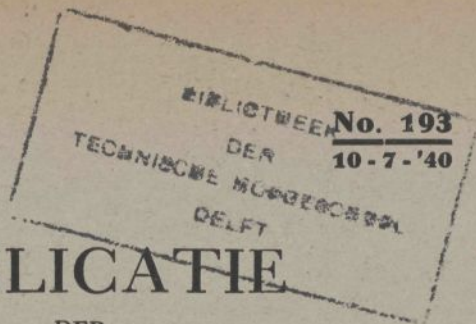
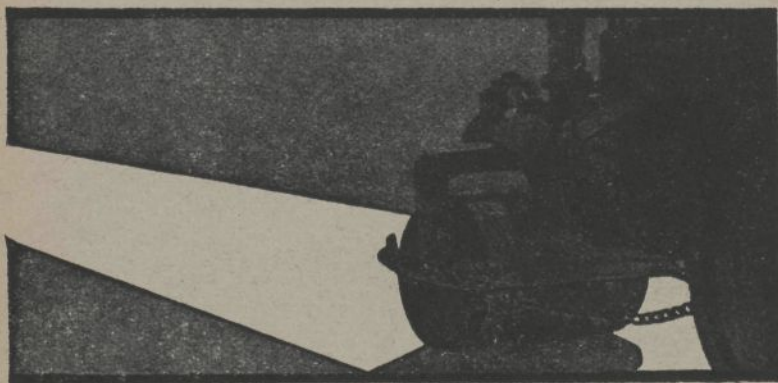




**PUBLICATIE**  
DER  
**NEDERLANDSCH-INDISCHE**  
**WEGENVEREENIGING**  
CENTRAAL PROEFSTATION EN STUDIE-  
BUREAU OP WEGENGEBIED  
GEVESTIGD TE BANDOENG.



**DE TOEPASSING VAN GRONDMECHANICA**  
**BIJ DEN WEGENBOUW IN NEDERLAND.**

Verslag van de voordracht  
gehouden door

**Prof. Ir. A. S. Keverling Buisman**  
Hoogleraar aan de Technische Hoogeschool te Delft  
op 13 April 1940 voor de  
**16de Algemeene Vergadering**  
der  
Nederlandsch-Indische Wegenvereeniging  
te Bandoeng.

D

m  
gr  
de  
de  
ve  
hi

L  
er  
la  
ty  
ni  
aa  
E  
di  
in  
di  
w  
za  
in  
w  
in

ni

## **DE TOEPASSING VAN GRONDMECHANICA BIJ DEN WEGENBOUW IN NEDERLAND.**

Met genoegen wil spreker trachten in kort bestek een en ander mede te deelen over de hem van nabij bekende toepassing der grondmechanica op wegebouwvraagstukken in Nederland; met des te meer genoegen heeft hij aan de uitnoodiging van het bestuur der N.I.W.V. gevolg gegeven, omdat hij zoodoende mag spreken voor technici en in de techniek belangstellenden uit het land, waar hij de eerste zelfstandige schreden op technisch gebied mocht zetten.

In Holland wordt door spreker nauw samengewerkt met het Laboratorium voor Grondmechanica te Delft, waarvan hij oprichter en thans lid van het Dagelijksch Bestuur is. Zijn contact met dit laboratorium is, nog afgezien van de genoemde bestuursfunctie, tweevoudig. Ten eerste is er contact, indien door spreker technische adviezen worden gegeven en het Laboratorium naar zijn aanwijzingen en in overleg met hem bepaalde punten onderzoekt. En ten tweede, als er door dat Laboratorium, d.w.z. onder leiding van den Directeur ir. T. K. Huizinga en zijn staf van ingenieurs en andere technici onderzoekingen worden verricht, die door spreker als docent voor grondmechanica aan de T. H. worden gevolgd. Dit onderscheid doet hier intusschen niets ter zake en spreker zal in het ondervolgende eenvoudigheidshalve in het midden laten of bepaalde methoden, denkbeelden en werkwijzen van hemzelf, van het Laboratorium dan wel van beide in onderling overleg, afkomstig zijn.

Gedurende de zes jaren, dat het Laboratorium voor Grondmechanica bestaat, werden ruim 600 opdrachten ontvangen; ca. een achtste



gedeelte daarvan ligt op het gebied van den wegebouw. Dat de belangstelling voor grondmechanica-onderzoek reeds in de eerste jaren na de oprichting van het Laboratorium zoo belangrijk is gebleken, is voor een groot deel te danken aan een circulaire van den Directeur-Generaal van den Rijkswaterstaat in Nederland, waarin de aandacht werd gevestigd op de mogelijkheid om ten aanzien van problemen van den ondergrond advies in te winnen bij het Laboratorium voor Grondmechanica.

De meerderheid der opdrachten is ingevolge de uitbreiding van het werkterrein tegenwoordig echter afkomstig van provincies, gemeenten, spoorwegen, groote maatschappijen en particuliere architecten; het aantal der opdrachten van den Rijkswaterstaat afkomstig beloopt niet meer dan een vijfde gedeelte van het totaal.

De problemen, voor zoover op het gebied van den wegaanleg, betreffen hoofdzakelijk de uitvoering van wegen en wegverbredingen in slappe terreinen. Telkens doen zich daarbij dezelfde moeilijkheden voor en spreker zal dan ook slechts den algemeenen aard daarvan behandelen en niet elken weg afzonderlijk noemen.

Ten einde aan het wegverkeer een effen en draagkrachtig wegdek te kunnen bieden, moeten de twee volgende problemen worden onder oogen gezien:

*Probleem A (wegdek).*

Er mogen geen plaatselijke inzinkingen tengevolge der wieldrukken plaats vinden. Hierbij moet onderscheid gemaakt worden tusschen probleem A<sub>1</sub> (fig. 1), waarbij oppersingsgevaar, (evenwichtsverstoring) wordt bestudeerd en probleem A<sub>2</sub> (fig. 2), waarbij de verdichting (samendrukking) wordt in beschouwing genomen.

Ook bij de herhaalde belastingen en ontlastingen, die kenmerkend zijn voor alle verkeersbelastingen, mogen deze plaatselijke inzinkingen niet in hinderlijke mate worden veroorzaakt.

Indien er een kunstmatig weglichaam van eenige dikte is, komt de aard van den ondergrond bij probleem A nauwelijks in het geding.

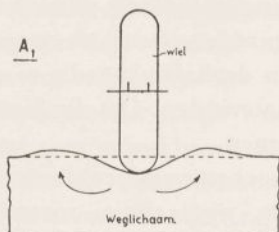


Fig. 1 Oppersing  
(evenwichtsverstoring)

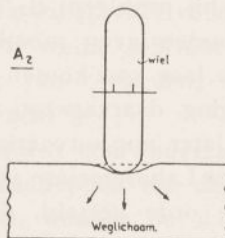


Fig. 2 Verdichting  
(samendrukking)

Probleem B. (weglichaam en ondergrond).

Eveneens mogen er geen ernstige verzakkingen plaats vinden, noch tengevolge van afschuiving en oppersing (Probleem B<sub>1</sub> — fig. 3), noch tengevolge van plaatselijke verdichting en vervorming (Probleem B<sub>2</sub> — fig. 4).

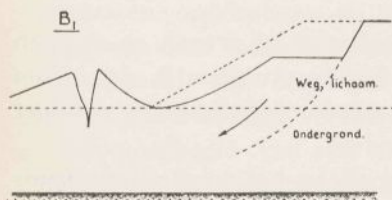


Fig. 3  
Oppersing (evenwichtsverstoring)

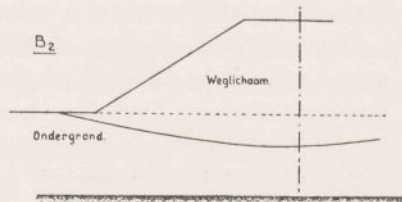


Fig. 4  
Verdichting (samendrukking)

Bij probleem B speelt het eigen gewicht van het weglichaam een belangrijke rol, daar het meestal betrekkelijk groot is en bovendien continu werkt. De invloed van het verkeersgewicht valt daartegenover dikwijls te verwaarloozen, daar dit vaak gering is t.o.v. het gewicht van het weglichaam, het bovendien slechts kortstondig werkt en eerst optreedt na voltooiing van den weg.

Zou bij probleem B<sub>2</sub> de verdichting volkomen gelijkmatig zijn, dan zouden geen moeilijkheden optreden, tenzij de weg op den duur te laag zou komen te liggen en derhalve spoedig een nieuwe ophooging daarvan zou moeten plaatsvinden. Op dit laatste punt wordt later nog uitvoerig teruggekomen.

In het Laboratorium voor Grondmechanica is probleem A zelden aan de orde gesteld, daar door de wegtechnici meestal wordt vastgehouden aan in vroegere overeenkomstige gevallen doeltreffend gebleken oplossingen van het wegdekprobleem. In Holland behoort de bestudeering van dit probleem, voor zoover het de Rijkswegen betreft, tot het werkterrein van het Rijkswegenbouwlaboratorium. Wel meent spreker, dat ook ten aanzien van het vraagstuk der drukoverbrenging door het wegdek en van de ondersteuning daarvan, langs theoretischen weg belangrijke aanwijzingen zouden kunnen worden verkregen. Toch zal naar zijn meening in deze wel steeds het laatste woord aan het experiment dienen te worden gelaten, aangezien men steeds met herhaalde belastingen te maken heeft en het moeilijk is deze verkeersinvloeden nauwkeurig na te bootsen.

Het probleem B doet zich meestal voor bij wegen op slappen grond en het is dan ook voornamelijk dit *probleem B*, dat in het Laboratorium v. Grondmechanica wordt onderzocht en dat hier verder uitsluitend zal worden behandeld.

Soms gold het onderzoek daarbij alleen het weglichaam, soms alleen den ondergrond, doch veelal beide tezamen.

#### *Weglichaam.*

Hieromtrent wordt veelal, als er een keuze gedaan kan worden, de vraag gesteld, welke grond tot vorming van het weglichaam de meest geschikte is. Is b.v. ophooging met aan te voeren zand vereischt, of kan de uitgegraven grond van een kanaal, dat langs den weg loopt, gebruikt worden? Bij de beantwoording van deze vragen komt al dadelijk het laboratorium-onderzoek aan de orde.



Betreffende dit laboratorium-onderzoek wil spreker volstaan met het noemen der verschillende apparaten, welke gebruikt worden, zonder er een uitvoerige beschrijving van te geven, waarvoor naar de literatuur moge worden verwezen. \*)

In het samendrukbaarheidsapparaat wordt een onderzoek ingesteld naar de samendrukbaarheidseigenschappen van den grond. Onder toenemende verticale belastingen worden de daarbij optredende vervormingen zeer nauwkeurig gemeten; uit de uitkomsten kunnen de onder het gewicht van het weglichaam en het verkeer te verwachten samendrukkingen worden afgeleid.

De inwendige wrijvingshoek en de cohaesie kunnen bepaald worden in het schuiftoestel en in het celapparaat. In dit laatste toestel wordt het grondmonster eveneens verticaal belast, doch zijdelings gesteund door wisselenden waterdruk.

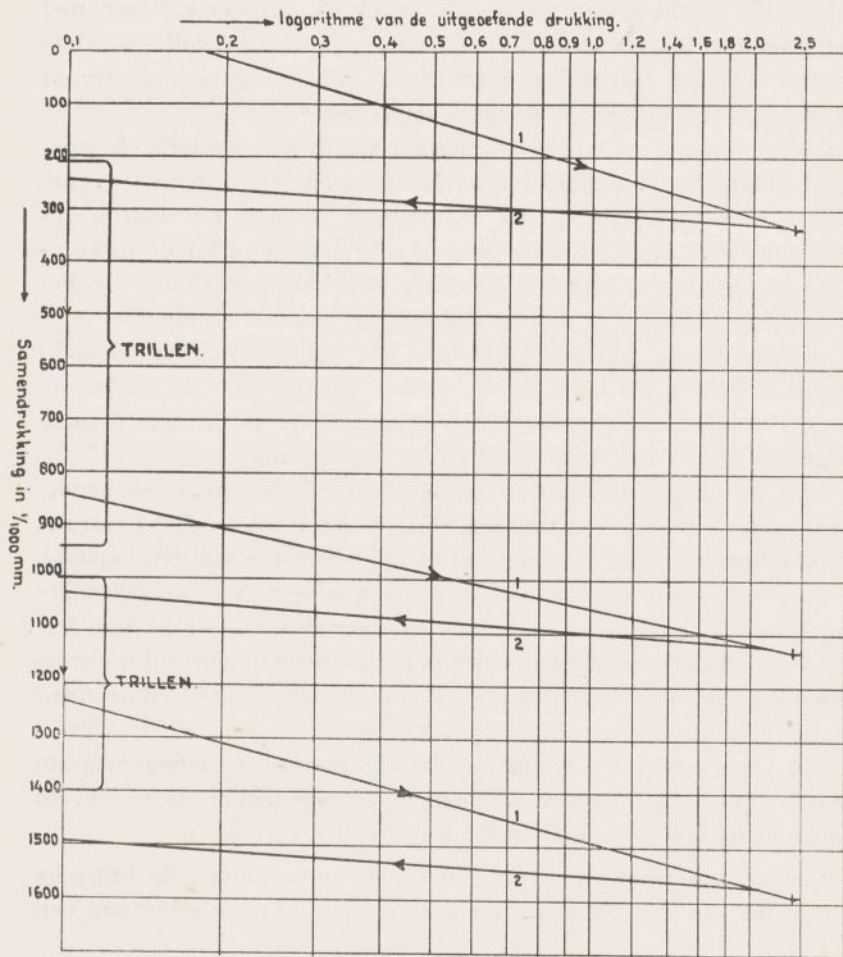
Ook de doorlatendheid en de capillaire stijghoogte, beide grootheden die van grooten invloed zijn op de bruikbaarheid van het ophoogingsmateriaal, kunnen in het Laboratorium worden bepaald.

Aan den wand zijn verschillende teekeningen van de gebruikte apparaten opgehangen en tevens de diagrammen, welke met behulp van deze toestellen ten aanzien van bepaalde grondmonsters zijn bepaald. Van dergelijke diagrammen zijn er reeds duizenden in het Laboratorium vervaardigd.

Als voorbeeld van een samendrukkings- en ontlastingsdiagram wordt op de volgende bladzijden fig. 5 afgedrukt; als voorbeeld van een onderzoek naar wrijvingseigenschappen fig. 6.

Een nieuw punt, dat van groot belang is, betreft de kritische dichtheid van zand, i. v. m. het gevaar voor het optreden van een

\*) Voor de Delftsche apparatuur en voor den loop van het onderzoek te Delft, naar een dezer dagen bij de uitgeverij Waltman te Delft van de hand van spreker verschijnend Leerboek voor Grondmechanica; naar de „Proceedings of the Internat. Conference on Soil mechanics, in 1936 te Cambridge gehouden, Deel II, blz. 3 — 12 en naar: „Normale proeven op Grondmonsters in het L.v.G. te Delft” door ir. L. de Beer, Tijdschrift der Openbare Werken van België, Febr. 1938.



Samendrukkings- en ontlastingsproeven op RIVIERZAND bij verschillende dichtheden.

|                   |                                      |                                      |
|-------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|
| $n = 42\%$        | $C = 0,7 \frac{15,1}{0,09} = 117.$   | $A = 0,7 \frac{14,8}{0,019} = 544.$  |
| $n = 38,2\%$      | $C = 0,7 \frac{13,2}{0,067} = 138.$  | $A = 0,7 \frac{12,61}{0,020} = 442.$ |
| $n = 36,2\%$      | $C = 0,7 \frac{12,35}{0,075} = 115.$ | $A = 0,7 \frac{12,2}{0,019} = 450.$  |
| Poriepercentages. | Samendrukkingen.                     | Ontlastingen.                        |

Fig. 5 Samendrukkings- en ontlastingsdiagram van een zandsoort



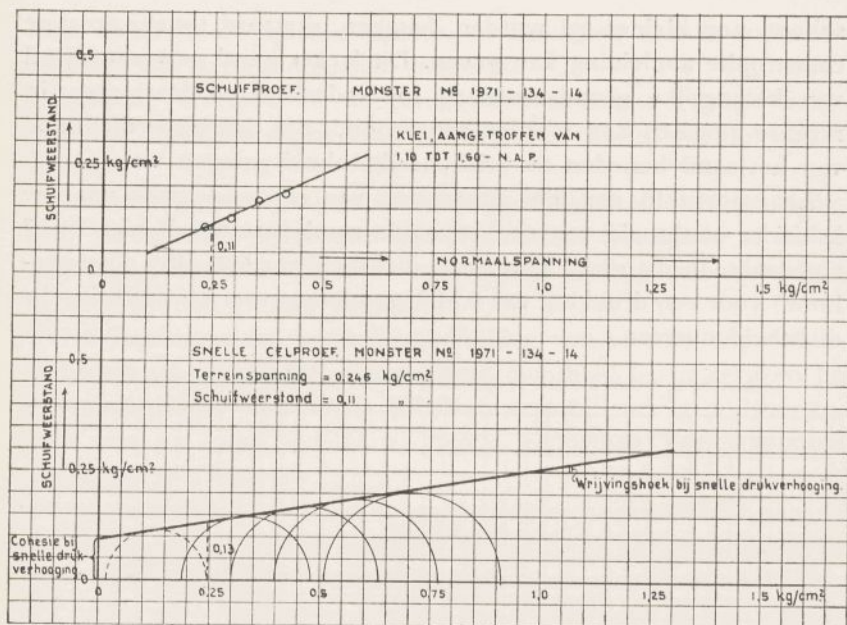


Fig. 6 Voorbeeld van een onderzoek naar de wrijvings-eigenschappen van een kleisoort.

z.g. zettingsvloeiing. Deze kritische dichtheid wordt bepaald door na te gaan, of er bij vervorming der massa in een bepaalde nauwkeurig bekende graad van dichtheid een volume-toename dan wel eene -afname plaats heeft. Is vochtig zand b.v. los gestort, dan is een holle ruimte van ca. 50% of meer aanwezig en bevindt dit zand zich in een toestand van dichtheid, gelegen beneden de kritische. Wanneer dit zand met water verzadigd is en er vindt daarin onverhoopt een evenwichtsverstoring plaats, dan zal het volume der zandmassa onder die omstandigheden willen afnemen. Het water zal dan, indien dit niet snel kan ontwijken, onder druk komen te verkeer en dus een grooter gedeelte van de totale belasting opnemen, waardoor de wrijvingsweerstand in de korrelmassa, die blijkens het optreden der eerste verstoring reeds tekort

schoot, nog kleiner zal worden, hetgeen uiteraard tot een ernstige catastrofie aanleiding kan geven. Dit is het geval geweest bij tal van belangrijke grondstoringen in Nederland en daarbuiten. In recente gevallen kon worden aangetoond, dat daarbij de dichtheid van het zand beneden de kritische dichtheid gelegen was.

Als voorbeeld van de uitkomsten van een onderzoek naar de kritische dichtheid van een bepaalde zandsoort wordt hier fig. 7 afgedrukt. In dit geval komt een dichtheid van 60% (40% poriënvolume) voor een drukking van 0,51 kg/cm<sup>2</sup> ongeveer met de kritische dichtheid overeen.

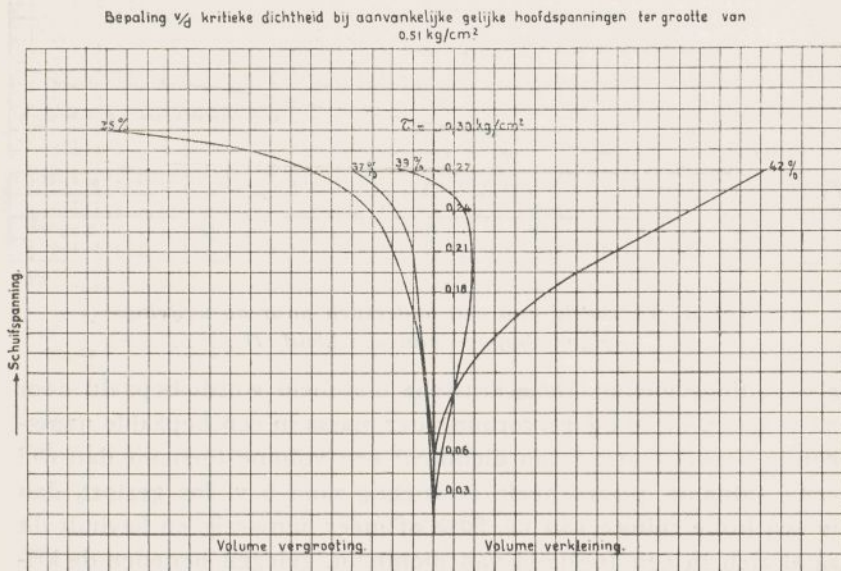


Fig. 7 Voorbeeld van een onderzoek naar de kritische dichtheid van een zandsoort.

Ook voor waterkeerende wegen, bestaande uit een zandlichaam is dit punt van belang. Een tijdelijk hoogere waterstand kan b.v. de oorzaak zijn van een primaire evenwichtsverstoring. Indien dan de dichtheid van het zand te klein is, wordt in dat geval de wrij-

ving tusschen de korrels tijdens de beweging kleiner en is bezwijking van het zandlichaam mogelijk.

Ook in verschillende andere gevallen is een te geringe dichtheid van het zand de oorzaak geweest van catastrophen of tegenvallers.

Kunstmatige verdichting van het zand zal dus dikwijls noodig zijn. De samendrukbaarheid neemt daardoor bovendien af en de wrijvingsgrootheden, die weer van invloed zijn op de evenwichtskansen, worden gunstig beïnvloed.

Het Laboratorium heeft de uitwerking van verschillende hulpmiddelen ter verkrijging van grootere dichtheid bestudeerd en bij de mogelijkheid van keuze tusschen verschillende grondsoorten, deze aan de hand der verschillende genoemde gezichtspunten onderling vergeleken.

Oorspronkelijk is bij den wegeaanleg weinig aandacht aan de dichtheid van het zand besteed. Veelal werd het zand alleen in vochtigen toestand uit voertuigen gestort en niet verder verdicht. Dit heeft soms aanleiding gegeven tot golfvorming in het wegoppervlak en tot extra zetting bij voegen in het wegdek. Opspuiten van het zand is in 't algemeen beter dan vochtig deponeeren uit voertuigen, daar dan reeds direct een grootere dichtheid kan worden verkregen.

Ten einde het gevaar voor oppersing van den ondergrond te voorkomen is men er soms toe overgegaan een weglichaam met een gering eigen gewicht te vervaardigen, b.v. door het toepassen van hoogovenslakken of turfamolpaketten.

Hiermede zijn wij tevens tot een belangrijk probleem aangeland, n.l. dat van den ondergrond.

#### *Ondergrond.*

De ondergrond, welke een rol speelt bij de problemen  $B_1$  en  $B_2$  heeft in Holland terecht veelal een slechte reputatie.

De stereotype vragen, welke ten aanzien van den ondergrond aan het Laboratorium worden gesteld zijn:



1. Zal de ondergrond oppersen? ( $B_1$ )
2. Wordt alle ondergrond weggeperst?
3. Zoo niet, hoeveel nazetting kan dan worden verwacht? ( $B_2$ )
4. Is het beter de slappe lagen geheel of ten deele te verwijderen? ( $B_1, B_2$ ).
5. Of is het gewettigd den weg op palen te fundeeren?
6. Is wellicht een zekere wapening, bestaande in het aanbrengen van een „zinkstuk” aan de onderzijde van het weglichaam gewenscht?

Waar hier zinkstukken ter sprake komen, dient te worden opgemerkt, dat het toepassen van zinkstukken niet zoo'n eenvoudig „toovermiddel” is als vroeger wel werd gedacht. Zinkstukken zal men over het algemeen slechts toepassen indien het draagvermogen der grondlagen gering is. Men voorkomt daardoor echter niet, dat de daarop in den vorm van het weglichaam aangebrachte boven-belasting de daarmede corresponderende inzakking veroorzaakt, waardoor de weg op den duur te laag kan komen te liggen. Brengt men dan weer een extra-belasting aan, dan zal het weglichaam opnieuw zakken, enz. Het nut van het zinkstuk kan echter zijn, dat plaatselijk belangrijke verschillen in zakkingen worden voorkomen, aangezien een gelijkmatiger zetting daardoor wordt in de hand gewerkt.

Op welke wijze wordt het onderzoek tot beantwoording der vermelde vragen nu ingericht?

In de eerste plaats kunnen in het Laboratorium de samendrukbaarheids-, wryvings- en doorlatendheidseigenschappen van den ondergrond onder gebruikmaking van ongeroerde monsters worden bepaald. Op grond van de uitkomsten kan daarna aan de hand van berekeningen worden nagegaan, of te verwachten is, dat het ontworpen weglichaam op den aanwezigen ondergrond in evenwicht zal blijven. Dus of geval  $B_1$  dan wel geval  $B_2$  zich zal voordoen. Tijdens de uitvoering speelt  $B_1$ , beheerscht door de wrijvings-eigenschappen, de voornaamste rol, na gereedkomst van het werk  $B_2$ , beheerscht door de samendrukbaarheidseigenschappen.

Vroeger vond de uitvoering van werken veelal in een langzamer tempo plaats dan tegenwoordig. In verband hiermede is het grondmechanisch onderzoek zoo belangrijk geworden. Hoe langzamer het tempo zal zijn, waarin belastingen op grond worden aangebracht, hoe gunstiger de voorwaarden worden, daar de dichtheid en de inwendige wrijving van den grond toenemen met den na het opbrengen eener nieuwe belasting verlopen tijd.

Aan het Laboratorium wordt dan ook dikwijls de vraag gesteld, in welk tempo het werk kan worden uitgevoerd. Naarmate het tempo sneller wordt, is er grooter kans op evenwichtsverstoring.

Soms heeft men met succes getracht het tempo op te voeren, door z.g. „zandpalen” in den ondergrond aan te brengen. Daarbij perforeert men den ondergrond met gaten gevuld met zand. Dientengevolge kan het ingevolge de bovenbelasting onder z.g. hydrodynamische spanning gebrachte water sneller wegvloeien en de zetting vlugger plaats vinden. Dan neemt ook de wrijving sneller toe, waardoor er minder kans is, dat het evenwicht wordt verstoord.

Het verloop van de waterspanningen wordt met het oog daarop somtijds tijdens de uitvoering van een werk gecontroleerd met waterspanningsmeters. Blijkt de spanning te hoog op te loopen, dan moet het werktempo zoo veel worden vertraagd, als de ingestelde berekeningen uitwijzen.

Wat de kwestie der zettingen (probleem B<sub>2</sub>) betreft, kan de zetting, die nog optreedt nadat, al dan niet, groote zakkingen (volgens B<sub>1</sub>) hebben plaats gevonden aan de hand van de uitkomsten van samendrukkingsproeven, worden nagegaan. Zij bestaan, voor de zeer samendrukbare grondsoorten als klei en veen in tegenstelling tot zand, uit een binnen een betrekkelijk kort tijdsverloop optredend gedeelte en voorts uit eeuwen lang toenemende zettingen. Deze laatste, door ons genoemd de seculaire zettingen, verlopen recht evenredig met de logarithme van den na de belasting verlopen tijd. Op dit punt heeft het Laboratorium te Delft zich in 't bijzonder gespecialiseerd.

Tallooze zettingsdiagrammen zijn bepaald voor dunne grondmonsters, die gedurende langen tijd werden waargenomen, doch ook voor de dikke samendrukbare grondlagen, waaruit de door de weglichamen belaste ondergrond is samengesteld.

Het verband tusschen het gedrag van dunne grondmonsters aan het terrein ontleend en het gedrag der dikke terreinlagen werd nagespeurd, zoowel theoretisch als ook praktisch in het terrein (proefwegvakken).

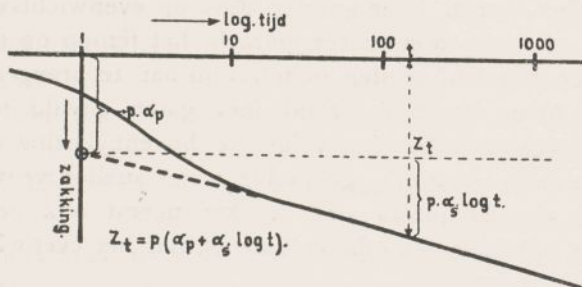


Fig. 8 Voorbeeld van een zettingsdiagram.

Aan de hand van aldus bepaalde zettingsdiagrammen (fig. 8 geeft hiervan een voorbeeld) valt ook af te leiden, hoe de zakking zal verlopen, indien telkens extra ophoogingen op den ondergrond moeten worden aangebracht, aangezien de eerste zettingen soms zeer groot zijn, b.v. — om de gedachten te bepalen — na 1 jaar soms 1 meter en meer zakking. Men verkrijgt dan, het Laboratorium-jargon gebruikend, een z.g. zaag-diagram, waaruit de tijdsperioden tusschen opeenvolgend vereischte ophoogingen blijken. (Fig. 9 geeft een voorbeeld van zulk een diagram).

Uit het monsteronderzoek in het Laboratorium kan aldus een zettingsprognose worden afgeleid (probleem B<sub>2</sub>) en kunnen ook de evenwichtskansen (probleem B<sub>1</sub>) worden voorspeld.

Ten einde de laboratorium-resultaten te kunnen toetsen aan de praktijk, is het echter noodzakelijk de zettingen op weg-



proefvakken te bepalen en die te vergelijken met de voorspelde zettingen. Over het algemeen blijkt, dat er een behoorlijke over-

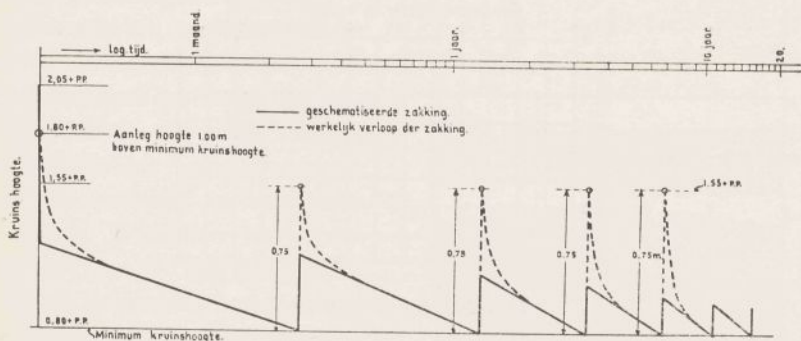


Fig. 9 Voorbeeld van een „zaag-diagram”, waaruit de tijdsperiodes tusschen opeenvolgend vereischte ophoogingen blijken.

eenstemming bestaat tusschen laboratorium- en praktijk-uitkomsten.

Indien over groote afstanden wegen worden aangelegd, is het uiteraard te bewerkelijk, om over het heele traject grondmonsters te nemen en te onderzoeken. In dat geval kan met voordeel de inschakeling plaats vinden van een eenvoudig hulpmiddel in den vorm van het sondeertoestel-Barentsen. Dit toestel bestaat uit een staaf, waaraan aan de onderzijde een conus is bevestigd en aan de bovenzijde een drukmeter, bestaande uit een vloeistofreservoir met tegen de staaf drukkende plunjer en manometer. Door middel van aan den drukmeter bevestigde handgrepen wordt door tusschenkomst van de vloeistof de staaf met conus met bepaalde snelheid in den grond gedrukt; op den manometer kan de daartoe vereischte druk worden afgelezen, de z.g. sondeerwaarde, welke wordt berekend in  $\text{kg/cm}^2$ . Ten einde de wrijving van den omringenden grond op de staaf op te heffen, loopt de staaf door een mantelbuis, die gezamenlijk met de staaf in den grond wordt gedrukt; slechts de weerstand ondervonden door den conus onderaan de staaf wordt gemeten.

Door de staven en mantelbuizen telkens met 1 m te verlengen worden op verschillende diepten de sondeerwaarden gemeten;

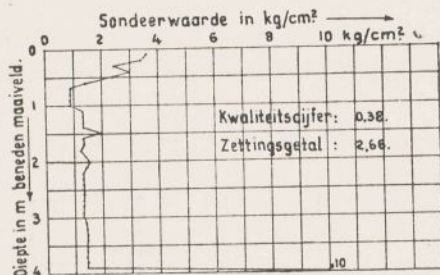


Fig. 10 Sondeerprofiel.

zij kunnen worden in teekening gebracht door de gevonden waarden langs een verticaal uit te zetten. Fig. 10 geeft op deze wijze het resultaat van een sondeering aan. Door op regelmatige afstanden sondeerprofielen te nemen en gebieden met verschillende weerstanden met verschillende harceering aan te duiden (fig. 11), verkrijgt men dus een sondeer-profiel langs het wegtracé, waarin de hoedanigheden van den met het weglichaam te belasten ondergrond weerspiegeling vinden. Langs de wanden zijn van verschillende wegtracés zulke sondeerprofielen opgehangen.

Een moeilijkheid is echter, de aldus gevonden sondeer-resultaten op de juiste wijze te interpreteren.

Langs theoretischen weg blijkt, dat de sondeerwaarde bij snelle indrukking een functie is van de inwendige wrijving (schuifvastheid) ter plaatse van den conus. Aldus zouden de resultaten vooral bruikbaar zijn ter beoordeeling der evenwichtskansen ( $B_1$ ). Daar het echter een even belangrijk vraagstuk is, de te verwachten zetting te bepalen, werd getracht bovendien een verband te zoeken, op grond waarvan uit de sondeerwaarde ook de zetting zou kunnen worden afgeleid hoewel deze, zooals reeds opgemerkt, in de eerste plaats een maat aangeeft voor de grootte der inwendige wrijving (schuifvastheid). De zetting heeft echter eigenlijk weinig

met  
daar  
van

Aa  
toch  
benu  
kwal  
de  
over  
de t  
dan  
geke  
aan  
redig  
ting  
hierb  
bree  
men  
lijkin  
over  
van  
eene  
bree  
was.

La  
het  
deld  
re n  
daar  
te n

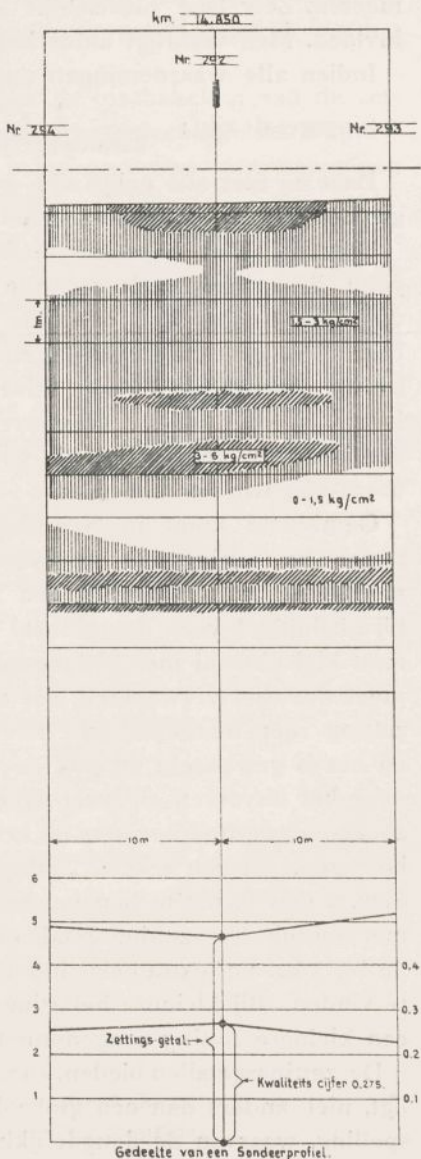
Fig.  
profi  
schill  
lende

met de schuifvastheid te maken, daar de zetting afhankelijk is van de samendrukbaarheid.

Aanvankelijk werd, ten einde toch de sondeeringsuitkomst te benutten, gewerkt met het z.g. *kwaliteitscijfer* dat gelijk is aan : *de gemiddelde sondeerwaarde over een verticaal gedeelte door de totale laagdikte*. Men nam dan aan, dat de zettingen omgekeerd evenredig zouden zijn aan het kwaliteitscijfer en evenredig aan de opgebrachte belasting per vierkante eenheid; hierbij dient bedacht, dat de breedte der beoogde weglichamen steeds groot was, in vergelijking tot de laagdikte, zoodat over een verticaal in het hart van den weg weinig invloed van eene spreiding der belasting in breedte richting te verwachten was.

Later werd overwogen, dat het beter zou zijn om de gemiddelde sondeerwaarde voor iedere meter laagdikte te bepalen, daarvan de omgekeerde waarde te nemen en dit alles te som-

Fig. 11 Gedeelte van een sondeerprofiel, waarin de gebieden met verschillende weerstanden met verschillende harceeringen zijn aangeduid.





meeren. Zeer lage plaatselijke sondeerwaarden krijgen dan meer invloed. Men verkrijgt aldus het z.g. *zettingsgetal*.

Indien alle waarnemingen onderling gelijk zouden zijn, zou het zettingsgetal zijn: 
$$\frac{1}{\text{kwaliteitscijfer}}.$$

Daar zij niet alle gelijk zijn, wordt echter het zettingsgetal steeds grooter dan het omgekeerde kwaliteitscijfer.

Ook de aldus bepaalde zettingsgetallen zijn nog niet alleszeggend. Bij gelijke sondeerwaarde is veen veel meer samendrukbaar dan klei. Slechts voor bepaalde terreinen, waarvan de grondsoort bekend is, geven de zettingsgetallen dus een eenigszins ondubbeltzinnige aanduiding. Voor zuivere klei-terreinen zouden 50% te hooge en voor zuivere veenterreinen 50% te lage zettingen gevonden worden, indien van de voor een gemengd terrein geldende norm zou worden uitgegaan.

Gemiddeld komt in Nederland voor een gemengd klei-veen terrein het zettingsgetal ongeveer overeen met de zetting in meters na 100 weken (2 jaar) bij een belasting van 10 ton/m<sup>2</sup>, hetgeen bij uitsluitend veen dus globaal met 50% verhoogd en bij uitsluitend klei globaal met 50% verminderd zou dienen te worden. Men moet dus niet verwachten, dat aldus met deze zettingsgetallen de zetting met mathematische nauwkeurigheid kan worden bepaald en het is gewenscht en ook de bedoeling om van geval tot geval door het uitvoeren en waarnemen van proefvakken en het onderzoeken van grondmonsters uit een aantal over het tracee verspreide boringen, tot een zekere „ijking” der zettingsgetallen te geraken, d. w. z. den factor te bepalen waarmede bij de gegeven terreinsamenstelling het zettingsgetal moet worden vermenigvuldigd om de bij 1 kg/cm<sup>2</sup> extra belasting na 100 weken te verwachten zetting te vinden. Bij kleinere belastingen wordt dan naar evenredigheid een kleinere zetting aangenomen.

De zettingsgetallen bieden, zooals in het bovenstaande opgesloten ligt, niet anders dan een globaal hulpmiddel bij de zettingsvoorspelling, waarvan de deugdelijkheid zooveel als slechts mogelijk is

doc  
der  
opp  
A  
ting  
tisc  
nau  
M  
spe  
ber  
me  
(pa  
ver  
in

door waarneming van proefvakken en door het laboratoriumonderzoek van aan het terrein ontleende monsters dient te worden opgevoerd.

Als eenige verontschuldiging voor de inschakeling van de zettingsgetallen in de zettingsvoorspelling kan slechts gelden de praktische onmogelijkheid om voor ieder punt van een tracee een nauwkeuriger onderzoek in te stellen.

Met behulp van op de zettingsgetallen berustende zettingsvoorspellingen van verschillende punten van een tracee kan nu de benodigde hoeveelheid ophoogzand met behulp van zaagdiagrammen (fig. 9) worden geraamd en nagegaan worden, welke oplossing (paalfundering of normale ophooging dan wel gedeeltelijke grondverbetering) de meest economische is. Meestal worden daarbij de in fig. 12 afgebeelde mogelijkheden in beschouwing genomen.

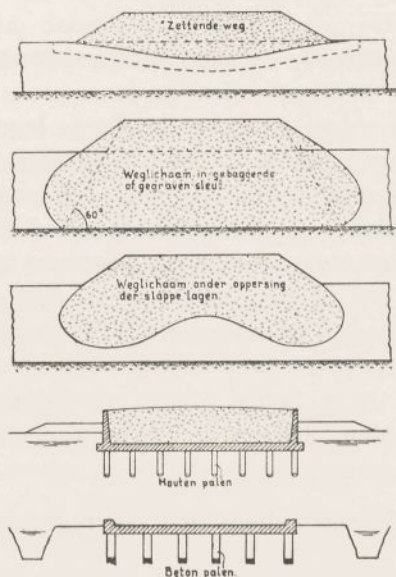


Fig. 12 Bij slechten ondergrond zijn o.a. de bovenstaande oplossingen mogelijk.

Daarbij wordt zoo goed mogelijk rekening gehouden met de uit de zettingsprognose volgende periodiek vereischte ophoogingen, waarbij de door het verkeer te ondervinden last tijdens de uitvoering eener wegverhooging en ook de in een sterk samendrukbbaar terrein met plaatselijke ongelijkmatigheden aan het tijdstip der verhooging voorafgaande periode van zich steeds meer accentueerde oneffenheid in het geding kan worden gebracht.

In een gegeven geval kunnen, indien de kosten der verschillende oplossingen daarbij voor verschillende gedeelten van een tracee (verschillende waarden van het zettingsgetal) vaststaan, voor die gedeelten uiteenlopende oplossingen de meest gunstige worden geacht. Bij het overschrijden van een bepaalde waarde door de zettingsgetallen, kan een bepaalde oplossing blijken niet langer de meest economische of met inachtneming van andere overwegingen de meest wenschelijke te zijn en zal een andere oplossing zich opdringen.

Ook de problemen B, oefenen hierbij natuurlijk nog hun invloed uit op de te nemen beslissing.

Soms blijkt het aldus het beste de slappe lagen geheel te verwijderen. In andere gevallen behoeft zulks slechts gedeeltelijk of in 't geheel niet te geschieden. De onder het weglichaam gedeeltelijk ingesloten slappe grond is dikwijls aanleiding tot moeilijkheden, daar het spanningswater slechts langzaam kan wegstroomen.

Soms ook valt de beslissing in de richting eener paalfundeering met hetzij beneden den grondwaterstand blijvende houten palen, die een met zand gevulde bak dragen, waarop het wegdek wordt aangebracht, dan wel boven den grondwaterstand reikende gewapend betonpalen, die het op een gewapend betonvloer rustende wegdek dragen.

Naast deze hoofdvragen doen zich ook nog een aantal *detailvragen* voor, b.v.:

1. Welke moeilijkheden zullen dwars op den weg aanwezige slooten opleveren?



Dit hangt af van de dikte der slappe lagen. Indien deze lagen dik zijn, zullen de slooten bij aanvulling met zand aanleiding zijn tot het op den duur ontstaan van grootere plaatselijke zettingen, terwijl juist het omgekeerde zal geschieden, indien de slappe lagen een kleine dikte hebben. Gezocht wordt naar een slootvulling, die even zwaar weegt en dezelfde eigenschappen heeft als het ongeroerde terrein.

2. Welke moeilijkheden zullen zich bij een wegverbreding voordoen?

Indien een wegverbreding op samendrukbaren grond wordt uitgevoerd, zal dit altijd tot nazakkingen van het nieuwe gedeelte aanleiding geven en soms tot evenwichtsverstoring.

Bij een verbreding van een weg langs een ringvaart is de uitvoering b. v. geschied, door eerst het heele kanaal laagsgewijze met zand te vullen en dit later weer gedeeltelijk weg te graven. In dergelijke gevallen zijn echter moeilijkheden mogelijk door het tijdelijk onder hydrodynamische spanning komen van het grondwater en is een contrôle dier spanningen met behulp van waterspanningsmeters gewenscht.

3. Welke maatregelen moeten bij het opstorten van weglichamen worden genomen, opdat beslist geen oppersing optreedt?

Dit beteekent dus het oplossen van probleem  $B_1$  (fig. 3). Er kan b. v. een berekening worden opgezet om na te gaan waar en op welke wijze tegengewichten kunnen worden aangebracht om oppersing (afschuiving) te voorkomen. Dergelijke situaties doen zich b. v. voor in de nabijheid van fabrieken en begraafplaatsen. Een contrôle met waterspanningsmeters zal hier dikwijls wenschelijk zijn.

4. Is het aanbrengen van een tijdelijke overbelasting aan te raden?

Ook dit vraagstuk kan worden opgelost. Het is een combinatie van de problemen  $B_1$  en  $B_2$ .

Er zijn voorts nog verschillende bijkomstigheden. B. v. de aansluiting van den weg aan de kunstwerken. Een te groote

gronddruk tegen de in slappen grond staande palen van een kunstwerk kan b. v. worden vermeden door het toepassen van een verlengde fundeering, of door het toepassen eener grondverbetering vooraf, zooals bekend mag worden verondersteld. Dit is een punt, dat naar de ervaring leert eerst met zorg dient te worden bekeken.

Bij verticale samendrukking der slappe lagen worden daarin staande (trekpalen) gebogen. Ook hieromtrent zijn waarnemingen gedaan.

Een nieuw probleem heeft zich de laatste jaren voorgedaan, doordat oude spoorwegen veranderd moesten worden in autowegen. Dit is meestal een gelijksoortig probleem, als zich voordoet bij een gewone wegverbreding en betreft dus de kans op ongelijkmatige zettingen van de wegschouders t. o. v. het oorspronkelijke weglichaam.

Spreeker is hiermede aan het einde van zijn voordracht gekomen. Het is niet zijn bedoeling geweest ver in details af te dalen, doch slechts er een indruk van te geven op welke wijze de grondmechanica in Holland bij den wegebouw toepassing vindt. Evenals zulks in Holland is gebleken, zullen ook hier te lande door meer gebruik te maken van grondmechanisch onderzoek verschillende werken mogelijkerwijze met grooter zekerheid dan tevoren kunnen worden tot stand gebracht.

Indien deze voordracht tot verhoogde belangstelling voor het instellen van grondmechanische onderzoekingen mocht hebben bijgedragen, acht spreker zijn moeite ruimschoots beloond.

De voorzitter deelt mede, dat prof. Buisman zich bereid verklaarde tot het beantwoorden van door de aanwezigen te stellen vragen.

Ir. A. C. Ingenegeren vraagt nadere inlichtingen omtrent de wijze, waarop de z.g. zandpalen worden uitgevoerd. Worden deze geslagen of gegraven. Hij wijst er op, dat hij in Palembang met voordeel vele dunne palen in den bodem liet slaan om de draagkracht van de grond te verhoogen.

Te Bandoeng bereikte hij goede bodemverdichting door op gezette afstanden een staaf in te slaan en te trekken en de holten met zand te vullen.

Prof. Buisman deelt mede, dat het maken van zandpalen op verschillende wijzen kan geschieden. Soms geschiedt het door een ijzeren pijp met lossen bodem in den grond te slaan, de pijp met zand te vullen en deze daarna te trekken. Soms wordt een gat geboord met mechanische hulpmiddelen en dit met zand gevuld. Dit laatste gebeurt blijkbaar ook te Bandoeng.

In gunstige gevallen kan men bij gemakkelijk te verdichten grond, die niet door verkneding achteruit gaat, door toepassing van zandpalen kleinere terreinzetting onder belasting teweegbrengen.

Bij het inslaan van vaste palen in moeilijk doorlaatbaren met water verzadigten bodem geeft men het gespannen grondwater echter geen gelegenheid snel te ontwijken; is de grond gevoelig voor verkneding, dan zou in dat geval het succes moeten berusten op het overbrengen der belasting naar betere diepe lagen door tusschenkomst van de palen. Hieraan zou de oudvaderlandsche slietenfundeering haar succes te danken moeten hebben.

Inderdaad kan het dus onder bepaalde omstandigheden succes sorteerden, indien vele dunne palen in den grond worden geslagen dan wel de na trekking gevormde holten met zand worden gevuld om aldus den ondergrond te verdichten. Dat is echter een ander geval dan het in de voordracht bedoelde, want het aanbrengen van zandpalen onder wegen geschiedt in de eerste plaats met het doel het spanningswater onder de ophooging gelegenheid te geven sneller te ontwijken en dientengevolge het zettingsproces te versnellen.

Ir. A. Scheffer informeert, of het zettingsproces niet versneld kan worden door bronbemaling.

Prof. Buisman deelt mede, dat dit inderdaad mogelijk is, doch merkt op, dat wel de eerste groote zettingen daarmede kunnen



worden geforceerd, de seculaire zettingen — even aannemende, dat deze zich ook bij Indische grondsoorten voordoen — evenwel niet.

Het resultaat zou intusschen inderdaad aanmerkelijk kunnen zijn bij goed gekozen bronafstand.

Behalve op belangrijke plaatsen zullen de kosten echter dikwijls een bezwaar vormen.

Ir. V. L. Mayer stelt de vraag, of het niet juister is uit de sondeerresultaten af te leiden, welke verbeteringen aan den ondergrond kunnen worden uitgevoerd, b.v. door het verwijderen van slappe lagen, dan zich bij dien toestand neer te leggen en verbeteringen alleen te zoeken in de wijze, waarop het weglichaam wordt aangebracht. In den laatsten tijd is immers gebleken, dat dikwijls met gewone en eenvoudige methoden de ondergrond kan worden verbeterd.

Prof. Buisman bevestigt, dat zulks inderdaad het geval is. Het hangt echter steeds van de plaatselijke omstandigheden af, of een bepaalde wijze van grondverbetering economisch is.

Ir. M. G. Fabius vestigt er de aandacht op, dat door prof. Buisman is medegedeeld, dat onder bepaalde omstandigheden te berekenen valt bij welk zettingsgetal de grens ligt, waarbij b.v. een paalfundeering meer economisch wordt dan andere oplossingen. Op welke wijze worden dan de kosten berekend, ten einde een vergelijking tusschen de verschillende uitvoeringswijzen te kunnen maken?

Welke rentevoet wordt hierbij aangenomen en is uitsluitend de contante waarde of zijn ook de toekomstige kosten in rekening gebracht?

Prof. Buisman antwoordt, dat in een geval, dat zich bij den Provincialen Waterstaat van Zuid-Holland heeft voorgedaan met den rentevoet is gerekend, waartegen door openbare lichamen kon worden geleend; de contante waarde, ook van de toekomstige werkzaamheden, werd bij deze kostenvergelijkingen als basis gebruikt.

