

---

AANWENDING VAN DE STATISTIEK VOOR DE VERWERKING  
VAN GRONDMECHANISCHE KARAKTERISTIEKEN

Jan MAERTENS

N.V. Smet-Boring  
Oude Markt, 1 - B-2480 DESSEL

### 1. Inleiding

Na het uitvoeren van een grondonderzoek langs een bepaald tracé of binnen een bepaald gebied zal men meestal pogen om de verkregen resultaten op een aanschouwelijke wijze weer te geven door het tekenen van profielen, zogenaamde langs- en /of dwarsprofielen. Op deze profielen kan dan de begrenzing worden aangegeven van de ter plaatse aangetroffen geologische formaties of van de lagen welke als min of meer homogeen kunnen worden aanzien.

Dank zij het tekenen van deze profielen kan iedere geïnteresseerde gebruiker op een snelle wijze een idee krijgen van de variatie van de grondmechanische eigenschappen binnen de verschillende op het profiel aangegeven lagen.

In veel gevallen zal men genoeg nemen met het tekenen van profielen omdat de hoeveelheid beschikbare gegevens onvoldoende is om een statistische verwerking ervan te overwegen, of omdat het ontwerp eenvoudigweg kan worden gebaseerd op de meest nadelige resultaten zonder dat daardoor al te oneconomische oplossingen worden verkregen.

Wanneer er toch wordt overgegaan tot een statistische verwerking van de grondmechanische karakteristieken dan kan men daarbij drie toepassingsgebieden onderscheiden alnaargelang het beoogde doel, nml.

- het verwerven van een beter inzicht betreffende de variatie of de spreiding van de eigenschappen.
- het opstellen of toepassen van semi probabilistische ontwerpmethoden.
- het maken van ontwerpen op basis van de probabilistiek.

In wat volgt zal aan de hand van een aantal praktijkvoorbeelden worden gepoogd om een overzicht te geven van de verschillende toepassingsmogelijkheden van de statistiek voor de verwerking van grondmechanische karakteristieken.

## 2. Statistische verwerking van grondmechanische gegevens voor het verwerven van een beter inzicht betreffende de variatie of de spreiding van de eigenschappen:

### a. Algemeen :

Statistische verwerking van grondmechanische gegevens wordt momenteel nog vooral toegepast om een beter inzicht te verwerven betreffende de variatie of de spreiding van de eigenschappen.

Dit kan in de eerste plaats gebeuren om algemene inlichtingen te verkrijgen betreffende de grondmechanische karakteristieken van welbepaalde geologische formaties en de mogelijke geografische spreiding van deze karakteristieken binnen deze formaties.

Bij belangrijke projekten waarvoor meestal een uitgebreid grondonderzoek wordt doorgevoerd, dringt de statistische verwerking van de verkregen resultaten zich meestal op om, rekening houdend met de beschikbare ervaring, veilige waarden van de verschillende ontwerp-karakteristieken te kunnen vastleggen.

Bij onderzoekprogramma's zal men in het algemeen overgaan tot een statistische verwerking van de grondmechanische karakteristieken om de betrouwbaarheid van de verkregen resultaten en de mogelijke veralgemening ervan nader te onderzoeken.

b. Gegevens opgenomen in de verklarende teksten van de grondmechanische kaarten:

Bij het opstellen van de grondmechanische kaarten, welke thans voor de agglomeraties van Brussel, Antwerpen, Gent, Liège, Mons en Charleroi beschikbaar zijn, werden de bestaande resultaten van laboratoriumproeven verzameld en per laag of formatie op een overzichtelijke wijze in tabelvorm weergegeven (fig.1). Voor elke karakteristiek wordt de maximum, minimum en gemiddelde waarde gegeven. Daarbij wordt systematisch ook het aantal beschikbare gegevens vermeld.

In de bijhorende tekst wordt duidelijk aangegeven dat de statistische verwerking van de bestaande gegevens een louter informatief karakter heeft omdat deze gegevens niet afkomstig zijn van een systematisch onderzoek van het beschouwde gebied maar van proeven, welke in functie van welomschreven projecten werden uitgevoerd.

c. Statistische verwerking van de resultaten van het grondonderzoek ten behoeve van de bouw van een Stormvloedkering op de Schelde te Oosterweel.

Ten behoeve van de geplande bouw van een Stormvloedkering op de Schelde werd in 1979 en 1980 een zeer uitgebreid onderzoek uitgevoerd van op het land en van op het water.

Dit onderzoek bestond o.a. uit :

- diepsonderingen
- boringen met ontnaam van geroerde en ongeroerde monsters
- boringen met pressiometerproeven
- laboratoriumproeven op geroerde en ongeroerde monsters
- geofysische proeven.

Van de aldus verkregen grondmechanische karakteristieken werd systematisch de gemiddelde waarde, de maximum waarde, de minimum waarde en de standaardafwijking bepaald in functie van de ontnamediepte of het ontnamepeil.

In fig. 2 is een samenvatting opgenomen van de variatie van de verschillende fysische eigenschappen met de diepte. Daarbij werd telkens de gemiddelde waarde, de maximum en de minimum waarde weergegeven.

In verband met de bepaling van deze fysische eigenschappen kan nog worden opgemerkt dat er in de aanvangsfase duidelijke verschillen werden vastgesteld tussen de resultaten van de proeven welke door drie verschillende laboratoria waren uitgevoerd. Deze afwijkingen bleken een gevolg te zijn van zeer kleine verschillen in de uitvoeringswijze van de proeven. Van zodra deze verschillen waren weggewerkt werden goed vergelijkbare resultaten verkregen.

Bij de statistische verwerking van grondmechanische karakteristieken welke niet allemaal op identiek dezelfde wijze werden bepaald is het dus aangewezen om eerst na te gaan of de uitvoeringswijze van de proeven al of niet invloed heeft gehad op de verkregen resultaten.

Een interessante illustratie daarvan vormen de resultaten van de pressiometerproeven, welke voor hetzelfde projekt werden uitgevoerd. Naast een groot aantal zogenaamde Ménard pressiometerproeven werden er ook drie boringen met zelfborende pressiometerproeven uitgevoerd.

Wanneer men de verkregen waarden van de grensdruk (pression limite) uitzet in functie van het peil (fig. 3) dan blijkt duidelijk dat de grensdrukken afgeleid uit de zelfborende pressiometerproeven een veel kleinere spreiding vertonen en dat deze waarden meestal gelegen zijn tussen de gemiddelde waarden en de maximum waarden van de grensdruk afgeleid uit de Ménard pressiometerproeven. De uitvoeringswijze van de proef heeft dus duidelijk een invloed op de verkregen resultaten. Het door elkaar verwerken van karakteristieken welke op verschillende wijzen werden verkregen kan dan ook onnauwkeurige resultaten opleveren.

Voor de verwerking van de resultaten van triaxiaalproeven wordt reeds lang gebruik gemaakt van een lineaire regressieanalyse in het pq diagramma (fig. 4). De betrouwbaarheid van de aldus verkregen schuifweerstandskarakteristieken is sterk afhankelijk van de hoeveelheid uitgevoerde proeven en van de relatieve ligging van de uiterste punten.

In het kader van dezelfde studie werd tenslotte ook nog een onderzoek uitgevoerd naar de aanwezigheid van septaria of andere harde insluitels in de Boomse klei. Daarbij werden eerst een aantal horizonten afgebakend waarin de harde insluitels vooral werden aangetroffen (fig. 5).

Voor elke horizont werd daarna nagegaan met welke frekwentie er bij de uitvoering van de verschillende proeven harde insluitels waren aangetroffen.

#### d. Onderzoek naar het draagvermogen van palen in de Boomse klei te Kontich.

Op initiatief van de N.V. Pieux Franki werd in het begin van de jaren zeventig een uitgebreid onderzoek uitgevoerd naar het draagvermogen van palen, geheid in een stijve gescheurde klei. Dit onderzoek omvatte ook de uitvoering en de analyse van terrein- en laboratoriumproeven.

Zo werden in het kader van dit onderzoek talrijke diepsonderingen uitgevoerd, waarbij o.a. gebruik werd gemaakt van konussen van verschillende afmetingen en verschillende geometrie en uitgevoerd op verschillende wijzen. Daarnaast werden ook twee boringen uitgevoerd met ontnaam van gevoerde en ongevoerde monsters en met uitvoering van vinproeven in de boorgaten.

De resultaten van het uitgevoerde grondonderzoek werden op een zeer gedetailleerde wijze geanalyseerd en onderling vergeleken. Een samenvatting ervan is weergegeven in het verslag nr. 39 van het IWONL.

Van dit verslag werden enkele representatieve figuren overgenomen:

- fig. 6 : Spreiding van de resultaten van de diepsonderingen, uitgevoerd met een konus met sluitmoer.

In totaal werden 16 dergelijke proeven uitgevoerd over een terrein met een oppervlakte van ca. 60m x 60m.

- fig. 7 : Spreiding van de niet-gedraineerde schuifweerstand afgeleid uit de resultaten van de vinproeven, uitgevoerd in de boringen F1 en F2.

- fig. 8 : Verschil tussen de regressielijnen voor de sonderingen uitgevoerd met een konus met sluitmoer en voor deze uitgevoerd met een mantelkonus of met een kleefmantelkonus.

Op de resultaten van dit onderzoek wordt verder nog teruggekomen.

### 3. Statistische verwerking van grondmechanische gegevens voor het opstellen of toepassen van semi-probabilistische ontwerpmethoden :

#### a. Algemeen :

Naar analogie met de berekeningsmethoden, welke voor beton en staal reeds algemeen worden toegepast, zal men in de grondmechanica meer en meer ontwerpmethoden invoeren welke gesteund zijn op een semi-probabilistische grondslag en waarbij partiële factoren worden toegepast.

Deze ontwerpmethoden zullen wellicht versneld ingang vinden via de Eurocodes, welke momenteel worden opgesteld. In het Draft Model voor Eurocode 7 "Common unified rules for Geotechnics Design" wordt immers een dergelijke methodiek aangegeven voor de toetsing van de uiterste en de bruikbaarheidsgrenstoestand.

Voor het uitvoeren van ontwerpberekeningen vertrekt men dan van zogenaamde representatieve waarden. In verband met de keuze van deze representatieve waarden wordt in het Draft Model o.a. vermeld :

Tekst : "Representative values must be selected such that, in the opinion of the designer, the possibility of a more adverse value governing the field behaviour is not greater than 5%".

Guide : "For parameters for which the relevant values in the field are well established with little uncertainty, the representative value may be taken as the best estimate of the value in the field.

Where there is greater uncertainty, the representative is somewhat more conservative.

In establishing a representative value of a material parameter it might sometimes be helpful to derive a characteristic value from test results using statistical methods. However, it is emphasized that this analysis will rarely lead directly to representative values since these depend on the designers assessment of the field situation."

Met deze omschrijving kan men in feite nog alle kanten op. Er mag evenwel worden aangenomen dat men er in analogie met de beton- en staalbouw meer en meer zal naartoe streven om de berekeningen te baseren op representatieve of karakteristieke waarden.

Op de aldus gedefinieerde representatieve waarde  $f_r$  wordt dan een partiële faktor  $\gamma_m$  toegepast. Men verkrijgt aldus de rekenwaarde  $f_d$  met :

$$f_d = \frac{f_r}{\gamma_m}$$

b. Richtlijnen van de Stichting Bouwresearch voor funderingen op staal :

Zeer recentelijk verscheen in Nederland de Richtlijn n° 192 van de Stichting Bouwresearch betreffende funderingen op staal. Bij het opstellen van deze Richtlijn heeft men zich gebaseerd op het concept van de Model Draft voor Eurocode 7.

Voor het nazicht van het draagvermogen van een fundering op staal wordt aldus uitgegaan van representatieve waarden. In de tekst worden de volgende aanwijzingen gegeven voor het afleiden van de representatieve waarden uit de resultaten van een grondonderzoek.

Uitgegaan wordt van een normale verdeling zoals aangegeven in fig. 9. Men heeft dan :

$$\begin{aligned}x_{kar} &= \mu - 1,64 \cdot \sigma \\ &= \mu - 1,64 \cdot v \cdot \mu\end{aligned}$$

met :  $x_{kar}$  = de karakteristieke waarde van x

$\mu$  = de gemiddelde waarde van x

$\sigma$  = de standaardafwijking

$v$  = de variatiecoëfficiënt

Wanneer men nu bv. beschikt over n waarden van tan  $\emptyset$ , afgeleid uit de resultaten van triaxiaalproeven dan verkrijgt men een schatting van de gemiddelde waarde :

$$\bar{x} = \frac{x_1 + \dots + x_n}{n} = \frac{\sum x_i}{n}$$

en van de standaardafwijking:

$$s = \sqrt{\frac{\sum x^2 - (\sum x)^2/n}{n-1}}$$

Een veilige (karakteristieke) waarde voor de gemiddelde waarde van tan  $\emptyset$  wordt dan:

$$\bar{x}_{kar} = \bar{x} - t \cdot s \cdot \frac{1}{\sqrt{n}}$$

en voor de veilige lokale waarde :

$$x_{kar} = \bar{x} - t \cdot s \cdot \sqrt{\frac{n+1}{n}}$$

waarin t : de waarde horend bij een onderschrijdingskans van 5% bepaald op basis van de studentverdeling.

De in de tekst aangegeven richtwaarden voor de variatiecoëfficiënt zijn opgenomen in de tabel van fig. 10.

c. Partiële veiligheidscoëfficiënten voor de bepaling van het draagvermogen van palen :

Op basis van de resultaten van een groot aantal paalbelastingsproeven en het onderzoek van de resultaten diepsonderingen binnen een uitgestrekt gebied, werd door een werkgroep onder leiding van Prof. De Beer een methode voorgesteld voor het berekenen van het toelaatbaar draagvermogen van geheide grondverdringende palen.

Bij deze methode wordt gebruik gemaakt van partiële veiligheidscoëfficiënten.

Het toelaatbaar draagvermogen wordt dan verkregen als kleinste van de twee waarden :

$$Q_{a,1} = \frac{1}{F_1} \cdot \left( \frac{Q_{b,z,max}}{\eta_1} + \frac{Q_{s,z,max}}{\eta_2} \right)$$

$$Q_{a,2} = \frac{1}{F_1} \cdot (Q_{b,z,min} + Q_{s,z,min})$$

met  $F_1 = 1,4$

$Q_{b,z,max}$  = de grenswaarde van de weerstand aan de basis afgeleid uit de meest voordelige diepsondering

$Q_{s,r,max}$  = de grenswaarde van de zijdelingse wrijving afgeleid uit de meest voordelige diepsondering.

$Q_{b,r,min}$  = de grenswaarde van de weerstand aan de basis afgeleid uit de meest nadelige diepsondering.

$Q_{s,r,min}$  = de grenswaarde van de zijdelingse wrijving afgeleid uit de meest nadelige diepsondering.

$\eta_1, \eta_2$  = partiële veiligheidscoëfficiënten.

Om de waarde van  $\eta_1$  en  $\eta_2$  te bepalen heeft men voor twee geologische formaties nl. de Boomse Klei en het Scaldisiaans Zand van Kallo de terreinen opgezocht waar een aantal sonderingen werden uitgevoerd.

Voor elk van deze terreinen werden de waarden  $Q_{b,r,max}$ ,  $Q_{s,r,max}$ ,  $Q_{b,r,min}$  en  $Q_{s,r,min}$  bepaald. Daaruit werden dan de volgende verhoudingen berekend :

$$\eta_1 = \left( \frac{Q_{b,r,max}}{Q_{b,r,min}} \right)_{\text{proefterrein}}$$

$$\eta_2 = \left( \frac{Q_{s,r,max}}{Q_{s,r,min}} \right)_{\text{proefterrein}}$$



Op basis van de resultaten van het aldus uitgevoerde grondonderzoek werden de volgende richtwaarden afgeleid =

$$\eta_1 = 1,50 \quad \text{en} \quad \eta_2 = 1,30$$

Deze richtwaarden gelden zowel voor de Boomse Klei als voor het Scaldesiaans Zand van Kallo.

Ofschoon de hierboven beschreven berekeningsmethode geen semi-probabilistische grondslag heeft, werd voor het opstellen ervan toch rekening gehouden met de mogelijke variatie van de grondmechanische eigenschappen binnen een bepaald gebied. Het zou wellicht de moeite lonen om eens na te gaan hoe de resultaten van deze studie kunnen worden herzien rekening houdend met het concept van de Model Draft voor Eurocode 7.

#### 4. Statistische verwerking van de grondmechanische gegevens voor de toepassing van probabilistische methoden :

##### a. Algemeen

Bij het zogenaamd probabilistisch ontwerpen wil men zo goed mogelijk rekening houden met de spreiding van de grondmechanische eigenschappen binnen een bepaald gebied.

De spreiding, welke in rekening dient te worden gebracht, wordt veroorzaakt door :

- een eventuele "periodieke" variatie van de grondeigenschappen zelf ten gevolge van het bestaan van een min of meer regelmatige structuur. Hiermede worden zowel lokale schommelingen als regionale tendensen bedoeld.
- een zuiver willekeurige variatie omheen de lokale en regionale periodieke variaties.

De lokale en regionale variaties zijn uiteraard nauw verbonden met de geologische processen, welke tijdens de afzetting of de transformatie van de beschouwde lagen of formaties hebben plaats gevonden.

De zuiver willekeurige variaties zijn onder meer een gevolg van de onzekerheid bij de monsterontname. Men beschikt immers nooit over alle gegevens betreffende de bestudeerde laag maar slechts over de informatie die verkregen wordt door de analyse van enkele monsters. Ook meetfouten, onnauwkeurigheden bij het uitvoeren van de proeven enz. dragen bij tot de willekeurige spreiding van de grondkarakteristieken.

Bij ontwerpberoeeningen volgens de probabilistische methode zal men dus in de mate van het mogelijke rekening houden met de volgende variaties :

- de regionale variaties of tendensen, welke de geleidelijk variaties van de grondmechanische eigenschap binnen een welbepaalde geologische formatie beschrijven.
- de lokale variaties, welke op een kleinere schaal de eventuele periodieke variaties omheen de regionale variatie beschrijven.
- de willekeurige spreiding, welke globaal genomen de eigenlijke dispersie van de eigenschappen en de afwijkingen t.g.v. meetfouten en onnauwkeurigheden bij de uitvoering van de proeven, weergeeft.

In het algemeen is men bij het ontwerpen van konstrukties slechts geïnteresseerd in de variatie van de grondmechanische eigenschappen binnen welbepaalde grenzen d.w.z.

- wanneer men de grondmechanische eigenschappen op een zeer kleine schaal zou beschouwen, bv. over afstanden van slechts enkele malen de diameter van de korrels, dan kunnen lokale variaties gevonden worden, welke geen enkel belang hebben voor de bepaling van het gedrag van reële konstrukties.
- wanneer men daarentegen de grondmechanische eigenschappen slechts op een zeer grote schaal zou beschouwen bv. over een volledig bouwterrein, dan verliest men alle inlichtingen over de lokale en regionale variaties van de eigenschappen binnen dat terrein.

Het interessegebied van de ontwerper van konstrukties moet dus duidelijk tussen beide grenzen gelegen zijn.

#### b. Model voor het weergeven van de verschillende variaties

De hierboven vernoemde variaties van een grondmechanische eigenschap binnen een bepaalde laag of formatie kunnen worden beschreven door middel van een model, dat voor elke variatie slechts een beperkt aantal parameters omvat :

- de regionale tendens wordt weergegeven door een lineaire funktie van de coördinaten met een onafhankelijke term (de gemiddelde waarde in de oorsprong) en één parameter per as van het beschouwde assenstelsel.
- de periodieke variatie omheen de regionale tendens wordt weergegeven door de zogenaamde autocorrelatiefunktie. Hierop wordt verder teruggekomen.
- de residuele dispersie wordt weergegeven door de variantie. Deze variantie wordt meestal constant genomen, maar kan ook zoals de gemiddelde waarde variabel zijn binnen de beschouwde laag.

Het begrip "autocorrelatie" dat wordt ingevoerd om de periodieke variaties te omschrijven geeft dus in feite de ruimtelijke persistentie van de schommelingen weer, m.a.w. indien een eigenschap in een bepaald punt groter (of kleiner) is dan de gemiddelde waarde, dan zal de kans dat de waarde van deze eigenschap in naburige punten eveneens groter (of kleiner) is dan de gemiddelde waarde, des te groter zijn naarmate deze punten dichter bij het beschouwde punt gelegen zijn.

De autocorrelatiefunctie  $\rho(d)$ , is een functie van de afstand  $d$  en geeft dus de correlatie weer tussen de waarde van de eigenschap in een willekeurig punt en de waarde van deze eigenschap in punten gelegen op een afstand  $d$  van het beschouwde punt.

Wanneer men uitgaat van een variabele  $u(s)$ , waarbij  $s$  de lopende plaatscoördinaat is, dan wordt de gemiddelde waarde van  $u(s)$  gedefinieerd als :

$$\bar{u} = \frac{1}{B} \int_0^B u(s) \cdot ds$$

De autocorrelatiefunctie  $\rho(d)$  wordt dan gegeven door de uitdrukking :

$$\rho_u(d) = \frac{\text{Cov}[u(s), u(s+d)]}{\text{Var}[u]}$$

met  $\text{Cov}[u(s), u(s+d)]$  de covariantie tussen twee waarden  $u(s)$  en  $u(s+d)$  welke op een afstand  $d$  van elkaar gelegen zijn.

$$\text{Cov}[u(s), u(s+d)] = \frac{1}{B} \int_0^B [u(s) - \bar{u}][u(s+d) - \bar{u}] \cdot ds$$

en  $\text{Var}[u]$  = de variantie

$$\text{Var}[u] = \frac{1}{B} \int_0^B [u(s) - \bar{u}]^2 \cdot ds$$

De aldus bepaalde waarde van de autocorrelatiefunctie  $\xi(d)$  wordt bepaald voor een groot aantal waarden van  $d$  en daarna in grafiek uitgezet in functie van  $d$ . Voor  $d=0$  heeft men per definitie  $\xi(0) = 1$ . In de praktijk wordt dan een theoretische wet gekozen welke de experimentele wet zo goed mogelijk benadert. Meestal wordt daarvoor een lineaire of exponentiële wet gebruikt.

### c. Voorbeeld

Het hierboven beschreven model werd toegepast voor de analyse van de diepsonderingen uitgevoerd op het eerder vernoemde proefterrein te Kontich. Alleen de diepsonderingen uitgevoerd met een gewone konus met sluitmoer werden beschouwd.

De resultaten van deze diepsonderingen werden ter beschikking gesteld door het Rijksinstituut voor Grondmechanica en de berekeningen werden gemaakt door het Laboratorium voor Grondmechanica van de Universit  de Liège. Van de beschouwde diepsonderingen werden alleen de konusweerstand opgemeten vanaf een diepte van 4,80m in rekening gebracht.

De regionale variatie werd bepaald door voor elke diepsondering een lineaire regressie toe te passen op de gemeten konusweerstand. De variatie van de gemiddelde konusweerstand  $q_{c,m}$  met de diepte  $z$  wordt dan gegeven door de uitdrukking

$$q_{c,m} = a + bz$$

De waarden van  $a$  en  $b$  welke voor de verschillende sonderingen werden verkregen zijn weergegeven in de tabel van fig. 11.

Uitgaande van de aldus gedefinieerde rechten werd dan voor elke sondering de autocorrelatiefunctie  $\xi(d)$  bepaald. Enkele typische voorbeelden zijn weergegeven als fig.12 en fig.13.

Tenslotte werd ook nog de gemiddelde waarde van  $\xi(d)$  kurven bepaald uitgaande van de afzonderlijke kurven voor de verschillende sonderingen. Deze gemiddelde curve is opgenomen als fig.14. Ofschoon de aldus verkregen curve geen eigen betekenis heeft valt het regelmatig verloop ervan op. Opmerkelijk is ook dat de tussenafstand tussen de pieken ca. 1,50m bedraagt, d.i. goed vergelijkbaar met de tussenafstand welke eerder door N. Vandenberghe werd opgegeven voor de door hem op het terrein waargenomen siltlagen in de Boomse klei.

## 5. Besluit

Tot op heden heeft de statistische verwerking van grondmechanische karakteristieken nog maar weinig ingang gevonden. Alleen toepassingen voor het verwerven van een beter inzicht betreffende de variatie of de spreiding van de grondmechanische eigenschappen komen min of meer regelmatig voor.

Door het invoeren van de Eurocodes zal het semi-probabilistisch ontwerpen ook in de grondmechanica worden opgelegd dit naar analogie met de reeds bestaande ontwerpmethoden voor staal en beton. De tekst van de Draft Model voor Eurocode 7 is op het punt van de statistische verwerking van grondmechanische gegevens nogal ruim, zodat het wellicht nog een lange tijd zal duren vooraleer een dergelijke verwerking dagelijks zal worden toegepast bij het opmaken van een ontwerp.

De statistische verwerking van grondmechanische karakteristieken is vooral van belang bij het probabilistisch ontwerpen.

Deze methode werd o.a. toegepast bij de bouw van de stormvloedkering op de Oosterschelde. De verdere ontwikkeling van deze ontwerpmethode hangt wellicht nauw samen met de vorderingen welke nog kunnen worden gemaakt op het gebied van de statistische verwerking van de grondmechanische karakteristieken.

In ieder geval blijft de statistische verwerking van grondmechanische karakteristieken een boeiende wetenschap, welke ons bij een veralgemening ervan, wellicht betere inzichten kan opleveren betreffende het werkelijk gedrag van de grond. Als raakpunt tussen de geotechniek en de geologie vormt het een ideaal thema voor een nauwere samenwerking tussen beide disciplines.

## 6. Referenties

E. De Beer, W. De Breuck, Ph. Van Burm en J. Maertens,  
Grondmechanische Kaart 15.3.6 Antwerpen Centrum,  
Rijksinstituut voor Grondmechanica, 1987

J. Schittekat, J.P. Henriët en N. Vandenberghe,  
Geology and Geotechnique of the Scheldt Surge Barrier, Characteristics of an  
overconsolidated clay, Proceedings of the 8th International Harbour  
Conference, Antwerp, 1983

Eurocode 7 : Common Unified rules for Geotechnics, Design, Report prepared  
for the Commission of the European Communities by Representatives of the  
Geotechnical Societies within the European Communities, december 1987

Richtlijnen voor funderingen op staal, ontwerp en uitvoering, Richtlijn n° 192  
van de Stichting Bouwresearch, Rotterdam, 1989

E. De Beer, E. Lousberg, A. De Jonghe, M. Wallays en R. Carpentier,  
Partial Safety Factors in Pile Bearing Capacity, Proceedings of the Xth ICSMFE,  
Stockholm 1981

E. De Beer, E. Lousberg, M. Wallays, R. Carpentier, J. De Jaeger en J. Paquay,  
Bearing Capacity of displacement piles in stiff fissured clays,  
Verslag over navorsingen n° 39 van het I.W.O.N.L., Maart 1977

A. Bolle, Approche probabiliste en mécanique des sols avec prise en compte de  
la variabilité spatiale, Thèse n° 743, Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne,  
1988

	$d_{50}$ (14)**	$\gamma_n$ (5)	$\gamma_d$ (5)	w (5)	n (5)	$w_L$ (8)
	mm	kN/m <sup>3</sup>	kN/m <sup>3</sup>	%	%	%
Min.	0,125	15,784	14,214	10,8	37,0	20,4
Max.	0,165	20,012	16,382	26,9	45,3	29,5
Gem.	0,148	18,295	15,293	19,2	41,1	23,6

	$i_p$ (8)	A (2)	C (2)	k (2)
				m/s
Min.	0,6	500	32	$4,06 \times 10^{-6}$
Max.	12,3	550	53	$1,60 \times 10^{-4}$
Gem.	4,7			

\*\* Aantal onderzochte monsters

Fig. 1 : Gegevens i.v.m. de eigenschappen van het Scaldisiaan zandcomplex opgenomen in de Verklarende Tekst van de Grondmechanische Kaart 15.3.6 Antwerpen - Centrum.

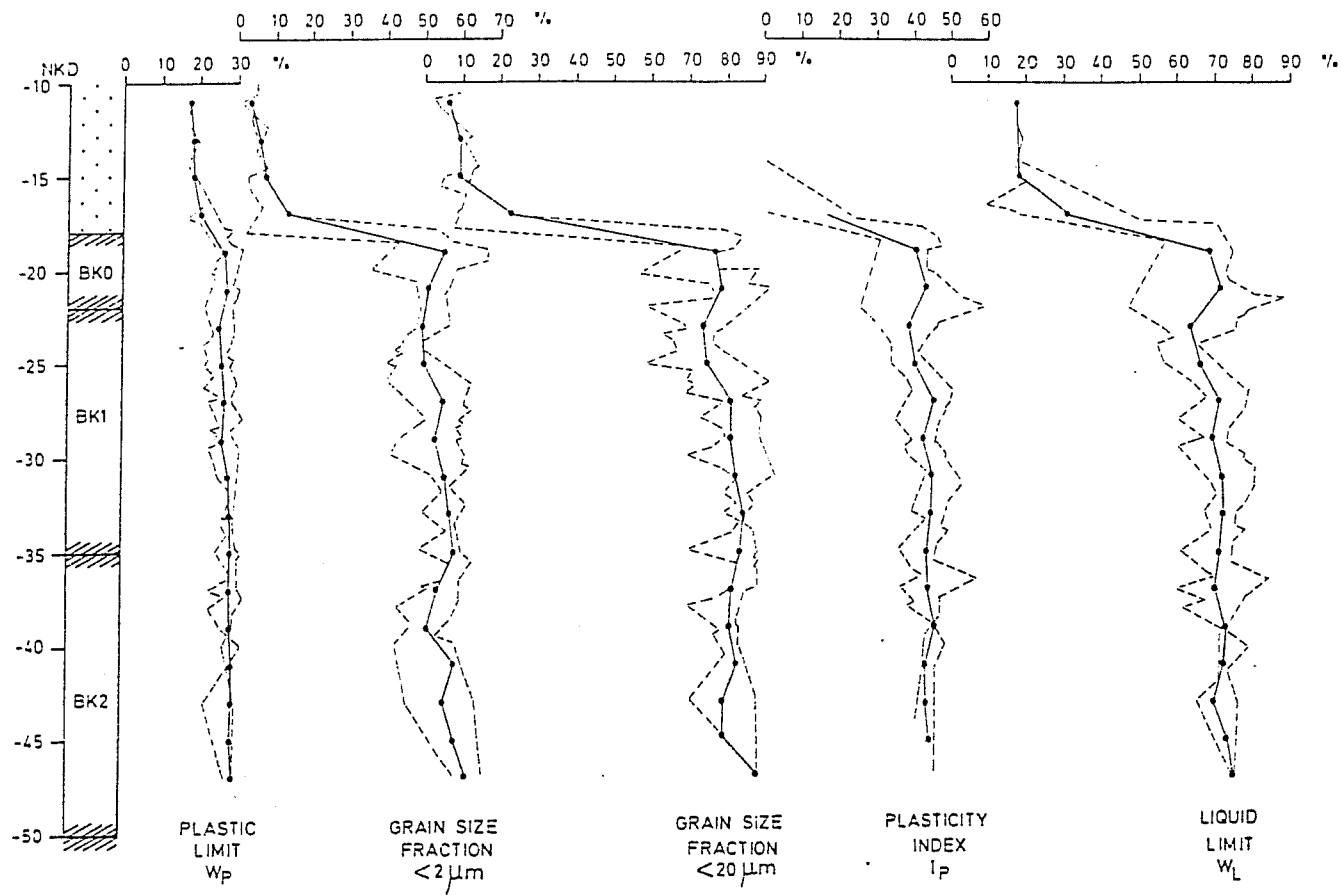


Fig. 2: SVKS - Variatie van de fysische eigenschappen met de diepte.

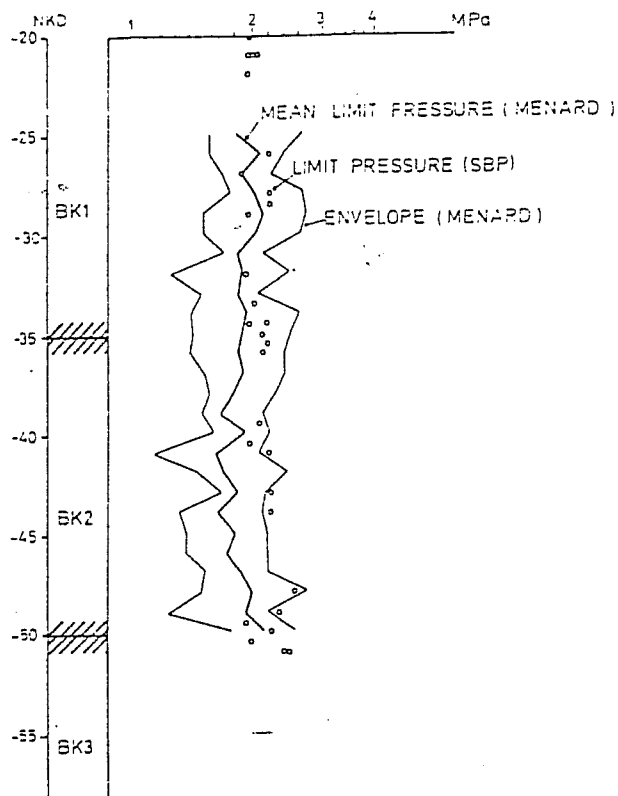


Fig. 3 : SVKS - Variatie met de diepte van de limietdruk afgeleid uit de Ménard-pressiometerproeven en uit de zelfborende pressiometerproeven.



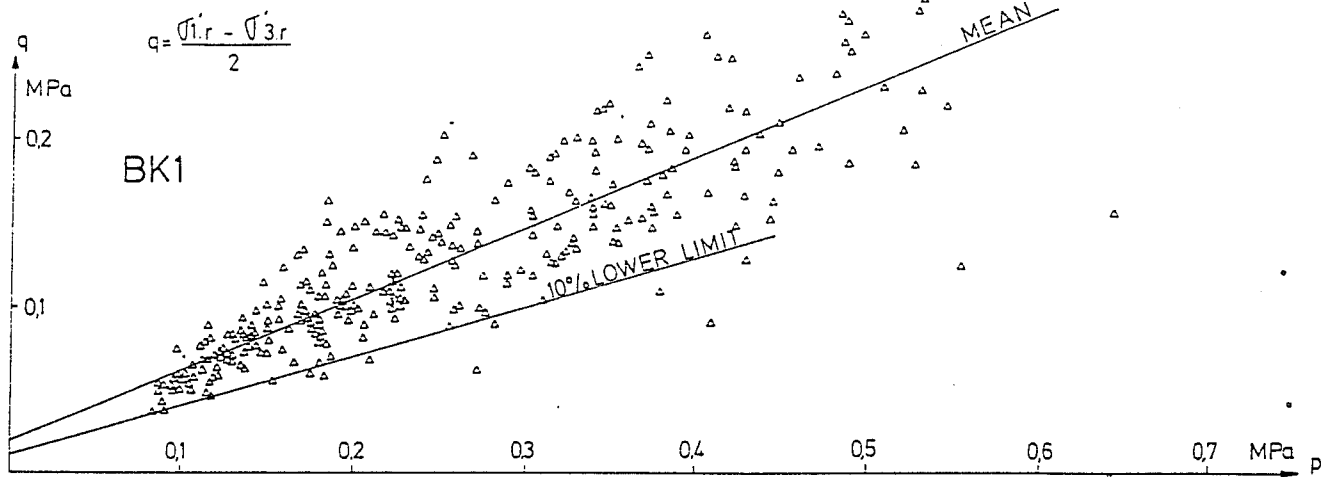


Fig.4: SVKS - pq diagramma voor de CU triaxiaalproeven op monsters ontnomen in de BK1 laag.

<u>Septaria belt</u>	<u>Frequency C.P.T.</u>	<u>Frequency borings</u>	<u>Total frequency (%)</u>
12	8/41	12/24	31
11	13/41	5/24	28
10	5/40	4/24	14
9	9/30	5/19	19
8	8/27	4/15	29
7	11/27	1/15	29
6	11/26	4/15	37

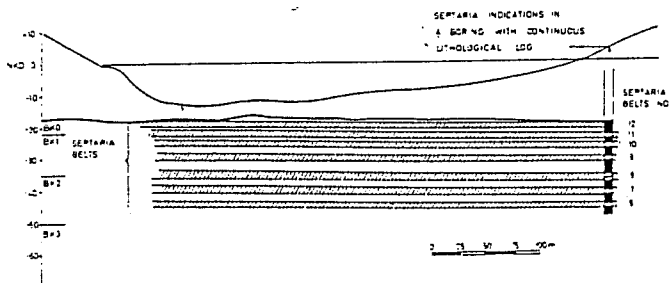


Fig. 5 : SVKS - frekwentieanalyse naar het voorkomen van harde insluitels (septaria en andere) in een aantal vooraf afgebakende horizonten in de Boomse klei.

# KONTICH

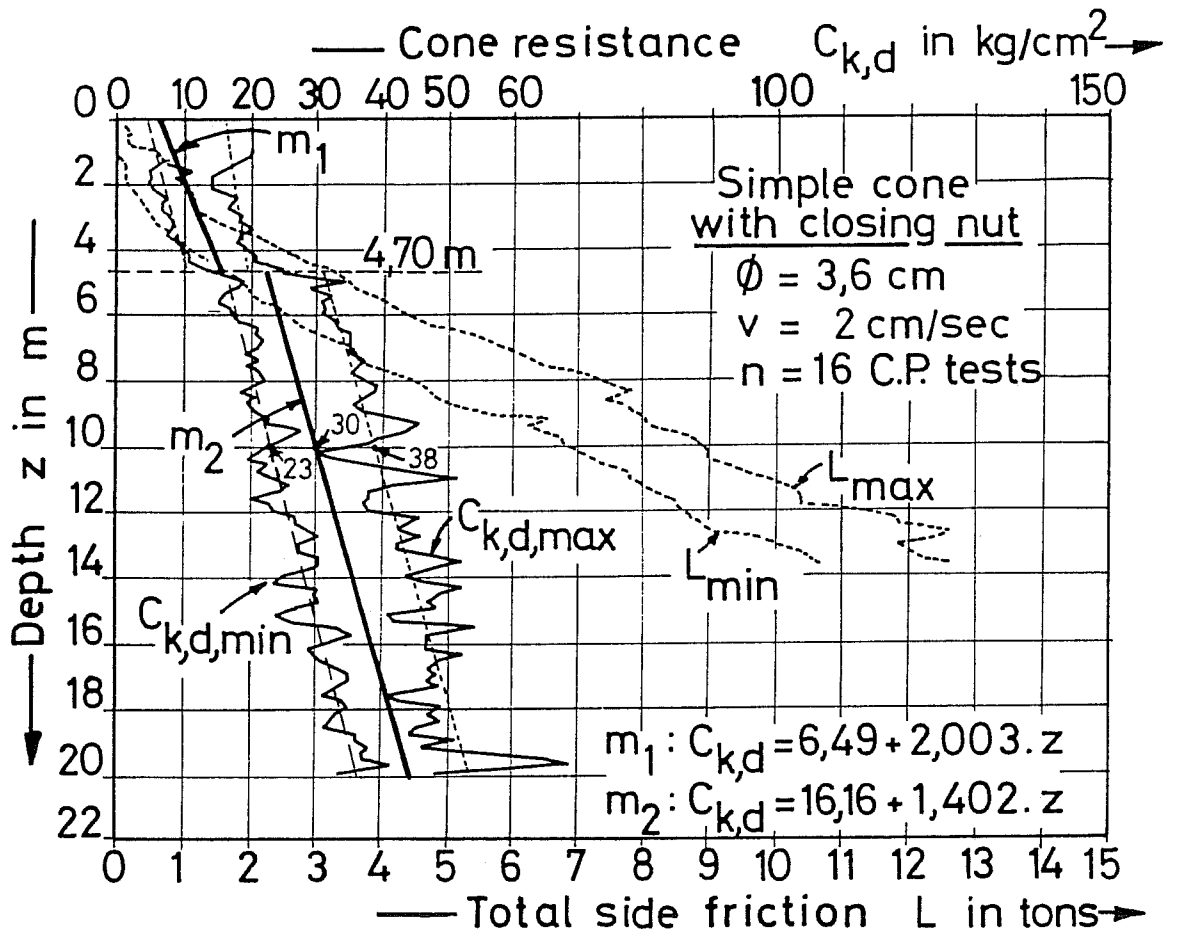


Fig. 6 : Proefterrein Kontich : spreiding van de resultaten der sonderingen uitgevoerd met een gewone konus met sluitmoer.

BORING F1 and F2 KONTICH

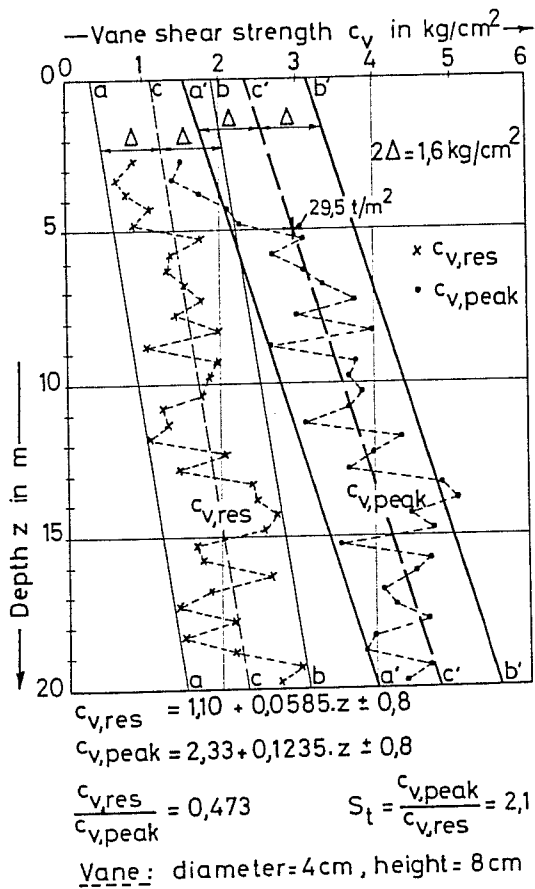


Fig. 7: Proefterrein Kontich  
Variatie van de niet-gedraineerde schuifweerstand afgeleid uit de resultaten van de vinproeven uitgevoerd in de boringen F1 en F2.

KONTICH

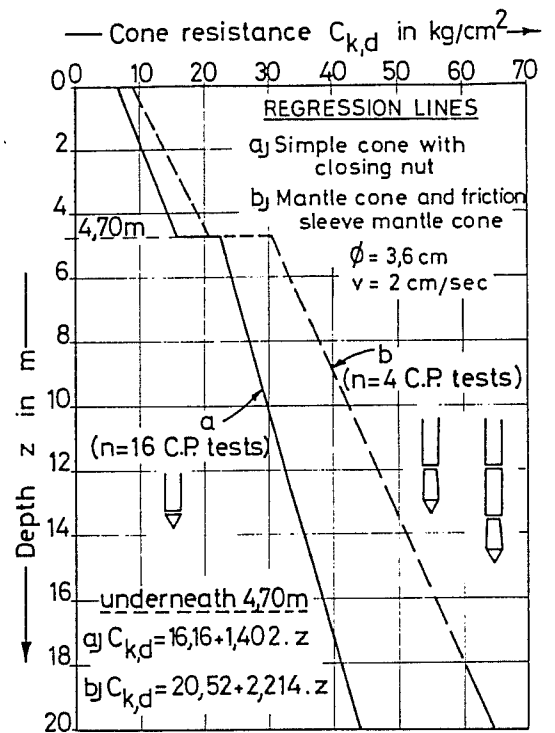


Fig. 8: Proefterrein Kontich  
Invloed van de vorm van de sondeerkonus op de opgemeten konusweerstand.

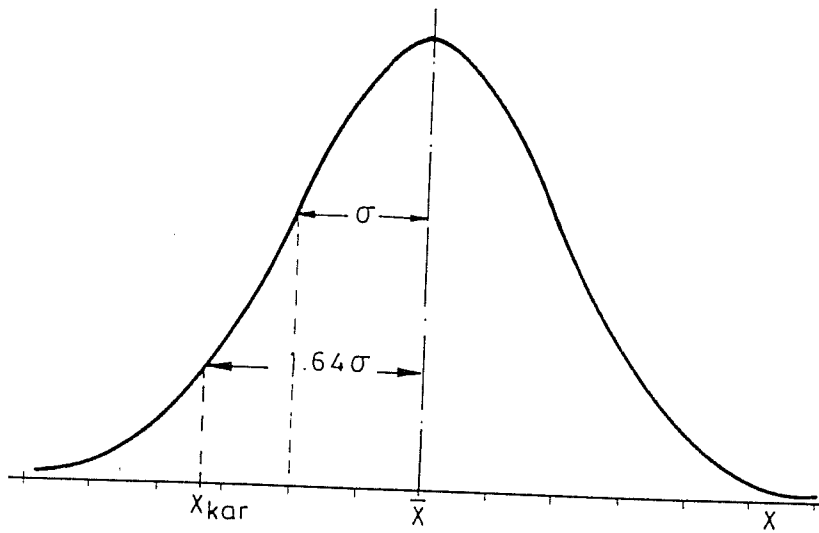


Fig. 9: Richtlijn SBR n° 192.  
Aangenomen normale verdeling van de grondeigenschap  $x$ .

grondeigenschap	symbool	v%
dichtheid	$\rho$	5-10
samendrukkingscoëfficiënten	$C$	25-30
ongedraineerde schuifsterkte	$c$	20-50
hoek van inwendige wrijving	$\phi^u$	5-15

Fig. 10: Richtlijn SBR n° 192 .  
Richtwaarden i.v.m. de variatiecoëfficiënt voor grondeigenschappen.

essai	prof max.	moyenne valeurs	sigma valeurs	Droite		sigma écarts
				a	b	
I	20.0	48.07	11.44	19.854	2.276	5.35
II	15.6	25.62	5.38	12.101	1.326	3.34
III	20.0	32.54	10.64	8.642	1.927	6.30
IV	20.0	31.13	8.09	11.006	1.623	3.66
V	20.0	47.20	9.64	25.713	1.733	5.79
VI	20.0	48.45	11.79	20.589	2.247	6.27
VII	20.0	31.54	6.64	16.068	1.248	3.65
VIII	20.0	32.37	7.17	15.584	1.354	3.90
IX	19.0	32.64	7.87	12.888	1.660	3.79
X	20.0	33.65	8.81	11.213	1.809	3.59
XI	20.0	33.78	8.96	11.706	1.780	4.21
XII	20.0	33.01	8.11	13.415	1.580	4.06
XIII	20.0	48.41	11.74	17.487	2.494	3.86
XIV	15.6	34.08	6.32	17.925	1.584	3.83
A1	19.4	31.60	6.10	18.902	1.050	4.14
A2	19.6	31.24	7.32	13.823	1.428	3.92
P1	20.0	31.37	7.48	13.569	1.436	3.90
P2	20.0	31.86	9.85	15.678	1.305	7.96
XVII	15.0	29.55	4.80	18.719	1.094	3.50
XIX	13.6	35.29	7.50	14.387	2.272	4.62

Fig. 11 : Gegevens i.v.m. de regressielijnen welke werden getekend voor 20 diepsonderingen uitgevoerd op het proefterrein te Kontich.

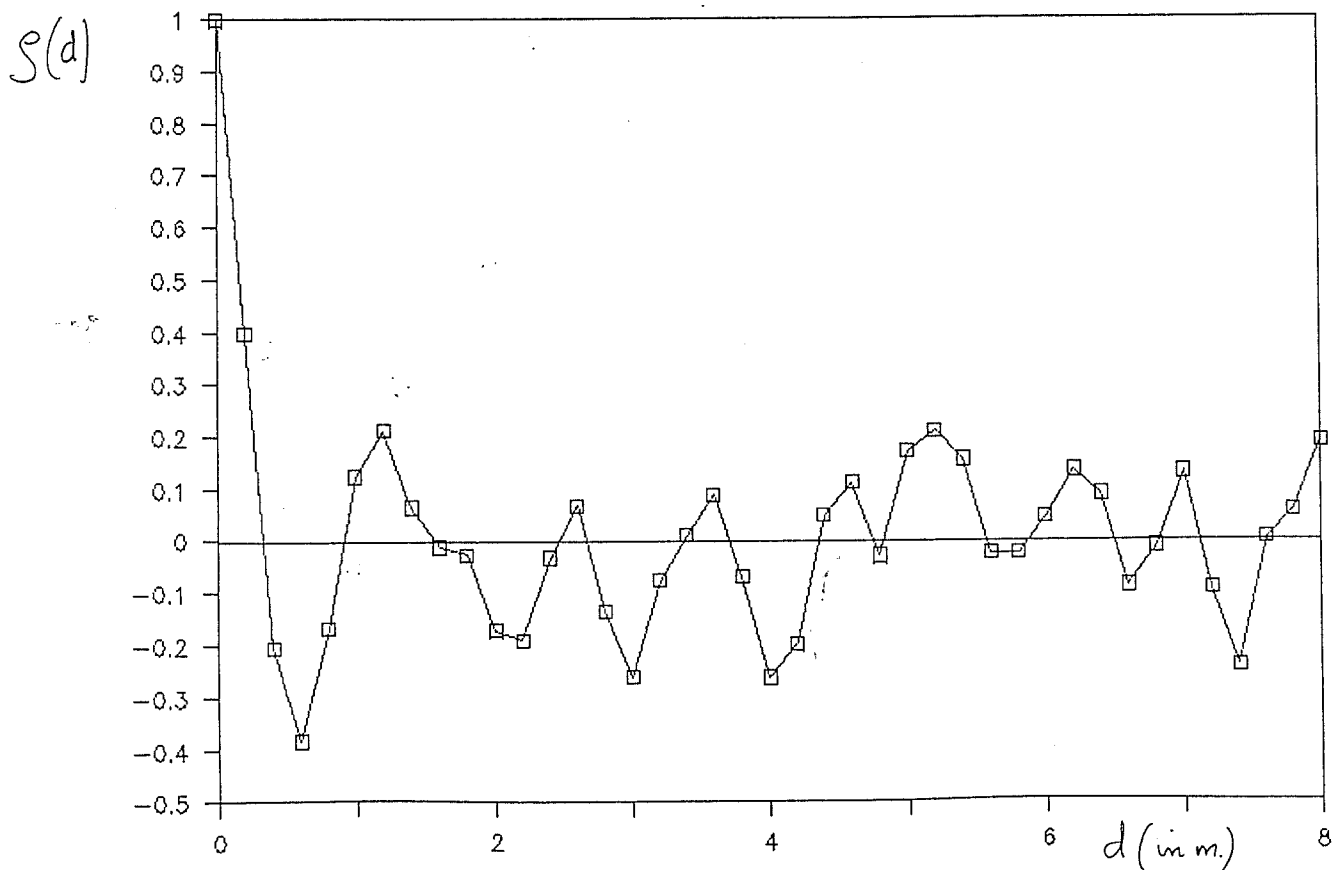


Fig. 12 : Autocorrelatiefunctie afgeleid voor diepsondering II op het proefterrein te Kontich.

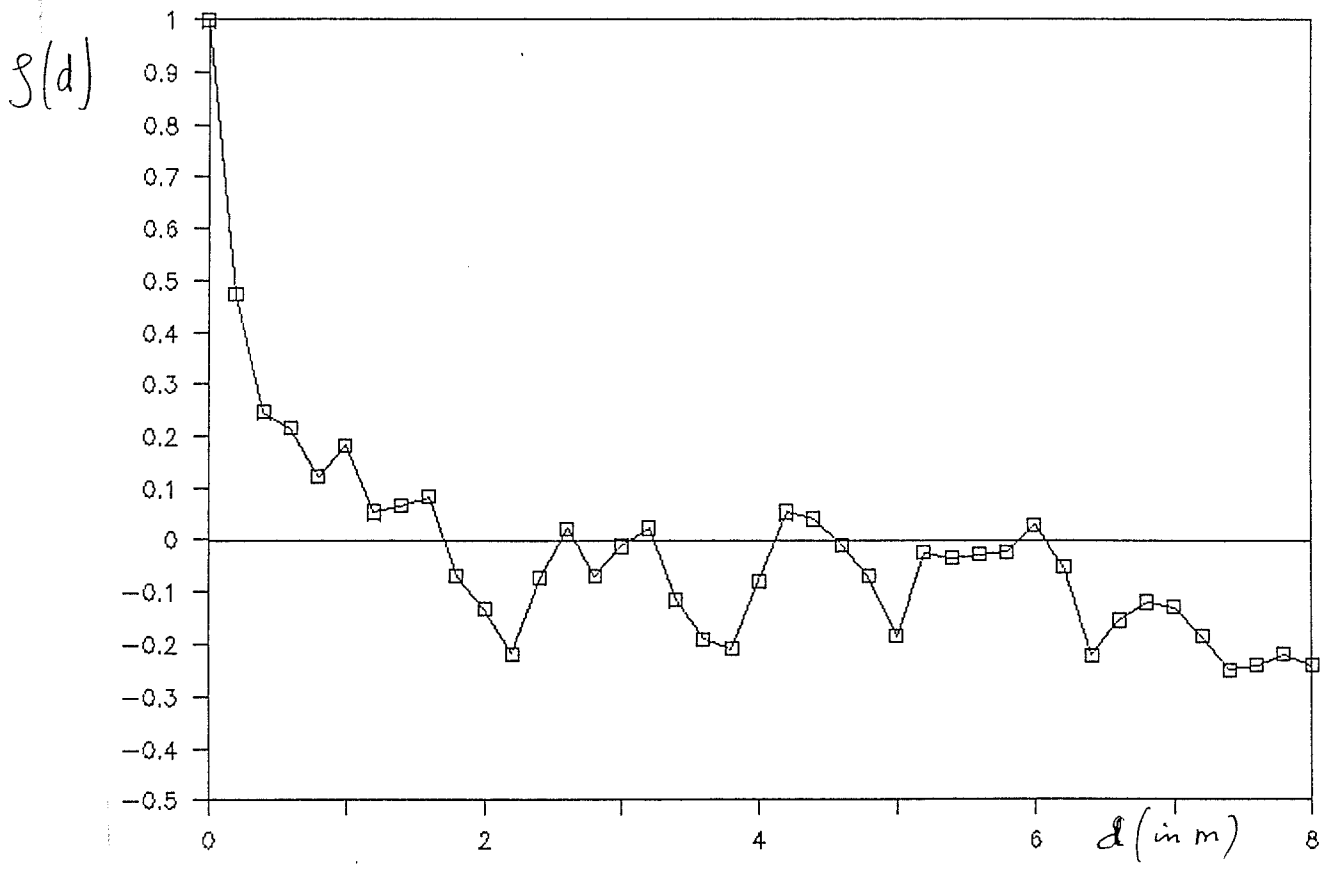


Fig. 13: Autocorrelatiefunctie afgeleid voor diepsondering V op het proefterrein te Kontich.

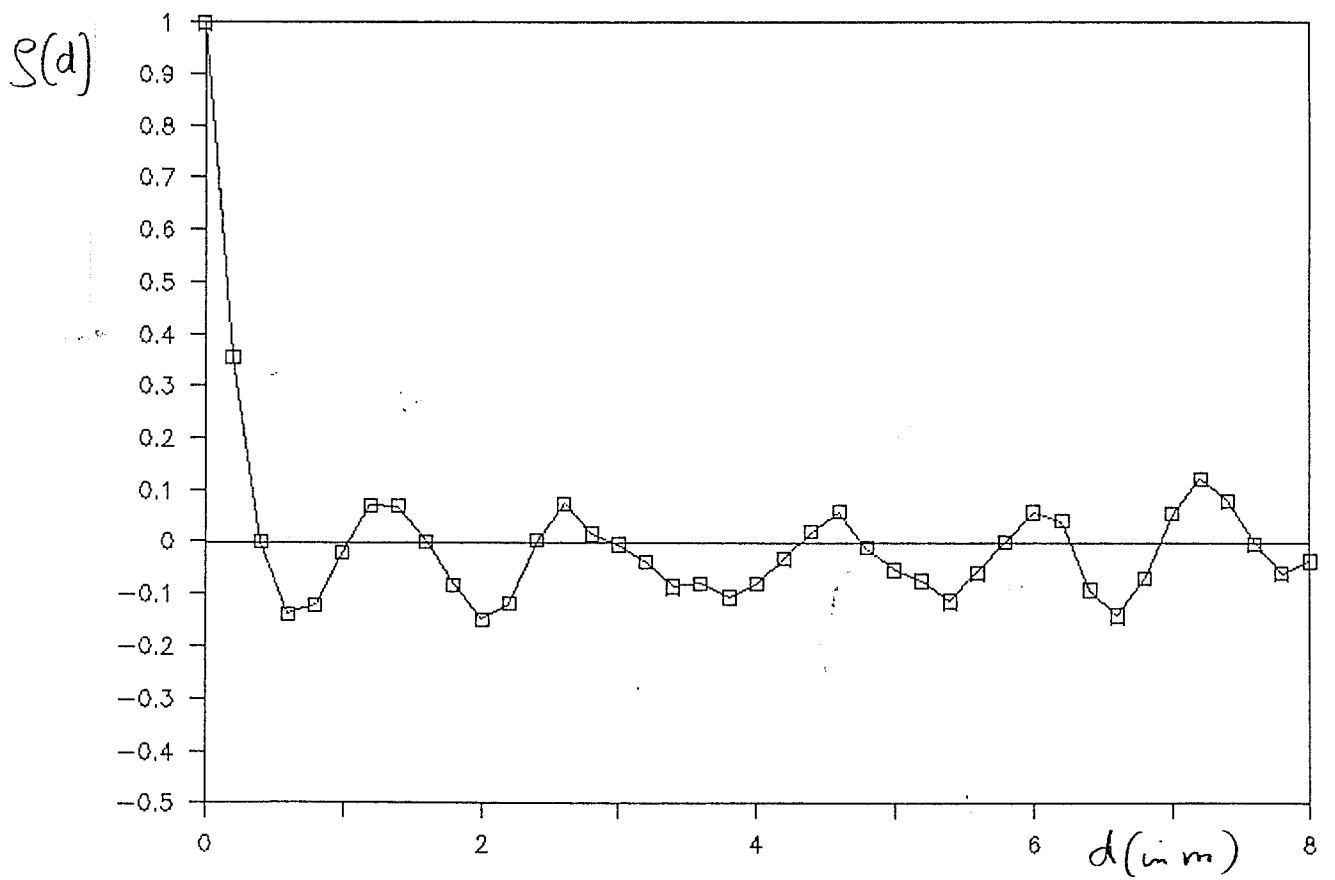


Fig. 14: Gemiddelde van de autocorrelatiefuncties afgeleid voor 20 diepsonderingen op het proefterrein te Kontich.