

Ingenieursgeologie: een missing link tussen geologie en techniek

door drs. B.T.A.J. Degen*)

Geschiedenis van de ingenieursgeologie

Er zijn maar weinig delen in de wereld waar de natuur een omgeving heeft geschapen, die zonder veranderingen of aanpassingen geschikt is voor de ontwikkeling van een geciviliseerde maatschappij. Het "succes" dat onze beschaving heeft bereikt in het beheersen van zijn milieu kan afgeleid worden uit de grootte van de ontwerpen van de civiele konstrukties en de daaruit voortvloeiende problemen. Recente voorbeelden in ons eigen land zijn de voltooide Deltawerken en onze milieuproblemen. Onze beschaving eist een ononderbroken stroom van water, voedsel en bescherming tegen weer, overstromingen, zee, aardbevingen, vervuilingen mogelijk een vijandig buurland. Civieltechnische konstrukties zorgen ervoor, dat aan deze eisen kan worden voldaan.

De behoefte om zijn omgeving aan te passen aan zijn leefomstandigheden, bracht de mens al zeer vroeg in zijn bestaan in contact met de materialen, die gevormd waren in en op de aarde en hij moest zich voorstellingen gaan maken over de geotechnische eigenschappen van de materialen waarmee hij moest werken. De eerste voorbeelden van deze kennis zijn terug te vinden in Neolithische mijnen van Nederland (mergelgrotten), België, Engeland en Frankrijk. Hier werden mijnbouwtechnieken ontwikkeld waarbij gebruik gemaakt werd van dakondersteuning, die afhankelijk waren van de sterkte van mergels en andere kalkgesteentes. Ook zag men reeds vroeg in, dat niet elke grondsoort uniform van samenstelling en voorkomen was, want de Egyptenaren haalden ondanks de immense transportproblemen hun meest geschikte bouwstenen en decoratieve materialen uit verre steengroeven. In Nederland zijn de golfbrekers ter bescherming van de kusten gemaakt uit van Duitsland afkomstige basaltblokken.

Afb. 1. Gesteenteverhuiving na regenval in Dubai (Verenigde Arabische Emiraten) t.g.v. een te grote hellingshoek van het wegtalud. Nonchalant onderzoek leidde tot een slecht ontwerp.



De geschiedenis van de kennis van de aardkorst is ons maar gedeeltelijk bekend. We weten, dat er in de Middeleeuwen reeds enige geologische kennis bestond en dat er in de Renaissance wetenschappelijke discussies gaande waren over ontstaan en herkomst van de aardkorstmaterialen. De grote doorbraak vond plaats tijdens de Industriële Revolutie. In deze periode ontstond een verhoogde vraag naar grondstoffen. Hierdoor werden betere opsporings-, ontginnings- en civieltechnische bouwmethoden noodzakelijk. Vooral de ontwikkeling van groeven voor natuurlijke konstruktie-materialen, het graven van tunnels en kanalen en de aanleg van (spoor)wegen bracht de civiel-ingenieur in direkt contact met onbekende en verrassende eigenschappen van de aardbodem. Het is dan ook niet vreemd dat in de jaren 1700 - 1900 de geologie als wetenschap juist door die civiel-ingenieur ontwikkeld werd. Een van deze voortrekkers was een zekere William Smith, een Engelse civiel-ingenieur, die kanalen bouwde aan het einde van de 18de eeuw. In verse ontsluitingen, ontstaan door gegraven weginsnijdingen, werd zijn aandacht getrokken door de aanwezigheid van schelpen ver boven het zeeniveau. Niet alleen heeft hij theorieën bedacht over de oorsprong van deze fossielen, maar hij heeft tevens voor het eerst de geologie in kaart gebracht. Door zijn baanbrekend werk wordt hij in Engeland de vader van de geologie genoemd.

Door voortgaande ontwikkelingen werden beide disciplines: civiele techniek en geologie, steeds complexer. Het is dan ook te begrijpen dat beide disciplines uiteindelijk een zelfstandig bestaan gingen leiden. Dat leidde er uiteindelijk toe, dat tot op heden, ondanks het goede voorbeeld van William Smith, de civiel-ingenieurs slechts een zeer beperkte geologische kennis hebben en omgekeerd de geologen weinig kennis van civiele techniek bezitten. Mislukkingen en falen van civiele konstrukties in het verleden en in het heden zijn dan ook te vaak te wijten aan het gebrek aan kennis en waardering van de geologische kondities ter plaatse en een ontbreken van begrip voor het gedrag van de bodem onder invloed van de konstruktie. Voorbeelden zijn reeds te noemen: de Toren van Babel is waarschijnlijk ingestort door een te zwakke fundatie. Bij de Vaiontdam-aardverschuiving in Italië (1963) leidde niet goed inschatten, zowel door de ingenieur als de geoloog, van een zwakke zone in de bergwand tot een onderschatte, versnelde aardverschuiving. Bij de Malpasset-dambreuk in Frankrijk (1965) leidde het niet-herkennen van mikro-strukturen in de gesteentes onder de dam, tezamen met verhoogde waterspanning, tot deze ramp. Wat de gesteente-afglijding in Dubai (1982) betreft: bij het ontwerp werd onvoldoende onderzoek verricht naar de stabiliteit van de helling, met als gevolg een afglijding na heftige regenval, zie afb. 1. Bij de dambreuk van Stava, Italië (1985) leidde een slechte controle en gebrek aan onderlinge kommunikatie tussen de gebrui-

*) Drs. B.T.A.J. Degen is ingenieursgeoloog van professie en tevens directeur van GeoCom, een adviesbureau op het gebied van ingenieursgeologie en geotechniek.

ker en de overheid tot overbelasting van de dam en tot deze ramp.

Als gevolg van deze rampen en andere mislukkingen ontstonden geleidelijkaan nieuwe praktische wetenschappers, die zichzelf "engineering geologist" of ingenieursgeoloog noemden. Dat waren voornamelijk geologen, die door ervaring en zelfstudie zich van de civieltechnische discipline meester maakten. Uiteindelijk resulteerde dat in een zelfstandige studierichting, die in Europa in 1957 aan het Imperial College, London begon en pas in 1976 naar de Mijnbouw Faculteit van de TU - Delft "overwaaide". Het heeft dus bijna anderhalve eeuw geduurd voordat geologie en civiele techniek weer samen kwamen!

Wat is ingenieursgeologie?

Voordat men deze vraag kan beantwoorden dient eerst inzicht in enige begrippen gegeven te worden.

Een **civieltechnisch project** of **konstruktie** kan zijn een ontgraving, een baggerproject voor bijv. een kanaal, de konstruktie van een gebouw, dam, brug, metro, tunnel, offshore exploitatie-platform, het aanleggen van (spoor-) wegen, vliegvelden en pijpleidingen, een milieuonderzoek, grondwateronttrekking voor consumptie of irrigatie, mijnbouw (dagbouw of diep onder de grond) en ook bijv. de Deltawerken, afsluiting van de Zuiderzee.

Tijdens de projectuitvoering en daarna treden er veranderingen op in de grondmassa direkt onder het project en zijn omgeving (milieu). Voorbeelden: de lozing van zouten in de Rijn in Frankrijk beïnvloedt de Nederlandse bodem en het grondwater in sterke mate; de mijnbouw (olie en kolen) in Nederland veroorzaakt tot ver van de wingebieden verzakkingen van gebouwen en wegen.

Het **milieu** bestaat uit verscheidene elementen waarmee de ingenieursgeoloog regelmatig te maken heeft: klimaat (regenval, temperatuur, wind, etc.) terreinspanningen (door gewicht van de bovengrond en tektonische), vloeistoffen (lucht, water, olie, etc.) en verder aardbevingen, vulkanische uitbarstingen, aardverschuivingen en overstromingen.

De geologische **materialen** (grondsoorten) omvatten gesteentes, klei, veen, zand, grind, water maar ook olie en gas. Het is tevens belangrijk onderscheid te maken tussen grond (rots, klei, zand, etc.) en grondmassa (matrix, de gehele samenstelling).

Het Amerikaanse Geologische Instituut geeft van de term **ingenieursgeologie** ongeveer de volgende definitie: "De toepassing van geologische wetenschappen voor de civieltechnische praktijk met als doel: te verzekeren dat geologische factoren die lokatie, ontwerp, konstruktie, operatie en onderhoud van civieltechnische werken beïnvloeden, worden herkend zodat voldoende maatregelen kunnen worden genomen. Een Amerikaanse wetenschapper definieerde het aldus: "De toepassing van opleiding en ervaring in de geologie en andere aardwetenschappen om geologische problemen, door civieltechnische werken veroorzaakt, op een economische en acceptabele manier op te lossen".

Om deze problemen op te lossen moet de ingenieursgeoloog meer kennis hebben dan op het gebied van de geologie alleen. Behalve geologische kennis en praktische ervaring is kennis van civiele techniek en aanverwante onderwerpen essentieel. Deze onderwerpen zijn: grondmechanica; rotsmechanica; geohydrologie; geofysica; geologie (algemene, sedimentologie, strukturele, etc.); geotechniek; projekt-management.

Deze onderwerpen betreffen alle het terrein van mijnbouw, civiele techniek en milieutechniek en dienen ertoe



Afb. 2. De toren van Pisa, Italië. Ongelijkmatige zetting van de ondergrond veroorzaakte de wereldberoemde scheefstelling.

om te kommuniseren met de ingenieur en vooral om zijn praktische problemen te begrijpen. De ingenieursgeoloog, indien ervaren, moet in een vroeg stadium ook advies geven over de invloed die de lokale geologische kondities op de civieltechnische en economische aspecten van het projekt hebben. Tevens moet hij met haalbare voorstellen komen om de gekombineerde geologische civieltechnische problemen het hoofd te bieden. De ingenieursgeoloog is, indien geaccepteerd door de civiel-ingenieur (wat gezien de jonge discipline nogal vaak een probleem oplevert) sterk betrokken bij het projekt en heeft dan een belangrijke inbreng en verantwoordelijkheid voor civieltechnische en geotechnische beslissingen.

Het bodemonderzoek

Alle civiele konstrukties worden gepland op of in de bodem en worden veelal gekonstrueerd met materialen vanuit die bodem. Aktie is reaktie en dat geldt evenzeer voor de interactie: konstruktie - geologie. Het is de taak van de ingenieursgeoloog de aard en mate van deze reaktie te bepalen en te interpreteren hoe de konstruktie of het projekt (gebouw, brug, tunnel, dam, bemaling, waterlozing, dumpen van afval, etc.) zich met deze bodem zal gaan gedragen en vice versa. Onder geen enkele omstandigheid zal er geen wederzijdse reaktie zijn.

Bijvoorbeeld: bij een dam moet de grondmassa een extra gewicht (dat van de dam en het waterreservoir erachter) dragen en verwerken. Het reservoir kan klimaatsveranderingen en aardverschuivingen veroorzaken, en er kunnen lokale aardbevingen optreden, die de stabiliteit van de dam in gevaar kunnen brengen.

De ingenieursgeoloog moet vooraf het gedrag van de bodem, die onder de invloed van een geplande konstruktie aan bepaalde veranderingen onderhevig zal zijn, gaan onderzoeken. Dat onderzoek (Eng. site investigation) vindt in het algemeen plaats in de eerste fase van een projekt. Een civiele konstruktie kan alleen ontworpen worden binnen een gelimiteerd aantal bodemvoorwaarden, al of niet van buitenaf opgelegd (denk niet alleen aan zettingsgevoelig veen maar ook aan de milieuwetten!). Als

voorbeeld kan men een flat in aanbouw nemen. De grond eronder zal vervormen door het opgebrachte gewicht. Indien de deformatiekenarakteristieken niet uniform zijn onder de gehele flat (dus geen uniforme geologie), dan zal de flat ongelijkmatig gaan zetten en treedt er een verzakking op. Het meest bekende voorbeeld van ongelijkmatige zetting is natuurlijk de toren van Pisa, zie afb. 2. Indien de flat deze verzakking niet kan verwerken treedt er scheurvorming op en in het meest extreme geval zal de flat volledig instorten. Om dit soort fiasco's te voorkomen moet reeds in het ontwerp stadium de relevante geologische informatie verkregen worden. Deze informatie dient zodanig in civieltechnische termen vertaald te worden, dat het ontwerp en de uitvoering daarvan optimaal aangepast worden aan de lokale geologische omstandigheden, economische haalbaarheid en gestelde veiligheidsnormen. De geologische informatie wordt verkregen door een intensief grondonderzoek met een juiste geologische interpretatie en advies, waarbij het doel van het onderzoek centraal moet staan. Een goed bodemonderzoek moet dan ook gezien worden als de basis (letterlijk en figuurlijk) voor het succesvolle welslagen van een projekt, hoe klein of groot dan ook (afb. 3).

Een bodemonderzoek is in de meeste gevallen dwingend voorgeschreven om de bodemgeschiedheid en geotechnische parameters van een civieltechnisch projekt te onderzoeken en te bepalen. Het bodemonderzoek wordt dan in het algemeen uitgevoerd in verscheidene fasen:

Verkennde fase: om een algemeen indruk van de bodemopbouw te verkrijgen en om zijn geschiktheid te bepalen voor het geplande projekt (haalbaarheidsstudie). Hier wordt veelal een groot terrein of een aantal lokaties onderzocht. Een bureaustudie vormt meestal een integraal deel van een dergelijk onderzoek, dat bestaat uit bestude-

ring van reeds bekende gegevens, zoals boringen, geologische kaarten, lokale historie van de bodem (bijv. vroegere mijnwerken of stortplaatsen).

Ontwerpfase: uit het vorige stadium wordt een geschikte projekt-lokatie geselecteerd. Deze lokatie wordt meer in detail onderzocht om de bodemparameters te verkrijgen die nodig zijn voor het uiteindelijke ontwerp.

Konstruktiefase: de bodemgegevens die uiteindelijk "zichtbaar" worden tijdens de konstruktiefase, worden ter controle vergeleken met de gegevens uit de vorige fasen. Bij eventuele afwijkingen kan het konstruktie-ontwerp direkt aangepast worden.

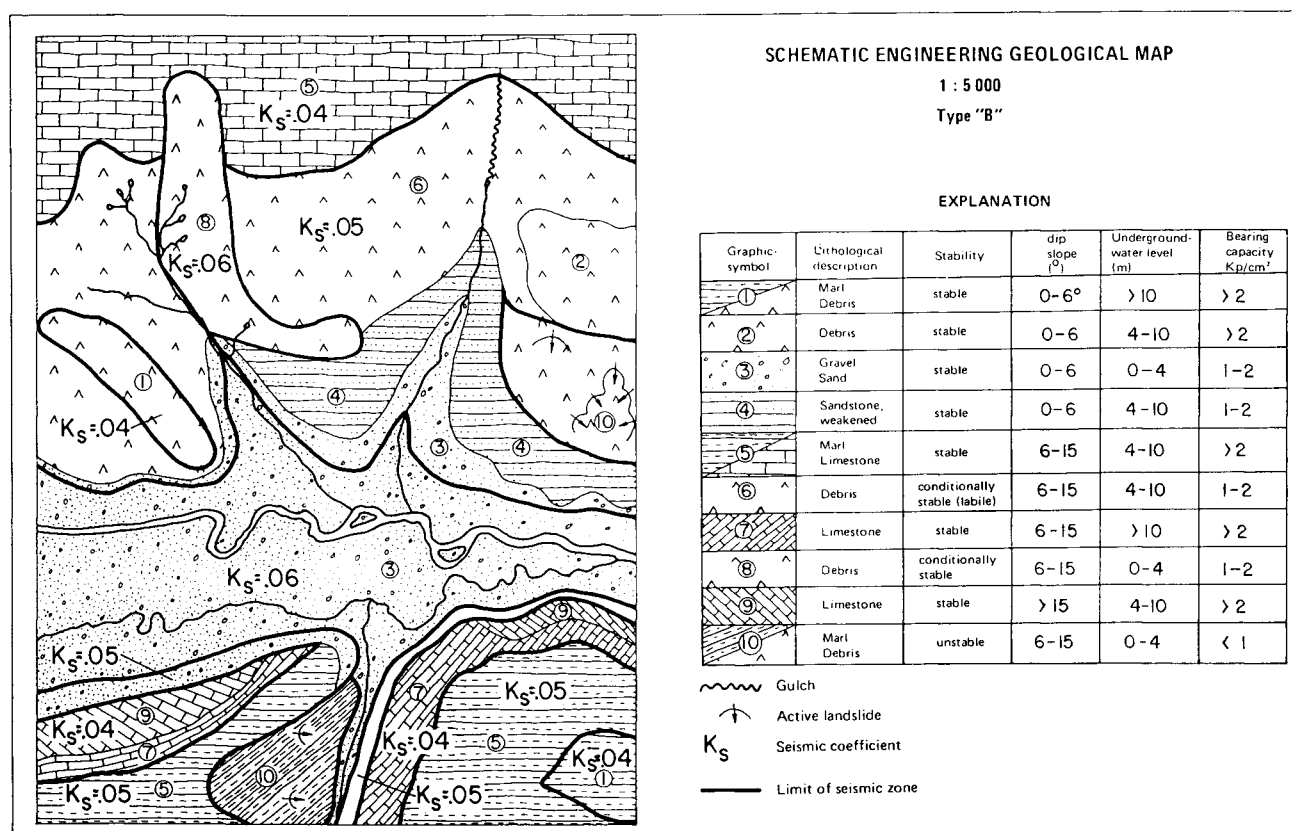
Wat is de taak van de ingenieursgeoloog tijdens een bodemonderzoek en welke middelen staan hem daarbij ter beschikking?

Het bodemonderzoek kan op land of op zee (offshore) plaatsvinden en worden aangevuld met relevante laboratoriumproeven of in-situ-testen (testen uitgevoerd in het veld op ongestoorde grond). De omvang en methode van het onderzoek worden sterk bepaald door het soort projekt of het type van konstruktie. Behalve goede planning en management van een onderzoek zijn twee onderdelen belangrijk.

Ten eerste is kennis van de grondsoort en van het voorkomen van grondwater en oppervlaktewater onder en nabij de geplande projektlokatie noodzakelijk. Daarvoor is een geologische terreinverkenning nodig, waarbij de identificatie in bijv. lithologische termen (beschrijving van de grondsoort) belangrijker is dan een puur stratigrafische, zoals een ouderdombepaling uit de fossielinhoud.

Ten tweede is de bepaling van de geotechnische eigenschappen van de grond en grondmassa, die het projekt kunnen beïnvloeden, van belang. Deze eigenschappen omvatten de druk- of treksterkte van het materiaal, de

Afb. 3. Schematische ingenieursgeologische kaart (verkleind).





Afb. 4. Boorkernen in "core box", t.b.v. bodemonderzoek voor 2000 km gaspijpleiding en pompstations in de Sahara, Algerije.

korrelgrootte, de diskontinuiteiten (voorkomen, richting en frequentie van breuken en diaklazen) en de verweringsgraad van grond en grondmassa.

Twee voorbeelden van typische ingenieursgeologische grondsoortbeschrijvingen worden hieronder gegeven.

Voor een zand uit Curaçao:

Olijfgrijs tot grijs, mengsel van fijn tot grof KALKZAND en KALKGRIND, hoekig tot sub-afgerond. Vnl. bestaand uit schelp- en koraalfragmenten, enkele koraal-stenen. Plaatselijk sterk met olie verontreinigd, plaatselijk licht gecementeerd. Los tot matig dicht gepakt.

Voor een gesteente uit Mecca:

Wit tot lichtbruin, fijn korrelig, met zwakke vloeistrukturen; afstand diaklazen: matig wijd tot wijd, met bruine tot zwarte gladde oppervlakken; in hoge mate tot volledig verweerde GRANiet, zwak tot matig sterk.

Afhankelijk van het project moet de ingenieursgeoloog zijn aandacht richten op speciale karakteristieken van de grondmassa. Bij tunnels spelen de diskontinuiteiten, meer dan het gesteentetype, een doorslaggevende rol in het ontwerp. Veel diaklazen in een gesteente vereisen een dure tunnelondersteuning; weinig diaklazen daarentegen alleen rotsankers of helemaal geen ondersteuning. Breuken door een geplande tunnel kunnen ernstige instromingen van grondwater en instortingen veroorzaken. Het injecteren van speciaal spuitbeton wordt dan toegepast om deze instromingen en instortingen tegen te gaan of te minimaliseren. Door kennis te hebben van deze structuren in de grondmassa zorgt men ervoor, dat de kosten van de tunnelconstructie beter worden begroot, de probleemgebieden worden gelokaliseerd en aldus onaangename verrassingen tot een minimum beperkt.

Bij afgravingen in groeven en insnijdingen van spoor(wegen) wil men de wand zo steil mogelijk houden om optimale winst te behalen. Voor de groeve zijn een kortetermijnstabiliteit en een maximale materiaalopbrengst uit de mijnconcessie van belang, bij een weginsnijding een lange-termijnstabiliteit en een minimum aan af te graven materiaal.

Om toch een veilige en optimale hellingstabiliteit te bereiken moet men in gesteentehellingen de hoek, richting, continuïteit van, en de schuifsterkte langs aanwezige diskontinuiteiten gaan meten. Deze kunnen met een geologisch kompas en eenvoudige veldtesten snel verkregen worden. Met deze uit het eenvoudige veldwerk verkregen gesteente-parameters kan de optimale helling op een goedkope manier worden berekend.

In zachte gronden daarentegen, moeten relatief dure

boringen voor ongestoorde bodemonsters zorgen; deze worden in het laboratorium verder beproefd op onder meer druk- en schuifsterkte. Vaak gaan deze boringen gepaard met het plaatsen van waterspanningsmeters om extra informatie te verkrijgen. Met behulp van de aldus verkregen geotechnische parameters wordt de taludstabiliteit berekend.

Voor civiele constructies wordt de draagkracht van de ondergrond bepaald door pakking, druksterke, cohesie en vervormingskarakter van de betreffende grondsoort. Deze grondparameters zijn bepalend voor het ontwerp (soort en dimensie) van de fundering, zoals bijvoorbeeld diameter, lengte en type van de paal of de dimensies van een strookfundering.

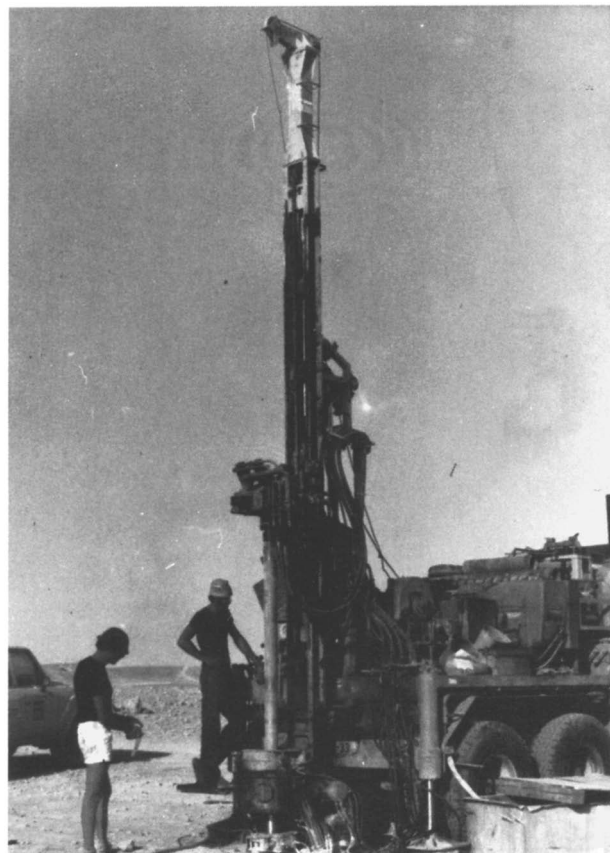
Bodemonderzoekmethoden

Om de grondparameters op kleine of grote schaal te bepalen staan vele bodemonderzoekmethoden ter beschikking. Deze zijn onder te verdelen in destructief en non-destructief onderzoek.

Destructief onderzoek

Het uitvoeren van boringen is de meest gebruikte methode om grondmonsters te verkrijgen. Door middel van puls-boringen worden granulaire (grind, zand) of cohesieve bodemonsters (kleien) verkregen. Rotsmonsters (kernen, zie afb. 4) worden verkregen door een kernboring, afb. 5. Ook kunnen grondmonsters via uitgraven van sleuven, handboringen of uit natuurlijke ontsluitingen worden

Afb. 5. Boorstelling aan het werk in Anah Rawah, Eufraat, Irak.





Afb. 6. Sondeerwagen, mechanische uitvoering, in Dubai.

verkregen. Een juiste keuze van methode of booruitrusting bij de te verwachten terrein- en grondcondities is een belangrijke voorwaarde voor een geslaagd en kwalitatief goed onderzoek.

Na beschrijving van de verkregen monsters en eenvoudige veldtesten worden geotechnische eigenschappen via laboratoriumproeven bepaald. Deze proeven geven uitsluitend over dichtheden, korrelverdeling, druk- en schuifsterktes, porositeit, plasticiteit en zettingsgedrag van de grondsoort, welke parameters van belang zijn voor het ontwerp van de konstruktie.

De eigenschappen van de gehele grondmassa, zoals sterkte, doorlaatbaarheid, breuken, diaklazen en breukjes worden bepaald door in-situ-veldproeven en geologisch of geofysisch veldwerk.

In-situ-proeven worden meestal in het boorgat uitgevoerd en wat minder algemeen (vanwege de hoge kosten) in speciaal voor dat doel gegraven schachten of sleuven. Een bijzondere in-situ-test is het sonderen. Bij deze, in Nederland ontwikkelde, methode wordt vanaf het maaiveld met continue snelheid een cilindrische meetsonde (konus) in de grond gedrukt, afb. 6 en 7. Met deze sondering bepaalt men (elektrisch of mechanisch) de sterkte en schuifweerstand van de bodem; tevens kan men snel een continu bodemprofiel bepalen. Hierdoor is de sondering een geduchte concurrent van de boring. In eenzelfde tijdsbestek worden 7 à 10 sonderingen verricht tegen één boring van dezelfde diepte. Met speciaal ontwikkelde sonden kan men tevens water- en grondmonsters nemen, dichtheden, elektrische geleidbaarheid van de grond en waterspanningen bepalen. Afhankelijk van de bodemsamenstelling kan men diepten bereiken tot over de 60 m beneden het maaiveld.

Non-destructief onderzoek

Het non-destructieve onderzoek bestaat uit het in kaart brengen van de geologie van het terrein door middel van geologisch veldwerk en gebruik van geofysische methoden. Tijdens het geologische veldwerk worden voornamelijk het voorkomen en de lithologie van de grondsoort in kaart gebracht. Afhankelijk van het project bepaalt men het voorkomen van breuken, diaklazen en breukjes. Een kompas, loupe, hamer en geologische kennis zijn dan de belangrijkste gereedschappen. Naast de eerder genoemde boringen en sonderingen wordt veel gebruik gemaakt van geofysische meetmethoden. In de geofysica meet men de fysische eigenschappen van de bodem zoals: elektrische

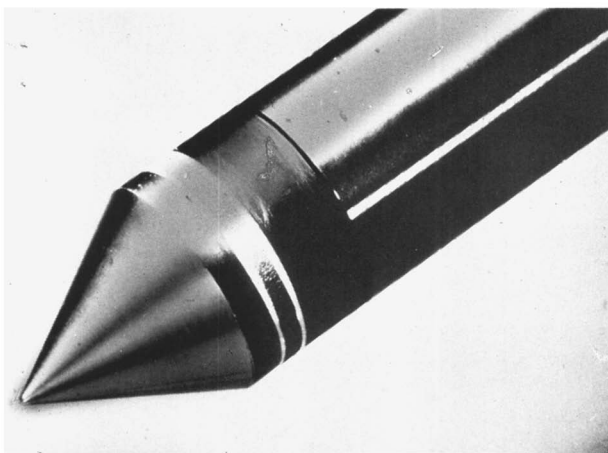
weerstand, dichtheden, straling, voortplantingssnelheden van schokgolven en magnetisme. Deze gemeten eigenschappen geven een indruk van de samenstelling, porositeit, doorlatendheid en mechanische eigenschappen van de bodem. Populaire en veel gebruikte geofysische methoden zijn: seismische refraktie (meestal op het land); seismische reflectie (veelal offshore); magnetische metingen; elektrische weerstandsmethode; grondradar; "remote sensing". Deze methoden worden voornamelijk gebruikt om grenslagen en anomaliteiten dicht aan tot diep onder het maaiveld te bepalen. De interpretatie van de geofysische gegevens vereist ervaring; de uitvoering en verwerking van deze gegevens worden in vele gevallen overgelaten aan een geofysicus. De taak van de ingenieursgeoloog is dan om deze puur geofysische gegevens om te zetten naar geotechnische parameters die bruikbaar zijn voor de ingenieur en het civieltechnische project.

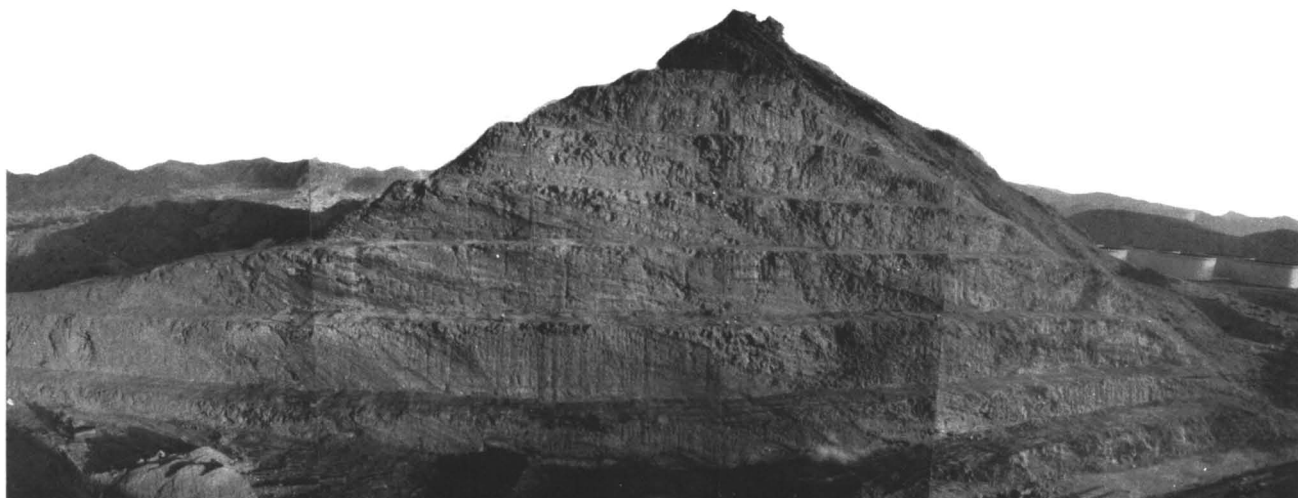
Aangevuld met geologische kartering, boringen en/of sonderingen levert geofysisch onderzoek veelal uitstekende methoden om grote terreinen geologisch of geotechnisch overzichtelijk in beeld te brengen. Waar een boring of sondering het geologisch beeld weergeeft op één lokatie, geeft een geofysisch onderzoek een langprofiel. Verscheidene profielen kunnen samengevoegd worden tot een drie-dimensionaal beeld. Tezamen met geotechnische parameters, verkregen uit boringen en proeven, kunnen op deze manier ingenieursgeologische kaarten en profielen gemaakt worden. Er bestaan tegenwoordig ingenieursgeologische kaarten die aangeven, op welke diepte zich bepaalde geschikte funderingsgrondlagen bevinden.

Toekomst van de ingenieursgeologie in Nederland

Doordat de ingenieursgeologie in Nederland nog een relatief onbekend vakgebied is en pas sinds 1976 wordt onderwezen, hebben de ingenieursgeologen hier nog weinig kans gehad om in belangrijke projecten deel te nemen en daar hun waarde en kwaliteiten te tonen. In het buitenland, waar de ingenieursgeoloog veel meer ingeburgerd is dan hier, wordt hij bij vele bodemonderzoekprojecten ingezet en is hij van grote waarde gebleken. Enkele voorbeelden uit de afgelopen 10 jaar waarbij Nederlandse ingenieursgeologen een belangrijke rol speelden zijn:

Afb. 7. Sondeerkonus. De konuspunt meet de grondweerstand; achter de punt een poreus element voor het meten van de waterspanning in de bodem tijdens het sonderen.





Afb. 8. Geotechnisch onderzoek en aansluitend ontwerp leidden tot het hier afgebeelde resultaat: een weginsnijding van 100 m hoogte in Oman.

- Bodemonderzoek voor 2000 km gaspijpleiding in de Sahara, Algerije.
 - Taludstabiliteit-problemen in Hong Kong. Het was een Nederlandse ingenieursgeoloog die daar nieuwe stabiliteit-berekeningsmethoden invoerde.
 - Vliegvelde-evaluatie en onderzoek naar nieuwe lokaties in Tanzania.
 - Bodemonderzoek voor stormwatertunnels in Mecca; 60 boringen tot variabele diepten en tunneladviezen.
 - Bodemonderzoek voor Baghdad Metro (34 km lang tracé), bestaande uit ongeveer 500 sonderingen en meer dan 200 boringen tot diepten van 40 m beneden het maaiveld.
 - Bodemonderzoek, stabiliteitanalyse en ontwerp voor een 100 m hoge rotsinsnijding voor een snelweg in Oman (afb. 8).
 - Geïntegreerd offshore bodemonderzoek naar geotechnische parameters voor Troll Field op het Noorse plat van de Noordzee.
- In Nederland zijn er in de toekomst enkele interessante projecten te verwachten, waarbij ingenieursgeologen een belangrijke rol zouden kunnen spelen. Deze projecten worden hieronder in het kort genoemd en omschreven.
- Opwekken van alternatieve energie via (Bovengrondse/ Ondergrondse) Pomp Accumulatie Centrales in Limburg (OPAC-project), in het IJsselmeer en voor de kust van Zeeland (PAC-project) en in de zoutkoepels van Overijssel (BOPAC-project). Deze projecten vereisen alle een intensief bodemgeschiktheidsonderzoek waarbij een ingenieursgeoloog onontbeerlijk zal zijn.
 - Onderzoek naar de mogelijkheden voor ondergrondse opslag van radio-actief afval en de opslag en verwerking van chemisch afval of verontreinigde grond.
 - Nieuwe bodemsanerings-wetgeving van Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieu (VROM) geeft dwingende voorschriften. Deze voorschriften vereisen een diepgaand milieuonderzoek voordat een vergunning voor gebruik van de grond (bouwen, recreatie) wordt afgegeven. De vergunning wordt slechts afgegeven nadat aangetoond is dat de bodem vrij is van schadelijke stoffen of daarvan is vrijgemaakt. Deze voorschriften zorgen ervoor dat meer bodemonderzoek moet worden uitgevoerd.
 - De voorstellen van de Minister van Verkeer en Waterstaat Mevrouw N. Smit-Kroes, in een interview tijdens de

opening van de Deltawerken, om alle riviersedimenten (afzettingen) te klassificeren en deze in kaart te brengen. Men hoopt daarmee de mate en omvang van de vervuiling te bepalen. Dit kan een lange-termijnproject worden vanwege de steeds veranderende aard van de rivierbodems.

- Bodemonderzoek naar de gevolgen van de bodemdaling tengevolge van de winning van gas en olie op land en offshore en de te nemen maatregelen.
- Geothermisch onderzoek te Asten, N-Brabant, door TNO tot een diepte van 1600 m. Haalbaarheidsstudie naar het winnen van alternatieve energie uit de warmere delen van de aarde.

Literatuur

- Attewell P.B. and Farmer I.W.: Principles of Engineering Geology, 1975.
- Letourneur J. et Michel R.: Géologie du Genie Civil, 1971.
- Krynine & Judd: Principles of Engineering Geology and Geotechnics, 1957.
- Van Weele prof. ir. A.F.: Moderne Funderingstechnieken, 1983.
- Van der Veen ir. C.; Horvat ir. E.; Van Kooperen ing. C.H.: Grondmechanica, 1981.
- Le Tirant P.: Seabed Reconnaissance and Offshore Soil Mechanics for the Installation of Petroleum Structures, 1978.
- Hoek E. & Bray J.W.: Rock Slope Engineering, 1981.
- Griffiths D.H. & King R.F.: Applied Geophysics, 1969.
- Megaw T.M. & Bartlett T.V.: Tunnels, Planning, Design, Construction, Volume 1, 1981.
- Bell F.G.: Engineering Properties of Soils and Rocks, 1981.
- Legget R.F.: Geology and Engineering, 1962.