

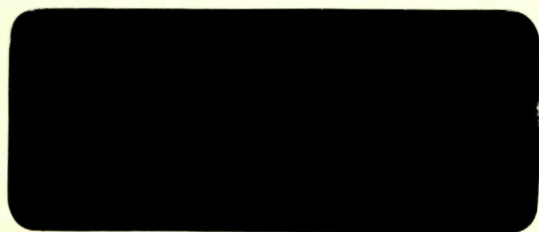
BL 81-21



laboratorium voor grondmechanica delft
delft soil mechanics laboratory

②.







pag. 13, 15,

VOORSTEL VOOR PROEVEN TER
BEPALING VAN DE VEERKARAKTE-
RISTIEKEN ~~VAN~~ ^{ter} BUISLEIDINGEN

Lab. voor Grondmechanica
Delft, mei 1981



2

T.A.W. WERKGROEP 7

VOORSTEL VOOR PROEVEN TER BEPALING
VAN DE VEERKARAKTERISTIEKEN VOOR
DE BEREKENING VAN BUISLEIDINGEN

LABORATORIUM VOOR GRONDMECHANICA
DELFT, MEI 1981



1. Inleiding

Dit voorstel is gemaakt op verzoek van Werkgroep 7 van de T.A.W. Het bevat suggesties voor een beproevingsprogramma ter toetsing van op basis van grondonderzoek vastgestelde inbeddingsparameters voor de berekening van in sleuven aangelegde buisleidingen. Het gaat hierbij speciaal om buisleidingen bij kruisingen met dijken, waterwegen en wegen.

Dit programma is een vervolg van de in 1978 te Almere uitgevoerde proeven, die zijn samengevat in het LGM-rapport:

"Proeven ter bepaling van beddingconstanten voor buisleidingen en platen te Almere-Haven". (CO-231390/30 van november 1979.)

Deze proeven werden echter beperkt tot het gedrag van buizen in zand bij vertikaal neerwaarts gerichte bewegingen.

Bij deze proeven was het doel een relatie vast te stellen tussen de bij de proefbuis gemeten beddingconstanten en de beddingconstante gemeten met een stijve drukplaat. Hierbij werden ook de resultaten van sonderingen betrokken.

De proefbuis werd daarbij op een grondslag van zand gelegd en daarna vertikaal gedrukt met behulp van de ter plaatse aanwezige proefbelastingsinstallatie. Aanvulling rondom de buis werd niet aangebracht.

Uit de proeven werd gevonden dat de veer karakteristiek of "beddingconstante" volledig werd bepaald door het bezwijkmechanisme - en dus door de schuifweerstandseigenschappen - van de onderliggende zandgrond bij een daarin penetrerende buis.

Vanzelfsprekend betekent dit dat er geen rationele relatie kan bestaan tussen de aldus gemeten schijnbare veer karakteristiek en de beddingconstante uit plaatdrukproeven. Immers bij plaatdrukproeven zijn in de eerste plaats de vervormingseigenschappen van de grondslag bepalend voor de veer karakteristiek. Vinden echter na penetratie van de buis belastingsherhalingen plaats dan zal de veer karakteristiek overeenkomst vertonen met die uit de plaatdrukproef.



Dit laatste aspect is echter bij de proeven niet onderzocht. Voor de berekening van de buisleiding kan dit aspect wel van belang zijn.

In verband met de beperkte opzet van deze proeven te Almere werd door Werkgroep 7 van de T.A.W. besloten het onderzoek voort te zetten voor een kleigrond.

Tevens zouden daarbij dan de volgende aspecten in het onderzoek moeten worden betrokken:

Belastingsherhalingen

Vertikale en horizontale beddingconstante

Effect van de aanvulling, zo mogelijk in relatie met de uitvoeringsmethode en de dekking/diameter verhouding

Het Marston effect bij smalle en brede sleuven

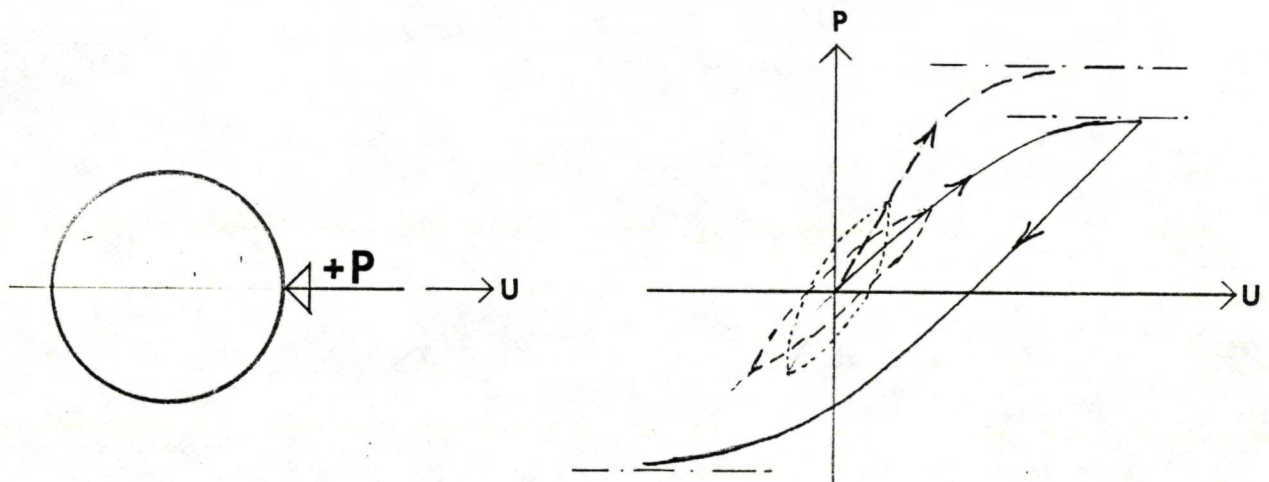
Het effect van lengte/diameter verhouding

Een voorbespreking over de algemene opzet van het onderzoek vond plaats met Ir. De Kock.

2. Nadere beschouwing van de verschillende aspecten

2.1. Belastingsherhalingen

Als aan een buis in de grond bewegingen worden opgedrongen zal de grond zich daartegen verzetten. De geleverde extra tegen-druk neemt toe met de verplaatsing tot een maximale waarde, die door het bezwijken van de grond wordt bepaald. Draait daarna de bewegingrichting om dan zal het proces zich om omgekeerde richting herhalen. Een en ander is in figuur 1 schematisch aangegeven voor het geval van beweging in het horizontale vlak loodrecht op de buisas.



Figuur 1 - Verband tussen verplaatsing en tegendruk
bij een horizontaal bewegende buis

Er treedt dus een soort hysteresiseffect op dat na een aantal herhalingen een min of meer constant karakter krijgt. Alhoewel de kwaliteit van de grond rondom de buis wel enigermate door deze herhaalde bewegingen zal worden beïnvloed, lijkt het toch wel aannemelijk dat deze voor het algemene gedrag van geringe betekenis is. De beïnvloeding zal namelijk tot een betrekkelijk kleine zone links en rechts beperkt blijven. Vanzelfsprekend is dit mede afhankelijk van de initiële kwaliteit. Is de grond zeer los gepakt, zoals bijvoorbeeld zou kunnen gelden voor een aangevulde sleuf waarbij geen kunstmatige verdichting is toegepast, dan moet worden verwacht dat er op de lange duur een verbetering van de kwaliteit van de aanvullingsgrond optreden. Dit betekent dan een stijver gedrag van de grond en een hoge limietwaarde. Het algemeen gedrag verandert echter niet wezenlijk. In figuur 1 is dit aangegeven door de 2 gestippelde hysteresislussen om de oorsprong.

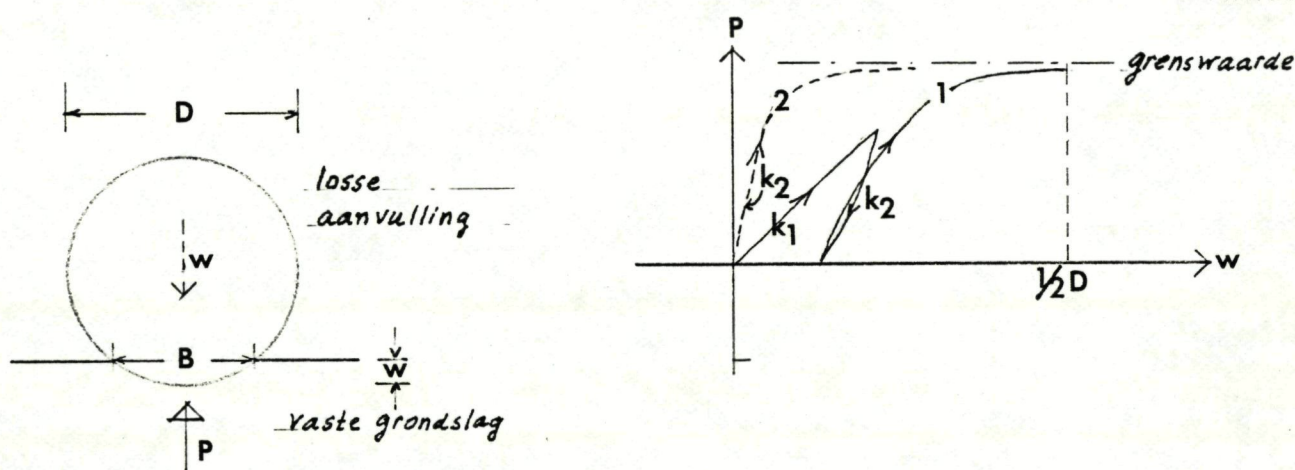
Voor de buisberekening betekent dit dat 2 stadia kunnen worden beschouwd. Het initiële stadium waarvoor de initiële beddingconstante geldt en het lange-duur stadium waarvoor een hogere beddingconstante moet worden gebruikt.



Voor opgedrongen verticale bewegingen van de buis kan de situatie sterk afwijkend zijn. Enerzijds komt dit doordat in deze richting geen symmetrie aanwezig is.

Maar daarbij komt ook nog het aspect van het verschil in kwaliteit van de grond onder de buis en van de aanvullingsgrond naar voren.

Voor een voor de eerste maal naar beneden bewegende buis wordt de opgewekte tegendruk praktisch volledig bepaald door de penetratieweerstand van de buis in de onder de buis aanwezige grond. Dit geval vertoont dus gelijkenis met een in de grond penetrerende wig (of conus).



Figuur 2 - Verband tussen verplaatsing en tegendruk bij een vertikaal bewegende buis

In figuur 2 is het verband tussen verplaatsing en tegendruk P uitgezet voor een vertikaal bewegende buis (lijn 1).

De vorm van dit verband is, behalve van de geometrische omstandigheden, voornamelijk afhankelijk van de wrijvingseigenschappen van de grond onder de buis.

Bij grote verticale verplaatsingen zal vanzelfsprekend de aanvullingsgrond worden gecompacteerd en mee gaan doen in de geleverde tegendruk.



Is de aanvullingsgrond na het aanbrengen verdicht, waardoor de kwaliteit gelijk of nagenoeg gelijk is aan die van de grondslag dan zal een veel stijver gedrag optreden, ongeveer zoals door lijn 2 in de grafiek van figuur 2 wordt aangegeven. De grenswaarde - in casu de horizontale asymptoot - moet voor beide gevallen ongeveer dezelfde waarde hebben. Bij belastingsherhalingen zal ook in het geval van de buis met de losgepakte aanvulling een stijver gedrag optreden dan bij de eerste belastingsfase.

2.2. Vertikale en horizontale beddingconstante

In de vorige paragraaf is reeds een aantal aspecten van deze beddingconstanten genoemd.

In het geval van horizontale bewegingen zou de horizontale beddingconstante voorspeld kunnen worden uitgaande van de vervormingseigenschappen van de aanvullingsgrond naast de buis en eventueel ook gedeeltelijk van de oorspronkelijke grondslag naast de sleuf.

Hierbij speelt echter ook de buigingsstijfheid van de buis in langsrichting een rol. De buis gedraagt zich immers als een elastisch ondersteunde ligger, waarbij de elastische bedding in het rekenmodel wordt gepresenteerd door onafhankelijke veren ("Winkler"-model).

Toepassing van dit model maakt het echter noodzakelijk om de veerconstante van de als onafhankelijk beschouwde veren voor ieder geval te bepalen. De grootte en de vorm van het belaste oppervlak bepaalt immers de dieptewerking en de invloed van de drukspreiding. Hoe groter het belaste oppervlak, hoe groter ook de dieptewerking en hoe lager dus de beddingconstante (slappere veer).

Bij een langgerekt element als een buis, die plaatselijk wordt belast, zal de beddingconstante afhangen van de buisvervorming. Deze vervorming kan ook worden uitgedrukt in een soort equivalente lengte. Dit is dus de lengte die in rekening moet worden gebracht voor de schatting van de beddingconstante, bijvoorbeeld met de formule van Schleicher.

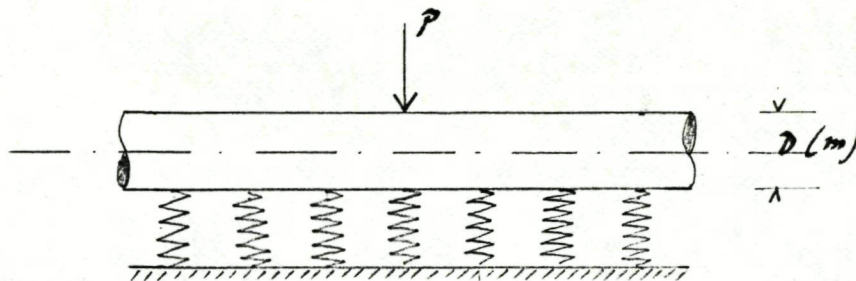


Fig. 3 - Winkler-model voor een buis

De equivalente ^{langste} wordt bepaald door de verhouding tussen de stijfheid van de buis (EI) en de veerstijfheid van de veren ($k \cdot D$). Deze verhouding wordt tot uitdrukking gebracht in de parameter λ :

$$\lambda = \sqrt[4]{\frac{kD}{4EI}}$$

Voor het model van figuur 3 kan de equivalente lengte l_e ongeveer gesteld worden op:

$$l_e \approx \frac{\pi}{\lambda}$$

Het is nuttig de grootte van l_e eens af te tasten voor een praktisch geval.

Stel: buisdiameter : 0,6 m
wanddikte : 0,01 m
beddingconstante : 1 MN/m^3 ($\sim 0,1 \text{ kg/cm}^3$) - geldig voor klei

Gevonden wordt:

$$\lambda = 0,20 \text{ m}^{-1}$$

en dus:

$$l_e = \frac{\pi}{0,20} = 15,52 \text{ m}$$

Dit betekent dat $\frac{l_e}{D} \approx 25,9$.

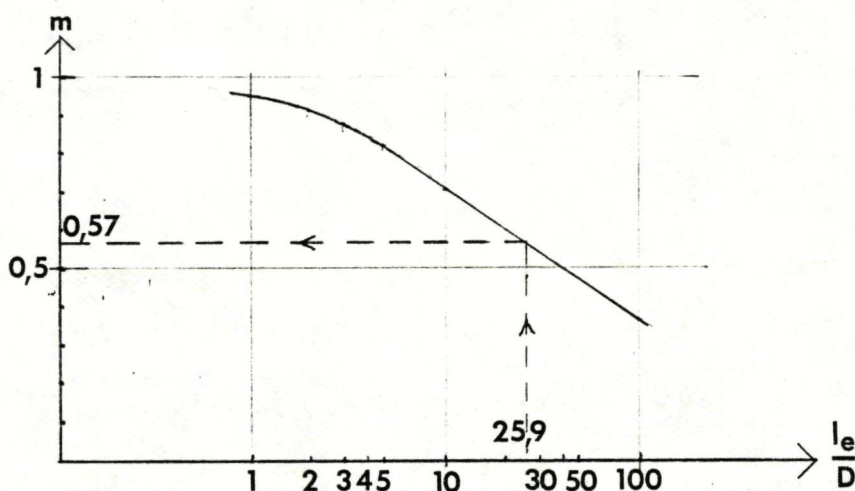


Fig. 4 - Verband m en $\frac{l_e}{D}$

In figuur 4 is het verband aangegeven tussen m uit de formule van Schleicher en de verhouding l_e/D .

Voor de verhouding $l_e/D \sim 25,9$ wordt gevonden dat $m \sim 0,57$ is.

In dit gebied is m niet al te gevoelig voor de grootte van de verhouding l_e/D . Er zitten in deze methodiek zoveel benaderingen dat het nauwelijks zinvol is om m nauwkeuriger vast te stellen. Bij grotere buizen zal λ iets kleiner worden; bij een wat stijvere ondergrond wordt λ iets groter.

Het aanhouden van $m \approx 0,6$ of iets daaromtrent in de formule van Schleicher is zeker verantwoord.

In eerste instantie lijkt het dan ook niet zinvol om bij de proeven dit effect van de equivalente lengte nader te onderzoeken. Dit betekent een vereenvoudiging van de proefopzet omdat dan met een betrekkelijk korte, in langsrichting stijve, buis kan worden gewerkt. Aanbevolen wordt dan ook door middel van de proeven na te gaan in hoeverre de beddingconstante uit de grondgegevens kan worden afgeleid.

Voor het geval van de verticale beddingconstante gelden in principe dezelfde overwegingen als hiervoor vermeld.



Ook bij de bepaling van de penetratieweerstand bij de eerste indringing van de buis in de sleufbodem, zou de equivalente lengte van de buis een rol kunnen spelen.

In de formules van Brinch Hansen worden in dit verband zogenaamde vormfactoren ingevoerd.

Deze zijn als volgt:

$$s_{\gamma} = 1 - 0,4 B/L$$

$$s_q = 1 + \sin \phi B/L$$

In het geval van cohesieve grond:

$$s_c = 0,2 B/L$$

Omdat B over het algemeen beduidend kleiner is dan de buisdiameter D kan worden gesteld dat de waarde van B/L niet ver van 1/30 zal afwijken.

Dit betekent, dat:

$$s_{\gamma} \sim 0,99$$

$$s_q \sim 1,02$$

$$s_c \sim 0,006$$

zodat zonder bezwaar kan worden gewerkt met de formules van het evenwichtsdraagvermogen van een oneindig lange strook.

Het heeft dus nauwelijks zin het aspekt van de equivalente lengte bij de bepaling van de grenswaarden van de verticale en horizontale veer-karakteristieken door middel van proeven nader te onderzoeken.

Aanbevolen wordt dan ook alleen het aspekt van de bepaling van het grensdragvermogen uit de grondgegevens (sonderingen, cel- en triaxiaalproeven) nader te onderzoeken.

In verband met het onderzoek van de beddingconstante (ofwel de veer-karakteristieken) is het gewenst ook het aspekt van de kwaliteit van de sleufaanvulling mee te nemen. Dit echter wel te beperken tot bijvoorbeeld de twee situaties:



- onverdicht
- verdicht en gecontroleerd

2.3. Marston-effekt en invloed van de verhouding dekking/ buisdiameter

Het Marston-effekt houdt verband met de klink van de ophoging waardoor op de buis een extra naar beneden gerichte druk wordt uitgeoefend. De hierdoor veroorzaakte extra zakking van de buis is in belangrijke mate afhankelijk van de kwaliteit van de oorspronkelijke grondslag onder de buis.

In een kort durende proevenserie is dit effect niet op eenvoudige wijze te onderzoeken.

Eventueel kan de klink worden versneld door bijvoorbeeld bij de proeven te werken met enkele grondwaterstandswisselingen in de sleuf. Het is echter moeilijk te voorspellen of een dergelijke methodiek succes zal hebben.

Het aanbrengen van een extra bovenbelasting om de "klink" te versnellen is niet geoorloofd omdat dit vanzelfsprekend al tot een extra drukverhoging op de buis zal leiden en dit effect moeilijk uit de metingen zal zijn te elimineren.

De verticale druk op de bovenzijde van de buis en ook de veer karakteristiek bij vertikaal naar boven gerichte buisbewegingen is in overeenstemming met het Marston-effekt, afhankelijk van de verhouding tussen de dekking op de buis en de diameter van de buis. Ook zal hierbij de relatieve breedte van de sleuf van betekenis zijn.

Voorgesteld wordt om de hiervoor vermelde aspecten in 2 situaties te onderzoeken, die globaal in figuur 5 zijn geschetst.

Vergelijking tussen de resultaten van de in de figuur geschetste situaties a en b kan ook een indruk geven van het Marston-effekt. Dit bijvoorbeeld maar voor één dekking/diameter verhouding te onderzoeken (onverdichte aanvulling).

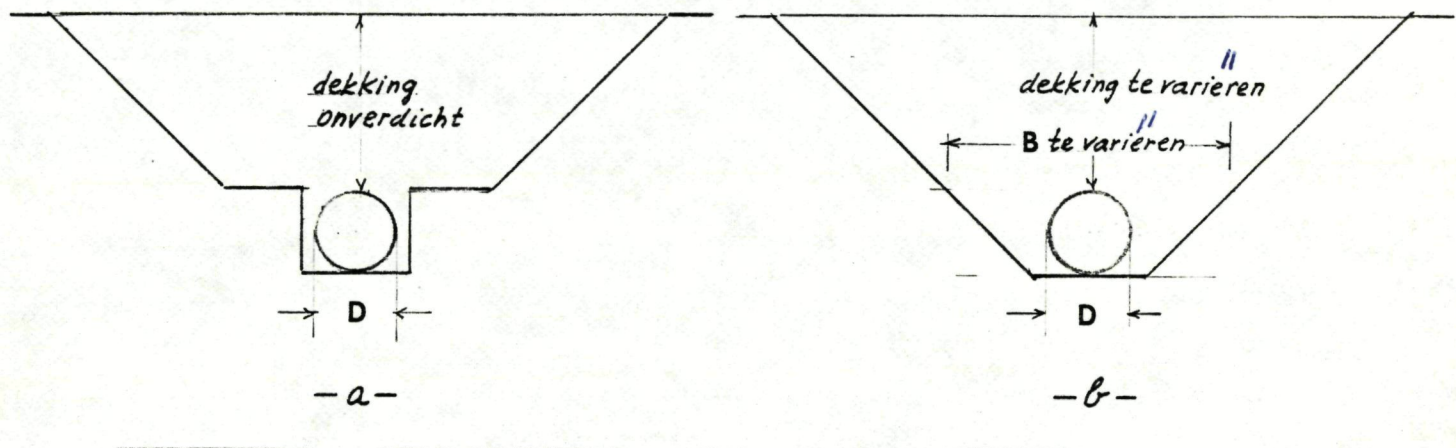


Fig. 5 - Proefopzet voor bepaling van de invloed van het Marston-effekt en dekking/diameter verhouding

3. Proefopzet

Omdat het effect van de equivalente lengte in de proeven niet zal worden meegenomen, kunnen de proeven worden uitgevoerd met een stuk buis dat in lengterichting buigingsstijf is.

Buisdiameter: 0,50 m; wanddikte: 10 mm

Buislengte : 2,50 m.

Verstijfingsribben in langsrichting (zie figuur 6).

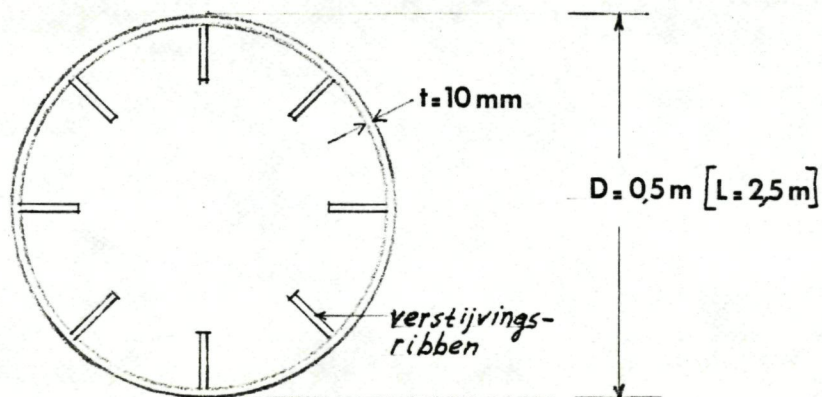


Fig. 6 - Doorsnede proefbuis

Indien het eventuele effect van de ovalisering niet in de proeven wordt meegenomen, kan de belasting op eenvoudige wijze via een centrale as via de zijanten worden aangebracht. Een groot voordeel van deze methodiek is de grote flexibiliteit bij de proevenserie. De belasting, die door de grond op de buis wordt uitgeoefend, kan ook via deze centrale as worden gemeten.

In figuur 7 is getracht deze proefopstelling schematisch weer te geven.

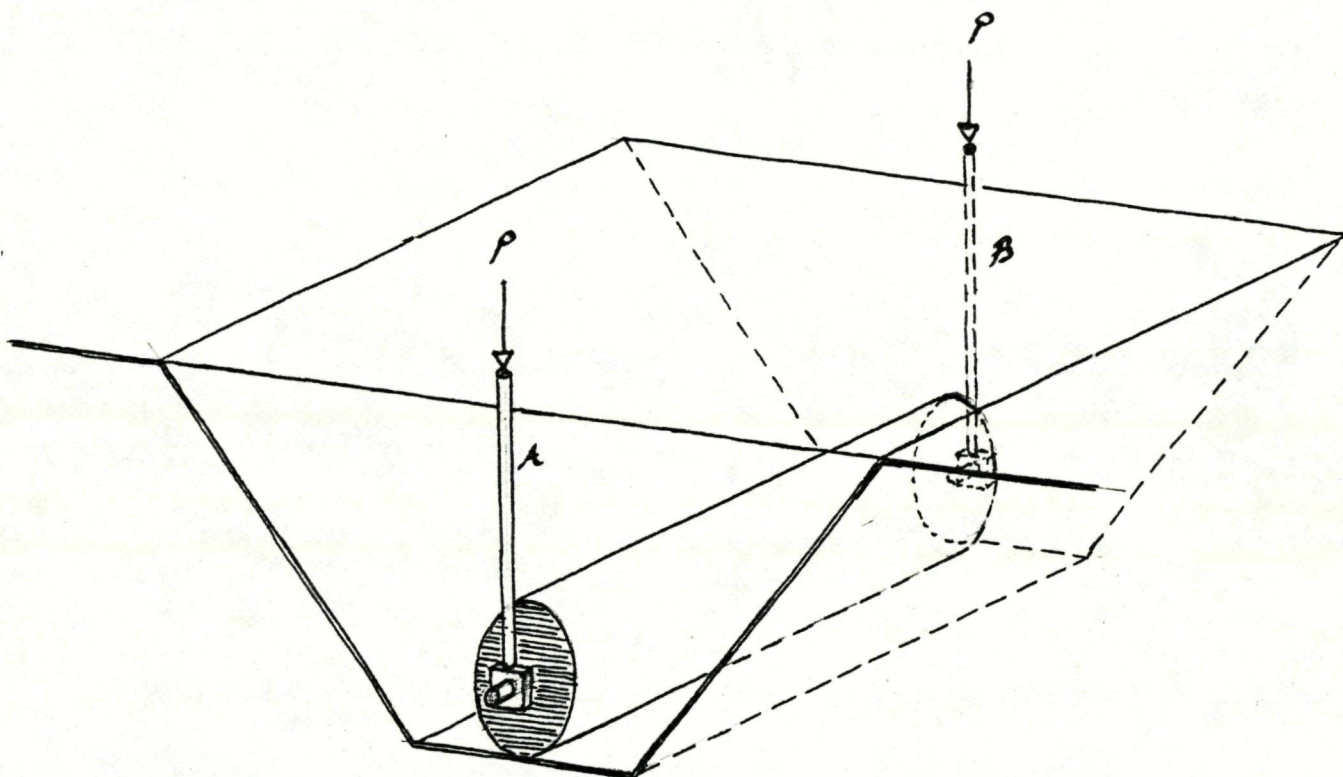


Fig. 7 - Belastingopstelling

De belasting kan via de verticale staven A en B op de buis worden overgebracht. Dit kan ook in andere richtingen dan vertikaal. Voor de uitoefening van een horizontale kracht zal een sleuf aan de zijkant nodig zijn.

De proeven kunnen bij geheel of gedeeltelijk gevulde sleuf worden uitgevoerd.

Indien aan de zijkanten een sleuf aanwezig is, kunnen op eenvoudige wijze ook axiale drukproeven en torsieproeven worden uitgevoerd ter bepaling van de wrijving in langsrichting en tangentiële richting. Wel dient aan de zijkant een voorziening te worden aangebracht, die voorkomt dat de moot grond op de buis gaat meebewegen.

Voor het gedeelte van de proef, waarbij het gaat om de verticale drukken op de buis ten gevolge van het effect van de aanvulling (bepaling initiële toestand) zou de buis via de staven A en B kunnen worden vastgehouden tijdens de aanvulling. Daarna kan de kracht in A en B worden weggenomen.

Vanzelfsprekend is dan niet bekend hoe groot de drukken op de 4 zijden afzonderlijk is. Om dit te kunnen bepalen, zijn in dit geval gronddrukdozen op de buisomtrek nodig. Deze kunnen vrij eenvoudig van constructie zijn (bijvoorbeeld type Glötzl of gewone met kwik of olie gevulde en in de wand ingebouwde platte dozen (zie fig. 8)).

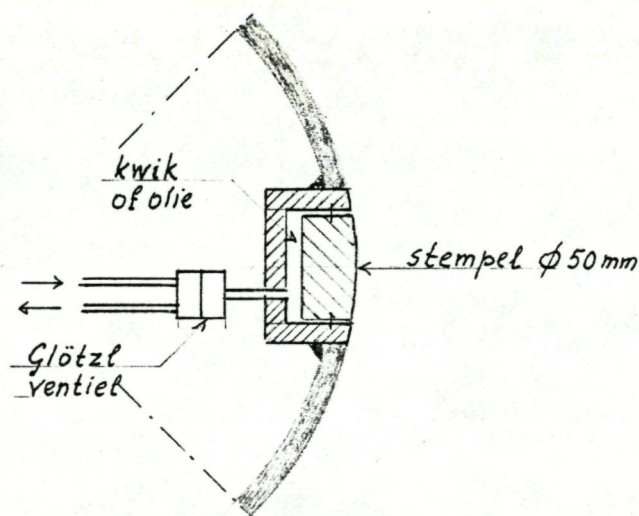


Fig. 8 - Constructie gronddrukopnemer



Indien er voldoende van dit type dozen in de buiswand worden aan-
gebracht, kan ook informatie worden verkregen over het verloop
van de drukverdeling over de omtrek, in casu bijvoorbeeld ten aan-
zien van de opleghoek in de verschillende situaties.

Met elektrische drukdozen van speciale constructie, die vanzelf-
sprekend aanzienlijk duurder zijn, kan behalve de verticale druk ook
de schuifspanning worden gemeten.

4. Voorstel voor beproevingsprogramma

De volgende situaties te onderzoeken:

- I Verdichte aanvulling {
 a) dekking 0,5 m
 b) dekking 2 m
II Onverdichte aanvulling {
 c) dekking 0,5 m {
 e) bovenkant buis
 < 2 d of 0,6 m
 f) bovenkant buis
 > 2 d of 1,2 m
 d) dekking 2 m

III Onverdichte aanvulling - verdiepte sleuf - dekking 2 m.

In de situaties II en III door middel van vasthouden van de buis
ook de optredende krachten te meten tijdens het aanvullen (indruk
over de grootte van Marston-effekt).

Daarna initiële drukken te meten door loslaten van de vasthoud-
constructie.

In de situaties Ia en b; IIc, cf en d:

De volgende drukproeven uit te voeren:

- Vertikaal {
 - drukproef met herhalingen
 - trekproef met herhalingen
- Horizontale drukproef met herhalingen - eventueel ook omkering van de kracht.



- Drukproef onder 45° met herhalingen.

In totaal zijn dit 25 belastingsproeven.

Het grondonderzoek zal per situatie (resp. Ia, Ib, IIce, IIcf en IID) omvatten:

- 4 elektrische sonderingen (met kleefmantel) in gebied rondom de sleuf
- 8 sonderingen in de aanvulling
 - 4 in onverdichte aanvulling
 - 4 in verdichte sleuf
- 2 continu-boringen buiten de sleuf (diameter 65 mm)
- 4 continu-boringen in de aanvulling
 - 2 in onverdichte aanvulling
 - 2 in verdichte aanvulling
- 3 triaxiaalproeven op grondmonster van bodem onder de sleuf
- 3 triaxiaalproeven op grondmonster van bodem naast de sleuf
- 3 triaxiaalproeven op grondmonsters uit onverdichte aanvulling
- 3 triaxiaalproeven op grondmonsters uit verdichte aanvulling.

N.B.:

Een triaxiaalproef bestaat uit 3 proeven (3 cirkels).

Procedure: geconsolideerd, ongedraineerd.

- 3 samendrukkingsproeven op grond uit bodem onder de sleuf
- 3 samendrukkingsproeven op onverdichte aanvulling.
- De gebruikelijke klassificatieproeven zoals:
Korrelverdeling, Atterbergse grenzen, laboratorium-vane-proeven.

5. Kostenraming

Deze kostenraming is zeer globaal.

Materialen:

- Buis met verstijvingsribben, belastingsas en bijkomende verbindingsstukken voor aanpassing aan de belastingsinstallatie f 10.000,-
- Gronddrukdozen (24 stuks type Glötzl)
inclusief inbouw, etc. f 25.000,-



Aan-/afvoer materieel + huur

De belastingsinstallatie moet ca 250 kN kunnen drukken. Hier-
voor is ballast nodig, plus balken, vijzels, drukdozen, etc.

Aanvoer, opbouw f 25.000,-

Uitvoering proeven

- Maken sleuf, resp. sleuven, aanvulling etc.
(handwerk te prefereren in verband met de schaal) f 10.000,-
 - 25 Druk-/trekproeven (duur ca 5 weken) f 100.000,-
-

Grondonderzoek per situatie (totaal 5 situaties)

- 9-12 60
- 60 ondiepe sonderingen (ca 5 m) (duur ca 2 dagen) f 5.000,-
 - 6 continu-boringen Ø 65 mm (diepte ca 3 m) f 5.000,-
 - 12 triaxiaalproeven (3 cirkels) f 20.000,-
 - 6 samendrukkingsproeven f 1.500,-
 - Korrelverdeling, Atterbergse grenzen, laboratorium-
vane-proeven f 1.500,-
-

f 33.000,-

In totaal zal niet voor iedere situatie dit volledige programma hoe-
ven te worden uitgevoerd. Geschat wordt dat daarom de totale grond-
onderzoekskosten wel binnen de f 100.000,- zullen kunnen blijven.

Rapportering

- Uitwerking beproevingsresultaten f 15.000,-
 - Samenstellen rapport f 15.000,-
-

f 30.000,-

De totale kosten (incl. BTW) zullen naar schatting f 310.000,- belopen.

De onnauwkeurigheid van deze kostenraming wordt geschat op ± 20%.

Handwritten signature/initials



6. Slotopmerkingen

Het is waarschijnlijk mogelijk deze buisproeven in klei te combineren met de eventuele plaatdrukproeven en grote in situ triaxiaalproeven voor TAW-Werkgroep 3.

De hier omschreven proevenserie op klei zou ook nog uitgevoerd moeten worden in andere grondgesteldheden:

- zandgrondslag met zandaanvulling
dit als vervolg op de in Almere uitgevoerde beperkte proefneming;
- veengrondslag met aanvulling van zogenaamd "Flugsand".

Naar aanleiding van de discussie over dit programma in de vergadering van Werkgroep 7 van de TAW zal een meer gedetailleerde proefopzet worden gemaakt.

Daarbij zal ook worden nagegaan welke lokatie voor deze proeven - eventueel in combinatie met de eerdergenoemde proeven voor Werkgroep 3 - geschikt is en in hoeverre op dezelfde lokatie ook nog met de soort aanvullingsgrond kan worden geëxperimenteerd.

Delft, 81-05-13

Laboratorium voor Grondmechanica

Ir. W.J. Heijnen.

