

Hoofdstuk 3

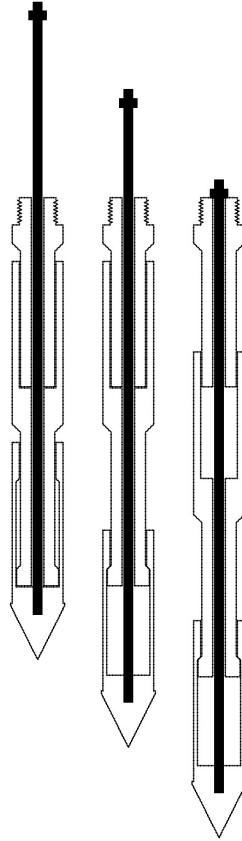
Terreinonderzoek

Er zijn vele methoden om in het terrein (*in situ*) de mechanische eigenschappen van grond te bepalen. In dit hoofdstuk worden er enkele kort beschreven.

3.1 Sondering (CPT)

Een eenvoudige, maar zeer nuttige, methode van terreinonderzoek bestaat er uit een staaf de grond in te drukken, en dan de kracht te meten, als functie van de diepte. Die kracht bestaat uit de weerstand van de grond aan de punt en langs het oppervlak van de staaf. De methode is oorspronkelijk in Nederland ontwikkeld, in de dertiger jaren. Ze wordt vooral gebruikt voor een indicatie van de grondopbouw en voor de bepaling van het draagvermogen van palen. De *sondering*, of CPT (Cone Penetration Test), heeft zich ontwikkeld uit een eenvoudig apparaat waarmee met handkracht een conus de grond in wordt gedrukt, eventueel nog gevolgd door een zogenaamde kleefmantel, met behulp van een stelsel van buizen en stangen, zie figuur 3.1, tot een geavanceerd meetinstrument. De conusweerstand q_c is gedefinieerd als de verticale kracht op de punt gedeeld door het oppervlak (doorsnede) van de conus. De kleef is de totale wrijvingskracht op de mantel gedeeld door het oppervlak van de mantel. Het *kleefgetal* is de kleef gedeeld door de conusweerstand, maal 100 %.

Om de benodigde reactiekracht te kunnen leveren moet het apparaat aan de grond worden verankerd, of op een zware vrachtauto worden gemonteerd. Dergelijke vrachtwagens ziet men in Nederland vaak langs de weg of in het terrein aan het werk. Oorspronkelijk was de sondering een zuiver mechanische proef. Een veel gebruikte uitvoering is getekend in figuur 3.1. Het meetapparaat bestaat uit drie losse delen, die om een centrale stang kunnen bewegen. Het bovenste deel wordt door middel van een schroefdraad bevestigd aan een buitenbuis, die reikt tot boven de grond, uit stukken van 1 meter lengte. De procedure is dat afwisselend op de binnenstang en op de buitenste buis gedrukt wordt. Bij het drukken op de binnenstang wordt eerst alleen de conus weggedrukt, over een afstand van 35 mm. De twee andere delen bewegen niet ten opzichte van de grond, en de gemeten kracht is dan dus alleen de weerstand van de conus. Bij verder drukken op de binnenstang wordt ook de kleefmantel meegetrokken. De twee onderste delen van de conus bewegen dan samen naar beneden. Het bovenste deel van de conus, dat door een schroefverbinding vast zit aan het stelsel van buitenstangen, beweegt daarbij niet. De kracht per oppervlak die men nu aan de bovenzijde meet is de som van conusweerstand en mantelwrijving. Neemt men aan dat de conusweerstand nog dezelfde is als in de eerste fase, dan is de mantelwrijving (de kleef) nu ook apart bekend. Door vervolgens te drukken op de buitenbuis worden de drie delen van de conus weer in elkaar gedrukt, en het geheel wordt naar de volgende diepte gedrukt. Dan is de uitgangstoestand weer bereikt maar op een iets grotere diepte (10 cm). De conusmantel wordt aan de onderzijde soms ingesnoerd om in de eerste fase







Figuur 3.1. Mechanische sondering.

zo goed mogelijk alleen de puntweerstand te meten. Zo is dat in figuur 3.1 ook getekend. Tegenwoordig wordt meestal gebruik gemaakt van een elektrische conus, zie figuur 3.2. Zowel de conusweerstand als de kleeft worden daarbij continu gemeten, met behulp van een stelsel van rekstrookjes in het inwendige van de conus. Het instrument bestaat uit drie delen die ten opzichte van elkaar een heel klein beetje kunnen bewegen (met rubber ertussen), waarbij de gevoelige rekstrookjes in het inwendige de krachten op de onderste twee delen kunnen registreren.

Uit de resultaten van een sondering krijgt men om te beginnen een goede indruk van de opbouw van de grond. Kleilagen hebben een veel lagere conusweerstand dan zandlagen. Een typische weerstand voor zand is 10 MPa. Voor klei is de conusweerstand veel kleiner, van de orde van 1 MPa of nog lager, voor erg slappe klei. Als ook de plaatselijke kleeft wordt gemeten is de onderscheiding nog gemakkelijker. Het kleeftgetal is voor klei groter dan voor zand, omdat de conusweerstand q_c meestal klein is, en de kleeft relatief groot is. Een relatief lage waarde (1% à 2%) voor het kleeftgetal duidt op zand, voor klei is het kleeftgetal 3% à 5%, nog hogere waarden (8% à 10%) duiden op veen. Veen heeft namelijk meestal nog wel een redelijke kleeft, maar een heel kleine conusweerstand. Het



Figuur 3.2. Elektrische conus.

Grondsoort	wrijving	q_c	
zand, matig - grof	0,4%		
zand, fijn - matig	0,6%	5 - 30 kPa	
zand, fijn	0,8%		
zand, siltig	1,1%		
zand, kleiig	1,4%	5 - 10 kPa	
zandige klei of leem	1,8%		
silt	2,2%		
klei, siltig	2,5%		
klei,	3,3%	0,5 - 2 kPa	
klei, humeus	5,0%		
veen	8,1%	0 - 1 kPa	

Tabel 3.1. Kleefgetal en conusweerstand voor diverse grondsoorten.

kleefgetal wordt ook wel het wrijvingsgetal genoemd.

Een tamelijk recente ontwikkeling is dat men de conus voorziet van een waterspanningsmeter. Men noemt dat de *piëzoconus*. In de conus worden kleine gaatjes aangebracht, in verbinding met een drukkamertje in de conus. Op die manier kan men dan de plaatselijke waterspanning meten. Die waterspanning wordt beïnvloed door het inbrengen van de conus, en wel in verschillende mate voor verschillende grondsoorten. De precieze waarde van de meting op zich zelf geeft niet zo veel informatie, omdat niet bekend is in hoeverre de gemeten waterdruk beïnvloed is door de initiële waterdruk, het inbrengen van de conus, en drainage. Maar wel kan men er een verschil in reactie op zeer kleine schaal mee constateren. Zo kan men dan heel dunne kleilensjes in een dik zandpakket vinden. In de meting van de conusweerstand en de plaatselijke kleef ziet men die niet.

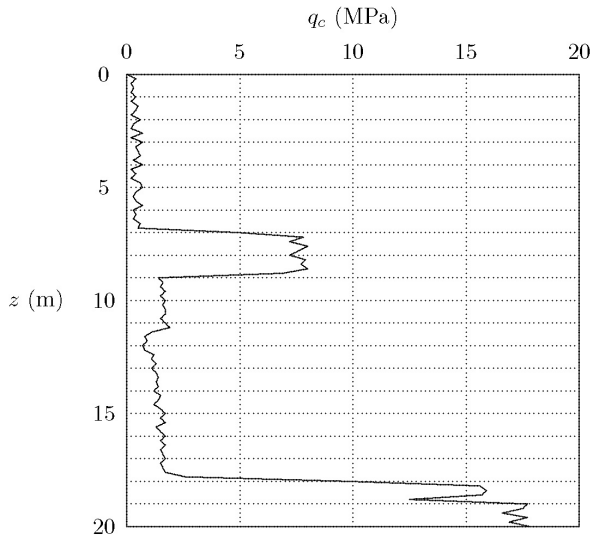
Een voorbeeld van een sondering is getekend in figuur 3.3. Op ongeveer 7 m bevindt zich een zandlaag van ongeveer 2 m dikte. Op ongeveer 18 m diepte begint een dikke zandlaag. De lage waarden aan de bovenkant en tussen de twee zandlagen duiden op slappe grond, waarschijnlijk klei. Een niet te zwaar gebouw (bijvoorbeeld een huis) kan men wellicht

op de bovenste zandlaag funderen. Dan moet die tussenzandlaag wel overal aanwezig zijn (1 sondering is niet genoeg om dat te constateren, er zijn toch wel minstens 3 sonderingen nodig), en een behoorlijke dikte hebben. Ook moet bij het heien van de palen natuurlijk worden opgepast dat er niet door de zandlaag heen geheid wordt. Een zware constructie zal een fundering op de onderste zandlaag vereisen.

In Nederland wordt de sondering vooral gebruikt als modelproef voor paalfunderingen. In West-Nederland vindt men in het algemeen een grondopbouw bestaande uit eerst ongeveer 10 à 20 meter slappe grond, en dan een behoorlijk stijve zandlaag. Bij zo'n grondopbouw kan men heel goed een paalfundering toepassen, waarbij de paal zijn draagkracht voornamelijk ontleent aan de draagkracht van de zandlaag. De punt-draagkracht F_{punt} van een paal met oppervlakte A kan dus goed afgeschat worden met

$$F_{punt} = q_c A. \quad (3.1)$$

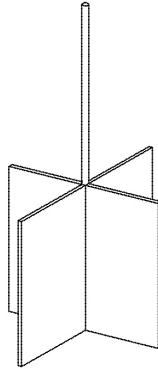
Zie hiervoor hoofdstuk 48.



Figuur 3.3. Sondering.

3.2 Vinproef

Voor de bepaling van de schuifsterkte van de grond in situ kan men ook goed gebruik maken van de vinproef (in het Engels: *vane test*), zie figuur 3.4. Bij deze proef wordt een klein vinvormig instrument in de grond gebracht, door wegdrücken aan het onderuiteinde van een systeem van stangen, net als bij de sondering. De vin is door een binnenstang verbonden met een schroef aan de bovenzijde. Door die te draaien kan men de vin laten roteren, waarbij de grond langs de buitenwand van een cilindervormig grondelementje tot



Figuur 3.4. *Vinproef.*

bezwijken wordt gebracht. Uit het benodigde moment kan de schuifsterkte worden berekend, als men de afmetingen van de vin kent. De proef wordt vooral in de Scandinavische landen, waar veel dikke kleilagen voorkomen, veel gebruikt.

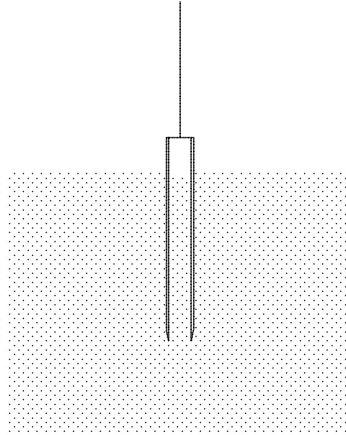
3.3 Standaard Penetratie Test (SPT)

In het buitenland, vooral in Angelsaksische landen, wordt vaak gebruik gemaakt van de Standard Penetration Test (SPT). Bij die proef wordt een monsterbus in een boorgat in de grond geslagen met behulp van een gestandaardiseerd valgewicht. Gemeten wordt het aantal slagen dat nodig is om de steekbus 300 mm (1 foot) de grond in te drijven. Men noemt dat de *blow count*, aangegeven met N , en uitgedrukt in slagen per voet (*blows per foot*). Een voordeel ten opzichte van de CPT is dat men geen zware apparatuur nodig heeft, zoals bij de statisch ingebrachte CPT, die immers een grote statische tegendruk vereist, meestal geleverd door het gewicht van de vrachtwagen. Een ander voordeel van de SPT is dat men direct ook een monster van de grond heeft. De methode is echter nogal grof, en de resultaten reproduceren niet zo goed. Ook is het onderscheid tussen zand en klei minder sterk als bij de CPT.

Voor werk in het buitenland moet men vaak wel genoeg nemen met summierere gegevens als een blow count voor de SPT. Een redelijke blow count voor zand is $N = 20$. In slappe klei vindt men waarden als $N = 5$, of nog lager. Een veel gebruikte interpretatie (ontleend aan Terzaghi & Peck) is weergegeven in tabel 3.2. Verschillende onderzoekers hebben getracht een correlatie met de CPT te vinden, maar dat blijkt niet zo gemakkelijk te zijn.

3.4 Boring

In veel gevallen is het gewenst om een monster van de grond te steken, en dat dan in het laboratorium te onderzoeken. Dat onderzoek kan bestaan uit een visuele inspectie (men ziet dan of er zand of klei of veen zit), uit een chemische analyse, of uit een mechanische proef, bijvoorbeeld een samendrukkingsproef of een triaxiaalproef.



Figuur 3.5. SPT.

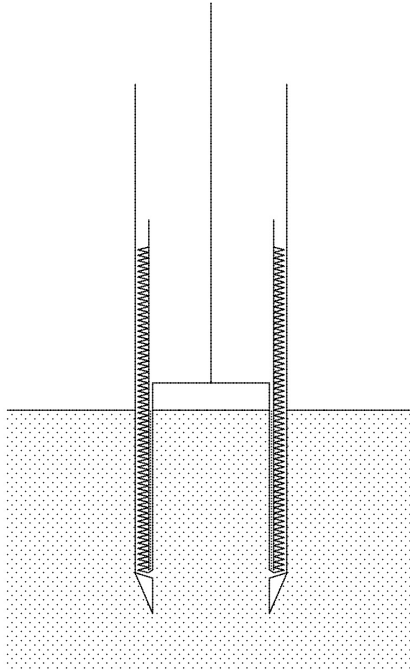
Zand		Klei	
N	Dichtheid	N	Consistentie
< 4	Zeer los	< 2	Zeer zacht
4-10	Los	2-4	Zacht
10-30	Normaal	4-8	Normaal
30-50	Dicht	8-15	Stijf
> 50	Zeer dicht	15-30	Zeer stijf
		> 30	Hard

Tabel 3.2. Interpretatie SPT volgens Terzaghi & Peck.

Eenvoudige methoden om een grondmonster te nemen bestaan er uit om een buis de grond in te drukken of te slaan, en dan weer omhoog te trekken. Een veel gebruikt systeem is dat van de al eerder genoemde *pulsboring*, zie figuur 3.5. Daarbij wordt de grond verwijderd met een zogenaamde puls, dat is een buis van ongeveer 1 meter lengte, soms met een klep aan de onderzijde. De puls wordt in de grond gebracht door hem op te tillen en dan te laten vallen, of door er op te slaan. Groot voordeel van dit systeem is dat er geen zware apparatuur voor nodig is. Men kan bij wijze van spreken midden in de rimboe te voet een monster gaan steken. Het spreekt vanzelf dat men op deze wijze echter geen mooi monster krijgt, en vaak ook weinig gedetailleerde informatie. De grond is sterk vermengd en verstoord (*geroerd*), maar bij redelijk dikke lagen kan wel een goede indruk van de opbouw van de grond worden verkregen. In cohesieve grond kan het boorgat vaak uit zichzelf blijven staan, maar in veel grondsoorten is het nodig om een systeem met een aparte boorbuis gebruiken. Het monster wordt dan gestoken binnen de boorbuis. Een beter systeem is om de steekbuis langzaam de grond in te drukken, zoals bijvoorbeeld gebeurt met de zogenaamde spitsmuis. Het indrukken geschiedt met een hydraulisch

systeem, vanaf een zware vrachtwagen die de tegendruk moet leveren. De monsters zijn hierbij van wat betere kwaliteit. Door de wrijving met de grond treedt langs de wand nog wel een behoorlijke verstoring op.

Er zijn door diverse laboratoria op de wereld nog betere systemen bedacht om monsters te steken, waarbij dan getracht wordt het te steken monster zo min mogelijk te verstoren. Het streven is om een *ongeroerd monster* te nemen. Helemaal perfect kan dat natuurlijk nooit, maar men kan er wel dicht bij in de buurt komen. Een mooi systeem is dat van het continu-steekapparaat van GeoDelft, ontwikkeld door Begemann, zie figuur 3.6.

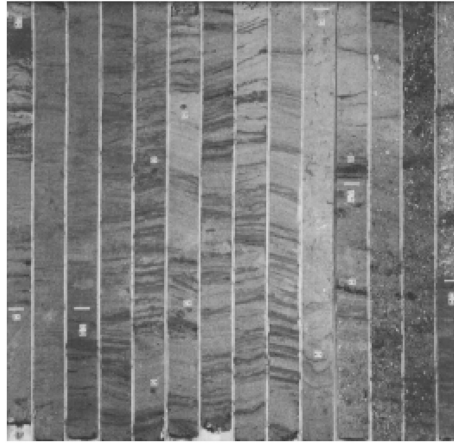


Figuur 3.6. Begemann-boring.

Bij dit systeem worden twee buizen tezamen omlaag gedrukt. Het monster wordt geleidelijk omgeven door een nylonkous die aanvankelijk om de binnenste buis is opgerold, en langzamerhand wordt afgestroopt doordat de plunjer waaraan het uiteinde van de kous is bevestigd aan de bovenzijde wordt vastgehouden. Er ontstaat tenslotte een continu monster van grote lengte (tot ongeveer 20 meter), omringd door een nylonkous. Rondom de kous bevindt zich een dunne laag van een zware steunvloeistof ($\gamma \approx 15 \text{ kN/m}^3$). Die vloeistof heeft tot doel om horizontale steun aan het monster te geven, en om wrijving langs het monster te voorkomen. Op deze wijze kunnen monsters van zeer goede kwaliteit worden gestoken. Ook zeer dunne laagjes kunnen worden geïdentificeerd, los zand kan net zo goed worden gestoken als klei, en de monsters zijn goed genoeg voor laboratoriumproeven, althans bij de zwaarste uitvoering (met 66 mm diameter). De boring wordt vaak gepresenteerd met een kleurenfoto van over de lengte doorsneden delen van het monster. Aan het feit dat zeer dunne laagjes in de doorsnede ook bij de rand niet verstoord

zijn kan men zien dat bij de boring slechts zeer geringe schuifspanningen op het monster worden uitgeoefend.

Interessant is nog dat men tegenwoordig ook monsters kan steken vanaf de zeebodem. Een fraaie methode is die met een duikerklok, die tot op de zeebodem wordt neergelaten. Vanuit de duikerklok, waarin de luchtdruk gelijk gehouden wordt aan die in het water, kan men dan een monster steken of een sondering maken. Ook bestaan er methoden waarbij een zwaar stalen frame op de zeebodem wordt neergelaten, vanaf een schip. Met behulp van op afstand bestuurde apparatuur kan dan een monster worden gestoken, of een sondering worden gemaakt. Deze methode kan ook worden toegepast bij grote waterdiepten.



Figuur 3.7. Continu-boring.

Een voorbeeld van een continuboring gemaakt vanaf de bodem van de Oosterschelde is weergegeven in figuur 3.7. De figuur is ontleend aan Begemann *et al.*, *Terreinonderzoekingen, LGM-mededelingen*, vol. 18, sept.1977.

Onderzoek van de zeebodem is vooral van belang voor toepassingen in de offshore-technologie. Platforms voor de winning van olie en gas worden vaak op grote palen gefundeerd. Meestal zijn dat holle buispalen, met een diameter van vaak meer dan een meter, en een lengte van vele tientallen meters. Die palen ontleen hun draagkracht vooral aan de wrijving langs de schacht, en niet zozeer aan het puntdragvermogen, zoals bij de normale heipalen toegepast in West-Nederland. Het is dan natuurlijk van groot belang de wrijvingsweerstand (of *kleef*) tevoren goed te kunnen voorspellen. Dat kan goed geschieden met behulp van een sondering vanaf de zeebodem. Die geeft uiteraard ook goede informatie over de samenstelling van de zeebodem, naast de numerieke waarden voor de plaatselijke kleef en de conusweerstand.