

# Nieuws onder de grond: Vakblad Geotechniek 15 jaar



**Ir. Mandy Korff**  
Deltares



**Ing. Martin de Kant**  
Royal Haskoning



**Ir. Roel Brouwer**  
WVS Geotechniek



**Ing. Henk Brassinga**  
Ingenieursbureau  
Gemeentewerken  
Rotterdam

Geotechniek en grote infrastructuurprojecten: een vaste combinatie, toen al en nu nog steeds. In 1997 ging het om de aanleg van de HSL, de verlengde A4 door Midden Delfland (die er nu toch echt dreigt te komen), de A54 (als alternatief voor de A4 van tafel geveegd) en de OLS voor bloemen van Aalsmeer naar Schiphol (te duur bevonden, dus nooit meer wat van gehoord).

Nú gaat het over nieuwe grote projecten, de Noord-Zuidlijn, de A2 van Amsterdam tot Maastricht, de Maasvlakte en zijn achterlandverbindingen. Maar in de tussentijd zijn ook veel projecten gekomen en weer gegaan. Ondanks veel gekrakeel rondom de Betuweroute, kwam het geotechnisch moeilijkste stuk (door de Alblasterwaard) binnen tijd en budget gereed. De Haagse Tramtunnel had aanvankelijk grote problemen, maar is een van de mooiste tunnels van ons land geworden. Met de Hubertustunnel is zonder veel vertoon een mooi staaltje werk afgeleverd. Vele kilometers dijken zijn versterkt en verbeterd met meer of minder traditionele methoden na het hoogwater van 1995 en 1996 in Nederland. We deden de Bergambachtproef en voerden het innovatieprogramma INSIDE uit. Veel van de opgaven op het gebied van veiligheid en infrastructuur bepalen na realisatie de zichtbaarheid van het vakgebied – voor wie er oog voor heeft.

Frans Barends vatte in de eerste jaargang de zichtbaarheid van ons vakgebied voor de maatschappij

samen in een artikel over kennisontwikkeling [1]. Hij beschreef daarin de maatschappelijke uitdagingen voor Nederland: de schaarse ruimte, bereikbaarheid en mobiliteit, het steeds intensiever wordende ruimtegebruik en het behoud van de kwaliteit van ons leefmilieu. In 2011 zijn dit nog steeds de problemen, lijkt het wel. Is er dan niets veranderd? Ja, toch wel. In 1997 voorzag Barends meer intermodale vervoersystemen, grootschalige realisatie van ondergrondse vervoersinfrastructuur, minder vervoer over de weg en meer over het water en het spoor en zelfs via buizen. Maar anno 2011 zijn de grootste investeringen nog steeds in de weginfrastructuur en het spoor. En afgezien van het bulktransport van vloeistoffen is het concept 'buisleidingen voor goederenvervoer' nagenoeg van het toneel verdwenen.

Voor verschillende onderdelen van het bouwproces blikken we terug op de eerste jaargang en bekijken deze met de bril van 2011. Welke vooruitgang is geboekt? Lopen we nog steeds tegen dezelfde dingen aan? Welke innovaties van toen zijn nu gemeengoed en van welke hebben we nooit meer iets gehoord?

## Grondonderzoek en grondmodellen

Grondonderzoek en de ontwikkeling daarvan hebben altijd een belangrijke rol gespeeld in het tijdschrift. In het allereerste nummer van Geotechniek werd door Peter The [2] de vraag gesteld 'Moet grondonderzoek nog worden verbeterd?'. Deze

vraag kwam voort uit een onderzoeksprogramma naar een betere in situ-bepaling van parameters voor de bepaling van de werkelijke sterkte van dijken. Uit het onderzoek werd geconcludeerd dat de cone-pressuremetertest, de vane test en de oedometer test nader onderzocht en verbeterd konden worden. Harry Pachon [3] toonde in dezelfde jaargang in een verdiegingsartikel aan dat uit vinproeven bleek dat de Skempton relatie niet geldt voor Hollandse organische klei. Op basis van proeven uitgevoerd in Delft kwam Pachon tot de conclusie dat de ongedraineerde schuifsterkte in Hollandse kleilagen veel hoger is dan volgens Skempton en hij stelde voor de formule te verbeteren door het opnemen van een cohesieterm. Bij deze aanbeveling speelde zeker ook de destijds beschikbare rekenmethoden en de daarin verwerkte grondmodellen een rol. In 1997 waren in Plaxis bijvoorbeeld alleen het Mohr Coulomb model en het Soft Soil Model beschikbaar.

Anno 2011 hebben de in het artikel van The aangekondigde verbeteringen van de oedometerproef niet geleid tot een aanpassing van de apparatuur en richtlijnen uit die tijd. Wel is in de laboratoriumpraktijk de tendens zichtbaar de gebruikelijke tijdstap van 24 uur te verlengen naar 48 uur om het kruipeffect beter te kunnen bepalen. De huidige norm (Eurocode) is echter nog steeds tevreden met een (minimum) tijdstap van 24 uur. Verder is ondertussen de K0-CRS-proef ontwikkeld [4] in nauwe samenhang met de ont-

## Samenvatting

Kan de hogesnelheidstrein over slappe grond? Deze vraag sierde de cover van de allereerste uitgave van het Vakblad Geotechniek in 1997. De HSL rijdt inmiddels over die slappe grond (zij het op palen en nog niet op volle snelheid) dus tijd

om terug te kijken wat 15 jaar geotechniek ons verder heeft gebracht. Hoe keken we in 1997 tegen het vakgebied aan, wat waren onze verwachtingen en wat is daarvan uitgekomen? Een terugblik.

wikkeling van het isotachenmodel. Dit nieuwe model voor de bepaling van zettingen werd in 2001 voor het eerst in Geotechniek besproken [5] en krijgt nu geleidelijk aan meer voet aan de grond in de adviespraktijk. Het is interessant te constateren dat de acceptatie van zo'n nieuw model heel langzaam verloopt. Opmerkelijk is het dat geavanceerde materiaalmodellen in de EEM veel makkelijker zijn omarmd (er wordt vrijwel niet meer met het eenvoudige Mohr Coulomb model gerekend) maar dat er voor nieuwe modellen buiten de EEM een zekere vorm van koudwatervrees lijkt te bestaan. Recent publiceerde Visschedijk [6] een 'sigarendoos'-variant van het isotachenmodel om gebruikers over de drempel te helpen.

De bepaling van de ongedraineerde schuifsterkte met de Vanetest is nog steeds een in de praktijk gebruikte methode. Recenter is ook aandacht besteed aan de ontwikkeling van T-bar en bolconus om op indirecte wijze de schuifsterkte te bepalen. Onderzoeksresultaten en vergelijkingen met de conusweerstand werden gepubliceerd in Geotechniek in 2007 [7] en 2010 [8] met als conclusie dat de conusweerstand in slappe cohesieve lagen veel nauwkeuriger wordt, en daarmee ook de bepaling van de ongedraineerde schuifsterkte. Toch worden ze nog niet toegepast in de adviespraktijk.

In de eerste jaargang is nog geen onderzoek naar de bepaling van de stijfheidseigenschappen van grondlagen beschreven. Vanwege de gegroeide aandacht voor vervorming van grondlichamen en

hun omgeving heeft hier juist wél een ontwikkeling plaatsgevonden.

Zo kunnen voor analyses met kleine rekken in Plaxis (een ontwikkeling binnen dit programma) de resultaten van testen met de bestaande seismische conus zeer goed worden gebruikt. Een andere methode om stijfheid te bepalen is de Cone pressiometer, in 1997 al genoemd als verder te ontwikkelen onderzoeksrichting maar dat heeft niet geleid tot introductie op grote schaal van het apparaat in de Nederlandse praktijk. Die verlaat zich liever op correlaties met de vertrouwde CPT.

Uit het voorgaande blijkt hoe de ontwikkeling van bestaande en nieuwe methoden van grondonderzoek samenhangt met de ontwikkeling van rekenmodellen en ontwerpmethoden. De brede toepassing van de nieuwe technieken blijft in de praktijk echter vaak achter bij de hierna genoemde ontwerpmethodieken.

## Ontwerp

De grootste ontwikkeling op het gebied van geotechnisch rekenen in de afgelopen 15 jaar is het toegenomen gebruik van eindige elementen modellen (EEM) en van de ontwikkelingen in de ICT in het algemeen. Het gebruik van EEM-programma's is vooral sterk toegenomen door gebruiksvriendelijker pre- en postprocessing, maar ook door ontwikkelingen op het gebied van materiaalmodellen en mogelijkheden tot het 3D-rekenen. Ook de toenemende bekendheid en de

acceptatie door opdrachtgevers en constructeurs heeft bijgedragen.

Een andere belangrijke verandering is de verdergaande toepassing van de probabilistische benadering met partiële veiligheidsfactoren. In Geotechniek is daar de afgelopen jaren in meerdere artikelen aandacht aan besteed, met toepassingen als kistdammen [9] en een granulaatmatras op palen [10]. Maar ook al in de eerste jaargang stond een artikel van Beem en Van Grootveld [11] over een probabilistische benadering voor het ontwerpen van gewapende grondconstructies, met daarin aandacht voor de werkelijke veiligheid van een faalmechanisme. Later zijn ook voor gewapende grondconstructies in CUR verband partiële veiligheidsfactoren afgeleid [12]. Dit 15 jaar oude artikel over grondconstructies is ook om een andere reden interessant. Twee fabrikanten gaan voor het horizontale evenwicht van een gewapende grondconstructie uit van een totaal verschillende horizontale gronddruk. Dezelfde verschillen worden ook nu nog geconstateerd bij het ontwerp van L-muren met een grote variatie in uitkomsten tot gevolg.

In de afgelopen jaren is er een grote verbeterlag geweest in de standaardisering van ontwerpberoeeningen en -factoren. Al 15 jaar geleden werd in dit kader de rekenregel voor trekpalen beschreven [12]. In het kader van de diverse ontwikkelprogramma's zijn allerlei methoden gestandaardiseerd zoals het ontwerp van damwandcon-

**Vinproef toont aan: Skempton relatie geldt niet voor Hollandse organische klei**

De Skempton relatie wordt vaak toegepast bij het bepalen van de effectieve cohesie van de Nederlandse organische klei. Dit artikel toont aan dat deze relatie niet geldt voor de Nederlandse organische klei. Het onderzoek is uitgevoerd op een vinproef met de Delftse methode.

Parameter	1	2
Spanning op een paal (kPa)	1000	1000
Verzakking (mm)	10	10
Verzakking op 100 kPa (mm)	10	10
Verzakking op 200 kPa (mm)	10	10
Verzakking op 300 kPa (mm)	10	10
Verzakking op 400 kPa (mm)	10	10
Verzakking op 500 kPa (mm)	10	10
Verzakking op 600 kPa (mm)	10	10
Verzakking op 700 kPa (mm)	10	10
Verzakking op 800 kPa (mm)	10	10
Verzakking op 900 kPa (mm)	10	10
Verzakking op 1000 kPa (mm)	10	10

**Kan de hogesnelheidstrein over slappe grond?**

**Aanleg van HSL duurder**

**Andere fundering voorkomt probleem**

Met hogesnelheidstrein door geluidsbarrière

Grote aanpassingen nodig

Andere fundering voorkomt probleem

De fundering van de hogesnelheidstrein moet anders zijn dan die van de gewone trein. Het artikel beschrijft de aanpassingen die nodig zijn voor de aanleg van de HSL op slappe grond.

structies, trekpalen, gewapende grondconstructies, paalmatrasystemen, maar ook de toetsvoorschriften voor waterkeringen (VTV). Enkele van deze ontwerpmethoden zijn met het verschijnen van de Eurocode verheven tot norm. Maar de discussie over paal draagkracht is zeker nog niet afgelopen. Met betrekking tot de methode Koppejan wijst recent onderzoek (zie normen en waarden in deze uitgave) uit dat vooral palen diep in het zand een lagere draagkracht hebben en de speciale rekenregels Almere zijn er ook niet voor niets. In 1997 werd al op dit verschijnsel gewezen met 'het Gaag-effect' [14], een artikel dat veel discussie oproep [15], en een onderwerp dat we tegenwoordig in bredere context zien en dat ons de komende 5 jaar zeker sterk zal bezig houden.

Een andere grote ontwikkeling die de afgelopen 15 jaar is ingezet, is de wijze van aanbesteden van (grote) werken. Waar in het verleden de RAW bestekken gebruikelijk waren, zijn deze veelal vervangen door contractvormen waarbij de ontwerpverantwoordelijkheid, beheer en onderhoud en soms ook financiering aan de aannemerij wordt

overgelaten: bouwteams, engineering and construct, design and construct, DCM, DBFM, PPS, allianties zijn nu aan de orde van de dag. De aanleg van de 2e Heine Noordtunnel [16] was één van de eerste projecten die zijn gebouwd binnen een 'design and build'-contract, zoals dat indertijd werd aangeduid. Deze nieuwe contractvormen hebben bijgedragen aan een kennisontwikkeling doordat adviseurs nog meer als voorheen worden uitgedaagd met creatieve oplossingen te komen, en in bedrijfsoverschrijdende ontwerpteams met elkaar samenwerken en vaker ontwerpmethoden uitwisselen en optimaliseren.

### Uitvoering

Houden de ontwikkelingen in de uitvoering gelijke tred met die in het ontwerp? Er wordt nog wel eens geroepen dat de bouw (te) weinig innovatief is. Sommige gebruiken en gewoontes in de bouw stammen inderdaad van vele jaren geleden zoals het kalenderen van heipalen. Maar so what? Het gaat er niet om of het nieuw is, het gaat er om of het werkt, en als monitoringmethode is het simpel en robuust. Daarnaast is er in 15 jaar wel degelijk grote voortgang in de uitvoering geboekt. Een goed voorbeeld is de techniek van het tunnelboren. Het eerste nummer van Geotechniek rept Klaas Jan Bakker van de ontwikkelingen rond de Tweede Heine Noordtunnel [16] die een paar jaar daarna gereed zou komen: met trots de eerste geboorde tunnel in Nederland! Een grote ontwikkeling vergeleken met de jaren daarvoor, waar culten covertunnels en afzinktunnels het merendeel van de markt besloegen.

De Heine Noordtunnel was destijds een openbaring. Geboorde tunnels had men in 'het buitenland' natuurlijk wel, maar in onze 'soft soil condities' een tunnel boren (met een diameter van 8,3 m), dat was toch wel speciaal. Er was uiteraard

uitgebreide studie aan vooraf gegaan. Diverse commissies waren in Japan gaan kijken hoe men daar tunnels boorde. Japan was toen nog het land van de geboorde tunnels. De Tweede Heine Noordtunnel was samen met de Botlekspoortunnel aangewezen als proefproject om de techniek van het boren in slappe grondcondities goed onder de knie te krijgen. In een serie boortunnels werd onder auspiciën van het COB de kennis verder uitgebouwd. Inmiddels zijn er in totaal negen boortunnels in Nederland gerealiseerd. en is er op dit moment één in voorbereiding. Bakker besluit in 1997 met: 'Daarmee zal het naar verwachting mogelijk worden om vervolgens een belangrijk innovatietraject, enerzijds ten aanzien van de techniek, anderzijds ten aanzien van het ontwerp van een tunnel in te zetten'. Anno 2011 is de ontwikkelde kennis wereldwijd bekend [17] en maakt het de oorspronkelijke doelstelling van het boren in stedelijk gebied in Amsterdam en Rotterdam mogelijk en heeft het geleid tot de Groene Hart-tunnel, 7 km lang en met een diameter van 14,5 m nog steeds een van de grootste geboorde tunnels ter wereld.

Een aantal jaren na de Heine Noordtunnel was er een discussie over een andere tunnel, die het liefst geboord moest worden. Er waren een aantal alternatieven aan de orde: de EPB methode, het slurry shield, NATM, de ITM methode, DPLEX (een tunnel met rechthoekige doorsnede zoals die in Japan al werd toegepast). Uiteindelijk ging de kogel door de kerf en werd de opmerking gemaakt 'Het wordt een conventionele boortunnel!' Op het moment dat je het woord conventioneel hoort, weet je eigenlijk al dat de ontwikkeling doorgegaan is en we toe zijn aan de volgende.

In het tweede nummer van Geotechniek beschrijft Frans van Weele nieuwe grondverbeteringstechnieken





## Nieuwe ontwikkelingen in de funderingstechniek die het (nog?) niet hebben gehaald

Door P.A.E. van Weele, Ir.  
WCO Funderingsprojectiviteit



Het is niet eenvoudig om in de veelheid van nieuwe ontwikkelingen daar zelf een originele aan toe te voegen. Nog moeilijker is het om, als zich een nieuwe mogelijkheid voordoet, deze op de markt te brengen en het allermeest is het om hiervan een succes te maken. Vandaar dat er talloze mogelijkheden zijn bedacht, die in verschillende stadia van ontwikkeling zijn verlaten. Deze mislukkingen blijven onbekend en de vraag of het opgeven van zo'n ontwikkeling terecht of onrecht was, blijft onbeantwoord. Misschien waren bepaalde ideeën wel van tijd vooruit of in een verkeerde omgeving gelanceerd en zouden nu of bij anderen wel slagen.

Nieuwe ideeën ontstaan vroegtijdig uit de praktijk, uit de ervaringen van de betrokkenen. Het is niet eenvoudig om deze te ontwikkelen tot een bruikbaar concept, dat ook het belang van de opdrachtgever, de klant, de gebruiker en de gebruiker van de afgeleverde oplossing in acht neemt. Het is niet eenvoudig om deze te ontwikkelen tot een bruikbaar concept, dat ook het belang van de opdrachtgever, de klant, de gebruiker en de gebruiker van de afgeleverde oplossing in acht neemt.

wordt gemaakt in een ander land en worden alle materialen vervoerd naar de bouwplaats. Dit is een grote uitdaging, vooral in landen die niet aan zee liggen. Het is niet eenvoudig om deze te ontwikkelen tot een bruikbaar concept, dat ook het belang van de opdrachtgever, de klant, de gebruiker en de gebruiker van de afgeleverde oplossing in acht neemt.

belangrijke plaats van monitoring bij projecten heeft recent geleid tot de Richtlijn Monitoring bij Bouwputten [23] verschenen, waarin op een gestructureerde wijze wordt aangegeven hoe een monitoringplan kan worden opgesteld. In het Geo-Impuls programma is een project gewijd aan de introductie van de Observational Method in Nederland, een werkwijze waar monitoring tijdens de uitvoering centraal staat.

Is daarmee de noodzaak voor monitoring om van te leren verdwenen? Nee, zeker niet. De kennis-cirkel wordt vervolgd door bijvoorbeeld gebruik te maken van de monitoring die bij de recente projecten zoals Noord-Zuidlijn en RandstadRail om meer te weten te komen over de invloed van bouwkuipen en tunnels op belendingen. Bij de Spoorzone Delft wordt geleerd van het maken van diepwanden en de IJkdijk zorgt voor een schat aan informatie over het bezwijken van dijken volgens diverse mechanismen. De ontwikkelingen hier zijn nog lang niet uitgespeeld en satellietmetingen, akoestische metingen en diverse sensoren zullen ongetwijfeld in de 30e jaargang gemeengoed zijn geworden, toch?

### Innovatief of niet?

De eerste jaargang van het tijdschrift Geotechniek geeft ons een inkijkje in het vakgebied van 15 jaar geleden. Is er nou veel veranderd of toch niet? Terugkijkend is het een gemengd beeld. Belangrijk is dat we nu veel meer durven dan 15 jaar geleden. Die durf is mede gebaseerd op de gestructureerd opgezette kennisontwikkeling rondom het tunnelboren. Dat er bij die durf dan zo nu en dan ook wat mis gaat is onvermijdelijk. Door te focussen op verminderen van faalkosten, genereren we aandacht voor faalkosten, niet voor prachtige tunnels

en innovatieve waterkeringen.

Niet altijd vertoont de geotechniek zoveel durf. De trage introductie van het isotachenmodel is daarvoor exemplarisch. Het is opmerkelijk dat een in wezen incrementele verbetering in reken- en ontwerpmethodiek toch zo moeilijk geaccepteerd wordt. Werkwijzen hoeven niet aangepast, maar het conceptueel denkkader wel. Misschien ligt daar ook het probleem. Het beschikbaar maken van de kennis als module in reeds bekende standaardsoftware helpt wel voor de acceptatie. In de meettechnieken gaat de vernieuwing nog moeizamer, blijkt wel uit de evolutie in 15 jaar. Maar uiteindelijk is het resultaat van ons werk het zichtbare product dat er achteraf ligt, niet of het op basis van sonderingen of van high-tech meettechnieken is ontworpen en ook niet of er een sigarendoos of EEM aan te pas is gekomen. De mooie dingen daarvan zullen we op een andere manier moeten communiceren. We kunnen natuurlijk tevreden zijn met ons plekje onder de grond. Maar wat is er mis mee om je kop boven het maaiveld uit te steken?

### Referenties

De aangehaalde artikelen in Geotechniek van 2007 en later zijn alle in pdf-format beschikbaar op [www.vakbladgeotechniek.nl](http://www.vakbladgeotechniek.nl).

- [1] F.B.J. Barends, *Kennisontwikkeling op het vakgebied: geo(milieu)techniek in de komende jaren* Geotechniek 1 (1997) 2, pag. 20 t/m 21.
- [2] B.H.P.A.M. The *Moet grondonderzoek nog worden verbeterd?* Geotechniek 1 (1997) 1, pag. 14 t/m 19.
- [3] H.M.A. Pachen, *Vinproef toont aan: Skempton relatie geldt niet voor Hollandse organische klei* Geotechniek 1 (1997) 4, pag. 4 t/m 9.
- [4] *Isotachenmodel*, Geotechniek nr. 3, 2010.

[5] Geotechniek 2001, nr. 4, en E.J. den Haan, *Het a,b,c-isotachenmodel, hoeksteen van een nieuwe aanpak van zettingsberekeningen*, 7 (2003) nr. 4, pag. 28.

[6] M. Visschedijk, *Isotachenberekeningen op een sigarendoosje*, Geotechniek 14 (2010) nr. 3, pag. 30.

[7] Geotechniek 2007, nr. 4 (bolconus).

[8] E.J. den Haan, *Ongedraineerde schuifsterkte van slappe Nederlandse grond* Geotechniek 14 (2010), nr. 3, pag. 54.

[9] *Kistdammen*, Geotechniek 6 (2002) nr. 1 en 2.

[10] *Paalmatras*, Geotechniek in 2009 (special geotechniekdag).

[11] R.C.A. Beem en M. van Grootveld, *Een probabilistische benadering voor het ontwerpen van gewapende grondconstructies*. Geotechniek 1 (1997) 3, pag. 24 t/m 27.

[12] *Kerende constructies in gewapende grond. Taludhelling steiler dan 70°*, CUR rapport 198, 2000.

[13] A.F. van Tol, H.E. Brassinga en J.P. Koenis, *Rekenregel voor berekening van trekpalen in zand*. Geotechniek 1 (1997) 4, pag. 14 t/m 17.

[14] J. Geerling, E.J. den Haan en N.M. Prinsen, *Het Gaag-effect*. Geotechniek 1 (1997) 3, pag. 16 t/m 21.

[15] *Sondering met Gaag-effect*, Geotechniek 2 (1998) 3, pag. 25; *Er bestaat geen Gaag-effect*, Geotechniek 3 (1999) 2, pag. 33.

[16] K.J. Bakker, *Boortunnels in Nederland, stand van zaken met betrekking tot de geotechniek rond de Tweede Heinenoordtunnel*. Geotechniek 1 (1997) 1, pag. 4 t/m 11.

[17] K.J. Bakker and A. Bezuijen, *Ten years of bored tunnels in the Netherlands*, Geotechniek special edition for 4th Int. Symp. Geotechnical Aspects of Underground Construction in Soft Ground, April 2008, pag. 6.

[18] A.F. van Weele sr, *Nieuwe ontwikkelingen in de funderingstechniek die het (nog?) niet hebben gehaald*, Geotechniek 1 (1997) 2, pag. 32 t/m 35.

[19] B.G.H.M. Wichmann en E.J. Huiden, *Zettingen corrigeren door onderhogen*. Geotechniek special Geotechniekdag oktober 2003, pag. 12.

[20] D.G. Mans et al, *Leren van Geotechnisch falen* Geotechniek 13 (2009) 3, pag. 16; 13 (2009) 3, pag. 17; 13 (2009) 4, pag. 30; 14 (2010) 1, pag. 28; 14 (2009) 2, pag. 26 en 14 (2009) 3, pag. 12.

[21] H.R.E. Dekker en J.J. van Meerten, *Geohydrologische isolatie van het bouwdok Barendrecht* Geotechniek 1 (1997) 3, pag. 4.

[22] J.W. Plekkenpol, *De eerste resultaten van geotechnische metingen tijdens de aanleg van de 2e Heinenoordtunnel*. Geotechniek 1 (1997) 3, pag. 11 t/m 15.

[23] *Richtlijn meten en monitoren van bouwputten*, CUR rapport C223, 2010.

[24] Patrick van der Duin, *Noord-Zuidlijn dreigt succes te worden*, Volkskrant 30-08-2010. ●