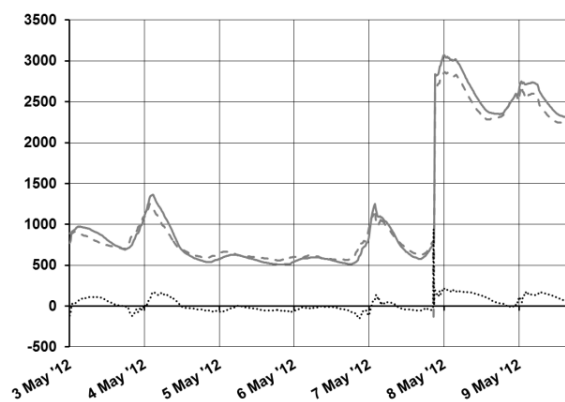


Figure 2. Jack force, strain based force (dashed) and force difference (dotted) [kN]

Expected intervention loads during the OM could double, up to 6000kN. The ultimate load during the jack test was lower to not introduce too much displacement in the building pit. The presented comparison gave enough confidence to apply the system based on strain gages (minor differences could mainly be explained by different time dependent temperature effects).

3.2. System lay-out

The strain gage system per strut consists of four full bridge strain gages (Figure 3) over the cross section with a data logger per strut, incorporating stabilised power supply for accurate measurements. Although it was argued that two sensors could give sufficient information, it was decided to install four sensors to have both redundancy and information about asymmetric load introductions.

The strain recordings were zeroed after placement of the struts to exclude any bending strains due to the struts dead weight.



Figure 3. One out of four covered strain gages on a strut during critical excavation

3.3. The first section

In the OM trajectory, almost 170 struts were placed on the lowest level. To avoid measuring all the struts, six subsequent struts, i.e. all the struts between one girder length, were instrumented to see if measuring only two struts would give a representative image. Figure 4 depicts a one month force recording.

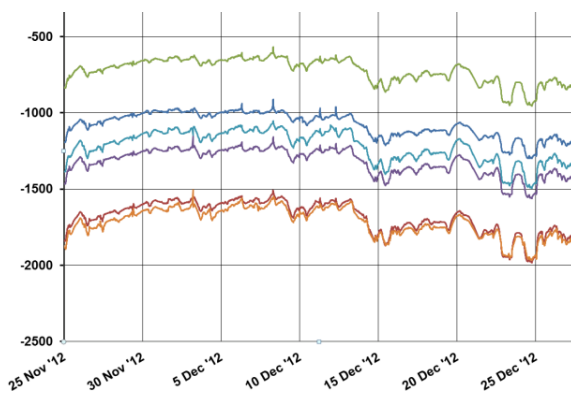


Figure 4. One month registration of six strut forces in section 86, excavated situation [kN]

From the results could be concluded that there is quite some force spread, although there is a clear average. The differences could be explained by the number of fill plates that were used between strut and girder: the more plates, the more residual space that could not be grouted. As a consequence, struts with more residual space react less stiff and attract less force. It was

concluded that the number of filling plates had to be kept minimal by accurately measuring the spacing before assembling the strut. No other dependencies were discovered, making it acceptable to measure only two struts per section (6 struts).

3.4. Weekly routine

In total, 52 struts were instrumented, covering a length of roughly 700 meters of tunnel (224 sensors). Every week, a new section with six struts was produced, including two pre-equipped sensor struts.

A typical registration is depicted in Figure 5, where the compression force increases during the step by step excavation.

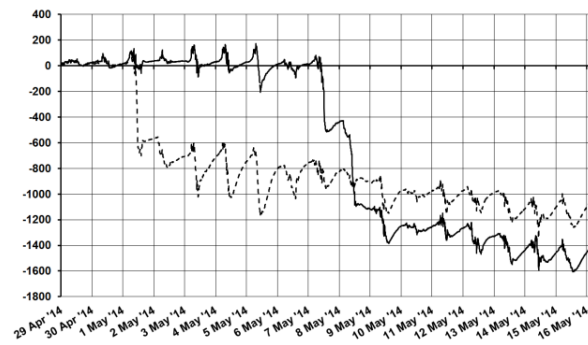


Figure 5. Force registration of strut number 64-35 and 64-32 [kN]. Limestone underneath strut 64-35 (dashed) was excavated a week before strut 64-32.

Each strut consists of two load introduction plates per side. From figure 6, it becomes clear that the plates are equally loaded, although the lower part of the strut carries more load than the upper part.

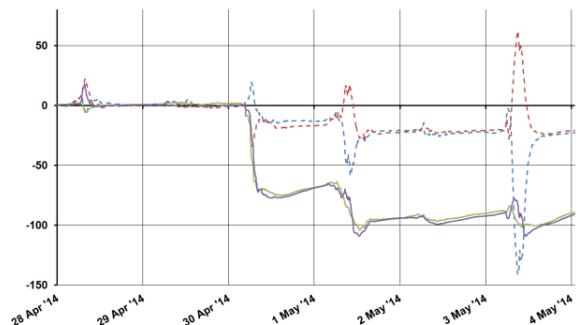


Figure 6. Strain registration under excavation of strut number 65-35 [$\mu\text{m}/\text{m}$]. 2 upper sensors [dashed] and 2 lower sensors.

Apparently, the load is not being redistributed over the cross-section. To check the distribution over the length, some struts were equipped with sensors at both strut heads and midspan. The comparison of sensors at three different cross sections revealed that there is no redistribution or second order effect, proving the sensor location near the strut head is a representative location for measurements.

To give an impression of the overall strut forces recorded during the observational method, the force per section is plotted in Figure 7 as percentage of the predicted force.

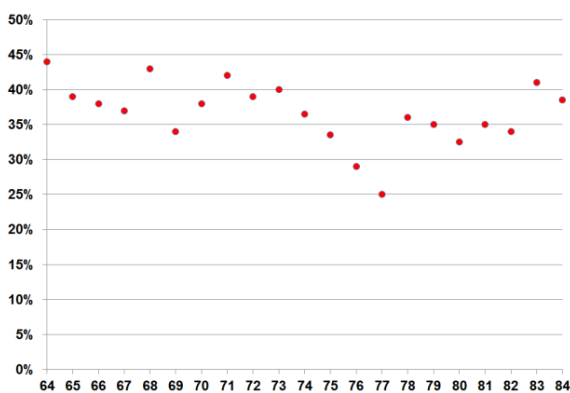


Figure 7. Strut forces per section number as a percentage of the predicted load.

3.5. Data acquisition of strut forces

After correctness of data, data availability was the highest priority. The data acquisition system was split up in completely independent sections of six struts, each with individual power supply and wireless data transmission to avoid short circuits in the whole system. By alarming on data gaps per section, defects could directly be addressed to a relatively small section. Combined with having spares available of all parts used, down time was minimised to less than 1%. Although data cables were protected by steel tubing, neighbouring welding activities damaged data lifelines twice, triggering data gap alarms and activating the monitoring intervention team. The overall sensor failure was 6 out of 224 sensors, were 2 sensors suffered from water intrusion after damaging of the cable (welding activities) and four sensors malfunctioned after installation. The sensors were not replaced since the system was designed with redundancy.

To secure the data, local storage was combined with hourly backups on the head offices' central data server, running in raid modus. A real time strut force data viewer was available online and alarms were active on all critical struts. All the data was automatically processed in daily reports to get an immediate overview of the current conditions.

From figure 7 it becomes clear that the measured strut forces were lower than anticipated on. It was feared that due to a different stiffness distribution, the second strut layer was loaded more than predicted. This was checked by measuring a strut in the second strut layer. The results showed that the forces were again more than 50% lower than predicted.

4. Water pressure

To monitor water pressure in the limestone, four monitoring wells were placed per 24 m¹ building pit. Each well was equipped with a sensor and autonomous data logger, taking readings every minute and sending information using a mobile network, every 15 minutes. The alarm checks were incorporated in the logger, providing a 'real-time' alarm trigger. During the peak of the OM, 120 sensors were active within the whole building pit. The environment was covered with another 80 sensors.

The water pressure, measured at several depths, provided information about the height profile of the pore pressure, indirectly providing information of effective stress, as indicator for the building pits' stability.

Moreover, the information was used for monitoring the effectivity of the dewatering system; a malfunctioning deep well could easily be detected and the overall performance could be checked by comparing actual water pressure and desired water pressure.

Traditional monitoring wells are very vulnerable during excavation: chops of soil around the well easily crumble off, damaging the wells beyond repair. During the OM, unavailability of wells was unacceptable since safety could then no longer be addressed. To avoid damage, the wells were pre-installed during the digging process of the cement-

bentonite [CB] walls. Large steel casings were welded onto the sheet piles and at the desired monitoring depth, the casings were curved, pointing towards the building pit. The obtained casing was sealed watertight, preventing CB from flooding the casing. Once the CB was hardened, the wells could be connected with the limestone, using a high water pressure nozzle.

4.1. Periscope

The functionality of the obtained alternative monitoring well, called the periscope, was checked by placing a traditional well close to the periscope just before starting the water extraction. The periscope gave an exact similar response to the water extraction as the traditional well, proving its functionality and reducing the risk of unavailability.

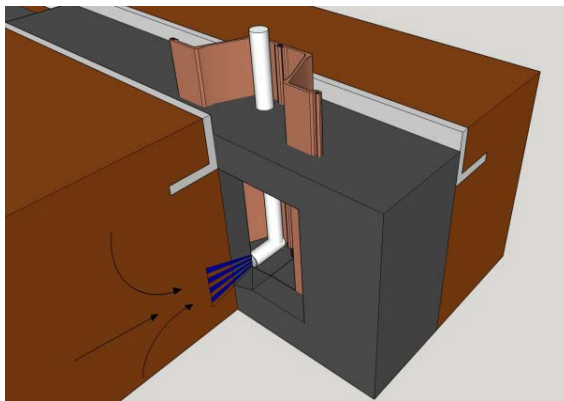


Figure 7. Periscope principle in a CB-wall with sheet-pile.

From 80 periscopes, two were unusable due to obstructions with gravel due to lost protection caps. Some periscopes were leaking, causing the periscope to flood with CB, these periscopes could be cleaned with the water pressure nozzle, flushing all the CB upwards. A more serious threat is flushing too little limestone away, leaving a small periscope opening that can easily get clogged with fine limestone particles. This issue is detectable by an unrealistically stable water level.

Because of the low vertical permeability of the limestone, water extraction went slower, resulting in higher water pressure than anticipated on. Although there was little to no overpressure, the recorded levels were above the signalling values, almost following a hydrostatic

evolution. Since the strut forces were relatively low, the passive resistance was still sufficient, resulting in a safe but unpractically wet building pit.

5. Inclination

Besides water pressure and strut forces, the inclination of the sheet pile toe was monitored to check for horizontal shift. Shift of the toe would imply a low passive resistance and could therefore be an indication of instability of the building pit. The traditional inclinometer system based on hand readings (not real time; it's a secondary check) was used in combination with a specifically designed software tool to be able to define a strut layer as a fixed point. In regular building pits, the fixed point is the sheet pile toe since there is no discussion about passive resistance.

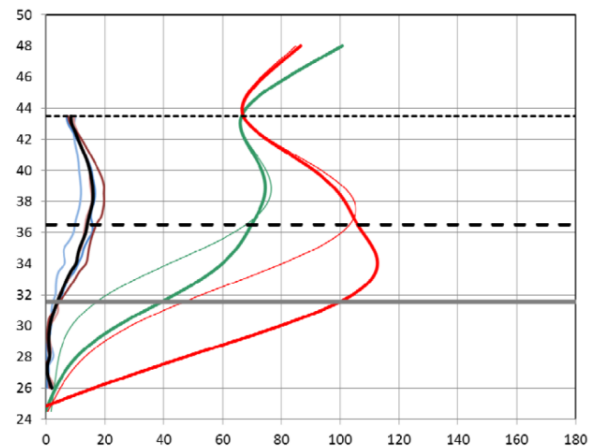


Figure 8. Measured deflections over the depth in section 66 (left) and signaling- and intervention levels (right)..

6. Settlement of adjacent buildings

Four permanent total stations checked 50+ critical objects throughout the project.

7. OM management

Acquiring data is only one vital link in the OM chain. The OM can only be successful if a dedicated team works together in tight collaboration. In the next paragraphs, the key

roles in the observational methods' team will be discussed. Each key role comes with a cell phone, managed by the person on active duty, contactable 24/7. With this approach, no uncertainties remain about who is on duty or which number to dial.

7.1. Geotechnical (site) engineers

After translating the design philosophy into a monitoring strategy, site engineers need to evaluate the data on a daily basis, combined with daily inspections in the building pit. After these checks, further excavation can take place.

7.2. Monitoring team

Monitoring starts already in the design phase, where smart solutions can still be implemented. Together with geotechnical engineers, the feasibility of the monitoring strategy is discussed. The monitoring team is responsible for the right application of all tubing and sensors. For the A2 tunnel project, a stunning 10 km of monitoring tubes were installed. The quality control during this phase is essential to be on time to replace faulty tubes or sensors.

During the OM a 24/7 alarm check on all critical values was activated, including a permanent check of new data file production. Managing 500+ sensors real time is only achievable if the systems generate reports automatically. The monitoring team keeps all the sensors online and follows up every alarm by checking the correctness of data and if necessary, call the OM team manager.

7.3. OM team manager

The responsibility of the OM team manager is to translate the input of team members into concrete decisions, while maintaining an overview of the situation. Having only one person in charge, simplifies fast decision making when necessary. The manager can consult team members 24/7 for support, including the external dewatering team. The follow up of unpredicted events is coordinated by the team manager, unless no time is available for deliberation. Predefined mitigation measures (Dalen (2015)) can be

initiated by the OM manager. The OM manager is also in charge of the external communication.

7.4. Excavation crew and site manager

After the inspection of the geotechnical engineers, the site manager is authorised to release the pit and give instructions to the excavation crew. The excavation crew is the first pair of eyes in the pit. They can spot irregularities that would indicate the presence of karst holes. This is an essential role that asks for clear instructions and communication lines.

8. Conclusions

The application of the OM in Maastricht showed once again that information about actual geotechnical parameters gives insight in the level of safety. An already optimised design proved to have enough capacity for further optimizations. A modular building pit design could facilitate real-time construction optimization, depending on measured quantities.

Strain based force measurements on pre-equipped struts proved to be a very reliable technique. Independent circuits heavily improved detectability of errors, increasing availability.

The periscopes are a robust alternative monitoring well, when sufficiently jetted. The periscopes were extremely useful to detect defects in the dewatering system.

The data flow can only be managed with automated systems, there is no time for manual data processing in real-time systems.

Of utmost importance is the interaction between disciplines and the way communication is organised. There is no time for confusion when intervention is necessary and acuity of all disciplines is a requisite throughout the project. The latter may become a pitfall after a few repetitions.

References

- Boone, D.C., Os van, P.P. (2012) Observational Method Tunnel A2 Maastricht, Geotechniek October (2012).
- Dalen van, J.H., Servais, R., Boone, D.C. (2015) : Observational Method, Case A2 Maastricht, *proc. ISSGR 2015*, Rotterdam, 13-16 October 2015.



SBRCURnet

SBRCURnet is een onafhankelijk kennisnetwerk voor de gehele bouwsector. Wij zorgen er voor dat professionals in de Burgerlijke en Utiliteitsbouw en in de Grond-Weg- en Waterbouw hun werk beter kunnen doen.

Wij brengen partijen uit de bouwsector met elkaar in contact voor het ontwikkelen van nieuwe vakkennis over actuele vraagstukken. Wij voorzien de sector van betrouwbare, bruikbare vakkennis. Dat doen we door kennis uit te geven in een breed scala aan producten en diensten. Bovendien helpen we bij het implementeren van kennis.

ARTIKELNUMMER 679.15
ISBN 00-00-0000-000-0



SBRCURnet
Postbus 516
2600 AM Delft

De Bouwcampus
Van der Burghweg 1
2628 CS Delft

T 015 - 303 0500
info@sbrcurnet.nl
www.sbrcurnet.nl