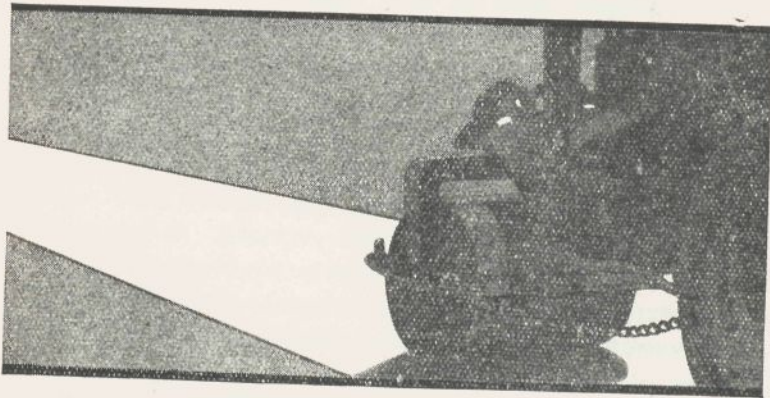


PUBLICATIE
VAN DE
NEDERLANDSCH-INDISCHE
WEGENVEREENIGING



DRUKOVERBRENGING DOOR DE
WEGVERHARDING.

No. 2.



A.C. NIX & CO. BANDOENG

LIBRARY
OF THE
HOLLAND-INDIAN
MUSEUM

DRUKOVERBRENGING DOOR DE WEGVERHARDING.

No. 2.

1. In publicatie no. 27 zijn de resultaten medegedeeld van onderzoekingen, ingesteld met het doel gegevens te verkrijgen over de wijze, waarop:
 - a/ de draagkracht van verschillende verhardingen (in het bijzonder steenslagverhardingen) zou kunnen worden bepaald; en
 - b/ de drukverdeling door verschillend-begrensde verhardingen zou kunnen worden nagegaan.

Wat betreft het onder a gestelde, is men tot de conclusie gekomen, dat men de draagkracht van een steenslagverharding bezwaarlijk kan bepalen door enkel een daarop rustenden last geleidelijk te verzwaren en de daarbij optredende, uitwendig zichtbare vormverandering (indrukking) der verharding tijdens deze belasting te meten. Bij proefstukken, waarop zulks is gedaan, heeft men n.l. een doorlopend aangroeiende indrukking der betrokken verhardingen waargenomen. Daar (grafisch uitgezet) de vormveranderings-kromme geen enkel markant punt vertoont, is hieruit ook niet op te maken, bij welke belasting eigenlijk mag worden gesproken van de grens van het draagvermogen der verharding.

Als een mogelijk doeltreffende werkwijze is toen voorgesteld een steenslagverharding met een (aanvankelijk kleine) zelfde belasting periodiek te belasten en te ontlasten en daarbij de zakking van het oppervlak der verharding na te gaan.

Bij den aanvang van dit belasten en ontlasten is te constateeren, dat het verhardings-oppervlak niet geheel terugkomt in den oorspronkelijken stand, dus een blijvende vormverandering vertoont. Bij het herhalen van

het be- en ontlasten blijkt elken keer na afname van de belasting, dat de blijvende zakking is aangegroeid. Deze aangroeiing wordt echter gewoonlijk na elken keer be- en ontlasten kleiner. Verkrijgt men nu een toestand, waarbij geen aangroeiing der blijvende zakking meer kan worden goconstateerd, dus een soort evenwicht ontstaat en de verharding (met grondslag) uitsluitend elastisch wordt samengedrukt, dan zou de betrokken last een praktisch zeer groot aantal malen kunnen worden aangebracht, zonder dat hiermede blijvende wijzigingen in de verharding gepaard gaan en zou men dus kunnen aannemen, dat deze bepaalde grootte van belasting het draagvermogen der verharding nog niet overschrijdt.

Daarna kan de gekozen belasting met een zeker bedrag worden verhoogd en daarop weer worden aangevangen met het be- en ontlasten, totdat ook nu weer een toestand van evenwicht bereikt wordt, waarbij de blijvende zakking van het verhardingsoppervlak wel is waar grooter zal zijn geworden dan onder de eerste (kleine) belasting het geval was, maar waarbij ten slotte toch de aangroeiing dezer blijvende zakking wederom tot staan komt. Het onderzoek zoo voortzettende zal men ten slotte waarschijnlijk komen tot een grootte der uitwendige belasting, waarbij de aangroeiing der blijvende vormverandering van de verharding (praktisch) niet tot nul afneemt dan wel pas begint af te nemen, nadat de blijvende indrukking reeds zulke afmetingen heeft aangenomen, dat de verharding als vernield mag worden beschouwd. De grootte der uitwendige belasting, waarbij zulks geschiedt, kan dan gerekend worden het draagvermogen in kwestie te hebben overschreden en de hoogte der voorafgegane belastingtrap zal dit draagvermogen aangeven.

Wat betreft de drukverdeling door verhardingen is gebleken, dat voor het verkrijgen van eenigszins betrouwbare gegevens ter zake metingen met in of onder de te beproeven verharding in te bouwen z.g. drukcellen noodzakelijk zijn.

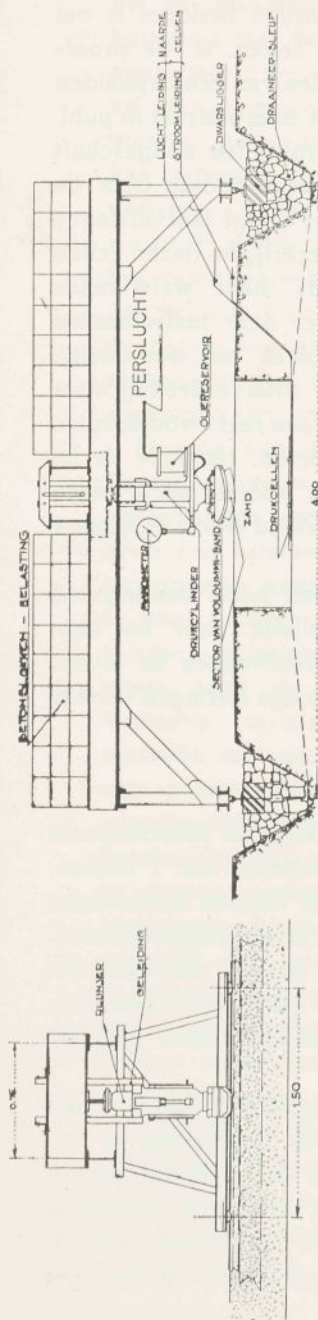
Toen dan ook door den Wegenraad besloten is om het onderzoek ter zake voort te zetten, is de proefinstallatie voor het vele malen herhalen van een bepaalden druk ingericht in den geest van het daaromtrent in publ. 27 reeds aangegevene en zijn drukcellen aangeschaft voor het onderzoek naar de drukverspreiding door de verharding. Zooals reeds in een der vorige jaarverslagen is medegedeeld, heeft voor het verkrijgen dezer cellen het „U. S. Bureau of Public Roads” haar welwillende medewerking verleend. Nadat over deze instrumenten de beschikking verkregen was, bleek het wenschelijk alvorens tot de bepaling van de drukverdeeling door steenslagverhardingen over te gaan, een reeks voorloopige metingen met de cellen uit te voeren, teneinde de bij hunne toepassing in acht te nemen voorzorgen te leeren kennen en de grenzen der bruikbaarheid er van te kunnen beoordeelen.

In deze publicatie wordt nu een korte beschrijving gegeven van vorenbedoelde installatie voor het aanbrengen van de belasting op de proefvakken en tevens over de hooger aangeduide voorloopige metingen verslag uitgebracht.

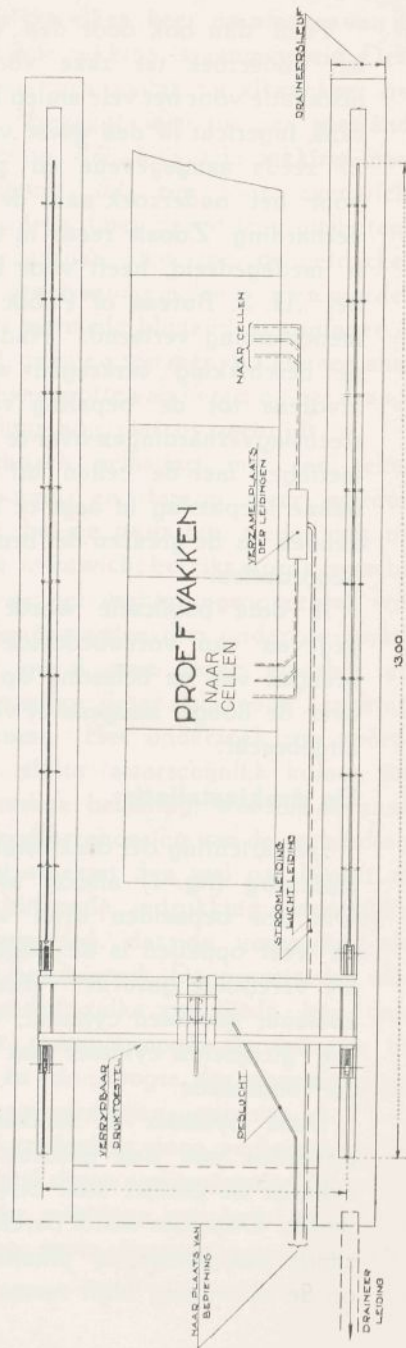
2. De drukinstallatie.

De inrichting der drukinstallatie moge uit achterstaande teekening (fig. 1) alsook uit reproductie no. I blijken. Om een bepaalden druk vlug te kunnen aanbrengen en weer opheffen is de pneumatische werkwijze gekozen. De vereischte gasdruk, verkregen uit een met vloeibaar koolzuur gevulden cylinder, werkt op de olievulling van een gietijzeren cylinder met passenden plunjer van 100 cm² doorsnede.

Deze cylinder is zoodanig opgesteld, dat bij het opvoeren van den gasdruk op de olievulling in den cylinder de plunjer naar boven uit den cylinder geperst wordt. Daardoor wordt bereikt, dat bij het niet in werking zijnde instrument de plunjer door zijn eigen gewicht op de olievulling blijft rusten en geen lucht in den met



Vernijdbaar toestel voor het aanbrengen van de belasting.



Situatie Proefplaats,
Fig. 1

olie gevulden cylinder zal doordringen, hetgeen wel het geval kon zijn, indien de cylinder met de plunjer-opening naar beneden werd opgesteld. Aan de onderzijde van den cylinder is een gietijzeren vormstuk scharnierend verbonden, waartegen een gedeelte van een vrachtauto-band kan worden bevestigd. Het bovenvlak van den plunjer drukt, wanneer gasdruk op de olie wordt uitgeoefend, door tusschenkomst van een passend kogelscharnier tegen een uit profielijzer samengestelde brug- of portaalconstructie. Deze portaalconstructie kan 10 ton ballast dragen, waardoor voorkomen wordt, dat zij door den plunjerdruk zou worden opgelicht. Als ballast zijn gebezigd betonblokken met een hoog soortelijk gewicht (4), verkregen door gebruikmaking van ijzerponsdoppen in plaats van grind. De portaalconstructie is op vier wielen in haar geheel verrijdbaar over twee rails, welke (4 m. h.o.h.) rusten op in de lengterichting gelegde houten dwarsliggers, die zijn aangebracht op ca. 50 cm. diepe, met steenslag gevulde draineursleuven. Tijdens het verplaatsen der portaalconstructie naar een nieuw proefvak wordt de drukcylinder met toebehooren opgeheschen.

Aangezien met indrukking der proefverhardingen en dus zakking van den cylinder onder het aanbrengen van den druk moet worden rekening gehouden, is voor het suppleeren van olie in den cylinder een oliereservoir noodzakelijk, dat, ter vermindering van lange olieleidingen, zoo dicht mogelijk bij den cylinder is aangebracht. De cylinder met vloeibaar koolzuur bevindt zich in een nabij de proefplaats gelegen werkruimte. De gasdrukleiding (gasolinebuis) heeft een lengte van ongeveer 15 m. Voor het meten van den druk zijn twee manometers aanwezig; een, voor de directe meting van den in den cylinder heerschenden oliedruk, is op den cylinder aangebracht — de ander bevindt zich in de nabijheid van den koolzuurcylinder en dient voor de contrôle op den gastoevoer. Bij het verminderen van den druk door weglekken van olie of gas, kan dan oogenblikkelijk bij-

geregeld worden. De ervaring heeft echter geleerd, dat voor oliedrukken in den cylinder tot 40 kg/cm^2 — overeenkomende met een totaalbelasting der proefverharding van 4 ton — de leidingen zoo dicht zijn, dat praktisch niet behoeft te worden bijgeregeld, indien geen latere zakking van den drukcylinder, door indrukking der verharding optreedt. In de persleiding bevindt zich verder nog een veiligheidsklep, belast met een aan een looprail verschuifbaar gewicht, welke tevens dient voor het aflaten van den gasdruk.

De meting der zakking van het verhardingsoppervlak geschiedt met behulp van twee aan weerszijden van het gietijzeren vormstuk onder den drukcylinder bevestigde, uitstekende armen, welke elk aan het vrije eind door middel van een staaldraad verbonden zijn aan den korten arm van in een verticaal vlak draaibare wijzers. De assen dezer wijzers zijn geheel los van de portaalconstructie gelagerd om te voorkomen, dat vormveranderingen van deze laatste invloed op de wijzeraflezing zouden kunnen uitoefenen. In de zoo bij 10-malige vergrooting afgelezen zakking is natuurlijk ook de indrukking van den vrachtauto-band inbegrepen, welke daarom vooraf afzonderlijk bepaald is moeten worden en dan later in rekening kan worden gebracht. Uit de situatie op fig. 1 kan men zich een denkbeeld vormen van de inrichting der proefplaats. De te leggen proefverhardingen zijn geteekend op een breedte van 1,50 m., maar kunnen zonder bezwaar (indien dit noodig mocht blijken) breeder genomen worden. De draineursleuven zijn alle ca. 50 cm. diep en opgevuld met steenslag. De verplaatsing van het drukpunt geschiedt door het verrijden van de geheele installatie over de beide rails, welke een lengte van ca. 13 m. hebben. Het drukpunt blijft dus steeds in de lengteas der verharding gelegen.

3. Het iken van den drukcylinder.

Nadat vooraf de beide manometers onder waterdruk geijkt waren op een speciaal daartoe ingerichte balans-

pers in het Laboratorium voor Materiaalonderzoek, is vervolgens op den met olie gevulden drukcylinder met daaraan verbonden manometer druk uitgeoefend door middel van een 10-tons hydraulische pers en bij onderscheiden manometer-aanwijzingen de druk op de schaalverdeling van de pers afgelezen. In de kromme I in fig. 2 zijn de resultaten van deze meting verwerkt; de manometer-aanwijzing in schaaldeelen is als ordinaat, de door de pers aangegeven druk in tonnen als abcis uitgezet.

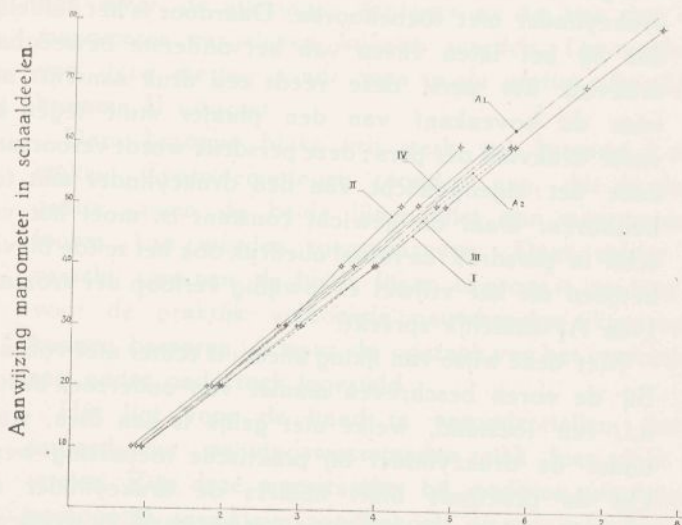


Fig. 2

Druk in tonnen.

Daar de olie-drukcylander een inwendige doorsnede van precies 100 cm^2 bezit, is met behulp van de afgelezen manometer-aanwijzing ook gereedelijk de in totaal op den plunjer werkende, uitwendige kracht te berekenen. Doet men dit en zet men de grootte van deze kracht bij de onderscheiden manometer-standen in dezelfde grafiek (fig. 2) uit, dan verkrijgt men de kromme A_1 . Zooals blijkt, loopt deze nagenoeg evenwijdig met kromme

I, hetgeen dus wil zeggen, dat bij elken manometerstand de in totaal op de olievulling (en dus op den plunjer) werkende kracht een constant bedrag kleiner is, dan de op de pers afgelezen druk. Dit moet ook zoo zijn, daar bedoelde pers zoodanig is ingericht, dat van de twee drukvlakken het bovenste vast is en het onderste bij het persen naar boven gedrukt wordt. Daar de drukcylinder bij den aanvang der ijking op de onderste drukplaat wordt geplaatst, met weer (tegen olieklekken en luchtindringing) den plunjer naar boven gericht, draagt het onderste drukvlak het geheele gewicht van drukcylinder met toebehooren. Daardoor is het duidelijk, dat bij het laten rijzen van het onderste beweegbare drukvlak der pers, deze reeds een druk aanwijst nog vóór de bovenkant van den plunjer stuit tegen het vaste drukvlak der pers; deze persdruk wordt veroorzaakt door het eigengewicht van den drukcylinder met toebehooren. Daar dit gewicht constant is, moet het verschil in persdruk en totaal oliedruk ook het zelfde blijven, hetgeen uit het vrijwel evenwijdig verloop der krommen I en A_1 duidelijk spreekt.

Met deze wijze van ijking alleen, is echter niet volstaan. Bij de voren beschreven manier van onderzoek bestaat n.l. een toestand, welke niet gelijk is aan dien, waaronder de drukcylinder bij praktische toepassing werkt. Op de proefpers blijft immers de drukcylinder met olievulling bijna in stationnair toestand en worden de drukvlakken der proefpers naar elkaar toe gedrukt, waardoor de plunjer een heel klein weinig in den drukcylinder *naar binnen* wordt gedrukt. In de praktijk zal daarentegen bij het opvoeren van den druk olie in den cylinder naar binnen worden geperst en zoo de plunjer *naar buiten* worden gedrukt. De indrukking van den vrachtautoband op de verharding en de zakking van het verhardingsoppervlak onder belasting zullen oorzaak zijn, dat het naar buiten uit den cylinder drukken van den plunjer zelfs over (relatief) groote afstanden plaats vindt.

Om dezen toestand ook bij de ijking eenigszins nabij te komen, is een serie metingen gedaan, waarbij de druk op de olievulling van den drukcylinder niet (zooals voorheen) verkregen is door het naar elkander toe bewegen van de drukvlakken der proefpers, maar door (als in de praktijk) gasdruk op genoemde olievulling uit te oefenen. Daardoor wordt de plunjer uit den drukcylinder geperst, tot hij komt te rusten tegen het (bovenste) drukvlak van de pers. Voert men den gasdruk dan hooger op, zoo ondervindt de plunjer den tegenstand der proefpers en oefent daarop druk uit, waarbij dan weer de aflezingen der pers en die van den oliemanometer vergeleken kunnen worden. De resultaten van deze meting vindt men in de grafiek (fig. 2) als kromme II uitgezet.

Deze kromme blijkt vrij sterk van kromme I af te wijken. Contrôlemetingen toonden aan, dat de divergentie tussen de beide lijnen niet aan waarnemingsfouten kan worden toegeschreven. Daar echter het verschil tusschen de beide lijnen te groot is, om hier een voor de praktijk voldoende nauwkeurige ijking op te kunnen baseeren, is naar de oorzaak van het verschijnsel een nader onderzoek ingesteld.

Het ligt voor de hand te veronderstellen, dat de invloed van wrijvingsweerstand zich hier doet gevoelen. Zijn deze weerstanden bij moderne proefpersen gewoonlijk zeer klein, zoo behoeft dit nog niet het geval te zijn bij den gebezigten drukcylinder, aangezien de afdichting tusschen cylinder en plunjer geschiedt door een omgeslagen lederen ring, welke door den inwendigen oliedruk tegen het plunjeroppervlak wordt gedrukt. Bij het toenemen van den oliedruk neemt dus ook de druk van den lederen ring op den plunjer toe en daarmede de wrijvingsweerstand, dien de plunjer bij zijn beweging ondervindt. Dit zou kunnen verklaren, waarom de verschillen tusschen de krommen I en II bij lagen oliedruk klein zijn en bij het stijgen van den oliedruk regelmatig oploopen. Dat niet bij

beide bepalingen der krommen I en II de wrijvingsweerstand zich in gelijken zin doet gevoelen (en er dus verschil tusschen de beide lijnen te zien is) wordt veroorzaakt door het feit, dat bij de meting waarnaar kromme I is opgesteld de pers den plunjer *in* de cylinder *naar binnen* drukt, terwijl bij de meting van kromme II de olie den plunjer *uit* den cylinder *naar buiten* drukt. In het eerste geval dient de (pers)druk op den plunjer dus in de eerste plaats om bedoelden wrijvingsweerstand te overwinnen en slechts het restant moet door den oliedruk in den cylinder geleverd worden — m.a.w., bij een bepaalden druk der proefpers lagere olie-drukken. In het tweede geval moet de oliedruk eerst den wrijvingsweerstand overwinnen en het restant werkt op de drukvlakken der proefpers — m.a.w., bij een bepaalden druk der pers hogere oliedrukken.

Ten einde na te gaan, of de voren geschetste verklaring door de feiten gedekt wordt, is een serie metingen gedaan, waarbij (als bij kromme II) de druk op de olievulling (en dus op den plunjer) door gas is uitgeoefend, maar waarbij toch de wrijvingsweerstand werkt, als bij de meting van kromme I, dus bij het door de pers *naar binnen* drukken van den plunjer *in* den drukcylinder. Daartoe is de pers eerst geheel in rusttoestand gebracht met de drukvlakken zoover mogelijk van elkaar en dus onbewegelijk. Daarna is gasdruk op de olievulling gezet, totdat de vereischte druk bereikt was en toen is het onderste, beweegbare drukvlak der pers een weinig omhoog gedrukt, waarbij dus de plunjer *in* den cylinder *naar binnen* gedrukt wordt. De op deze wijze verkregen aflezingen op proefpers en olie-manometer zijn in de grafiek tot de kromme III vereenigd. De zeer goede overeenstemming, welke deze lijn vertoont met kromme I pleit voor de juistheid der bovengegeven verklaring van het divergentie-verschijnsel tusschen de lijnen I en II.

De verschillen tusschen de krommen I en III eenerzijds en II anderzijds zullen voor verreweg het grootste deel dus veroorzaakt zijn door de wrijving in den olie-

drukcylander. Met 't oog op mogelijke, kleine wrijvingsweerstand in de proefpers is er echter geen genoegen mede genomen den afstand tusschen vorengenoemde lijnen eenvoudig te halveeren, maar is beproefd den wrijvingsweerstand in den drukcylander afzonderlijk te bepalen. Daartoe is allereerst een serie metingen verricht onder zooveel mogelijk uitschakelen van den invloed dezer wrijving, door draaiïng van den plunjer tijdens de belasting. De uitkomsten van deze metingen komen echter onderling zeer slecht overeen, zoodat hieraan geen waarde mag worden gehecht.

Gelukkig kon daarop tijdelijk de beschikking worden verkregen over een z.g. Amsler-meetcel — een instrument, dat gebruikt wordt ter contrôle van proefpersen. Met behulp hiervan zijn toen eenige series waarnemingen gedaan, waarbij in de resultaten uitsluitend de wrijvingsweerstand van den plunjer in den drukcylander tot uiting komt. Door deze series zoo in te richten, dat (als eerder beschreven) de wrijving daarin t. o. v. de manometer-aflezingen zoowel in negatieven als in positieven zin tot uiting komt, kan men den wrijvingsweerstand berekenen en deze uit het resultaat elimineeren. De zoo bepaalde ijk-kromme wordt door de lijn A_2 weergegeven. Deze lijn geeft dus den werkelijken totaal-oliedruk op den plunjer bij verschillende manometer-aflezingen. Deze totaal-oliedruk moet nu, behoudens wrijvingsverliezen in de olie zelf, overeenstemmen met den totaal-oliedruk, welke uit de manometer-aflezing en de doorsnede van den cylinder is te berekenen, die naar voorheen reeds is medegedeeld, door kromme A_1 wordt voorgesteld.

De mate, waarin deze lijnen A_1 en A_2 overeenstemmen, is dus een aanwijzing voor de nauwkeurigheid, welke bereikt kan worden. Bij gelijke ordinaten (d.z. manometer-aflezingen) verschillen de abciswaarden (uitgeoefende drukken) der beide lijnen niet meer dan 1,5 %.

Op grond van deze lijnen is de definitieve ijk-kromme IV berekend, waarin de nu bekende wrijvingsweerstand

van den plunjer in den cylinder in rekening is gebracht in dien zin, waarin hij ook bij de werkelijke proeven zal optreden. Verwacht mag dus worden, dat in de bepaling der op de proefverhardingen aan te brengen belastingen geen grootere fout zal schuilen dan 3 0/0, hetwelk voor het beoogde doel bevredigend kan worden geacht.

4. De drukcellen.

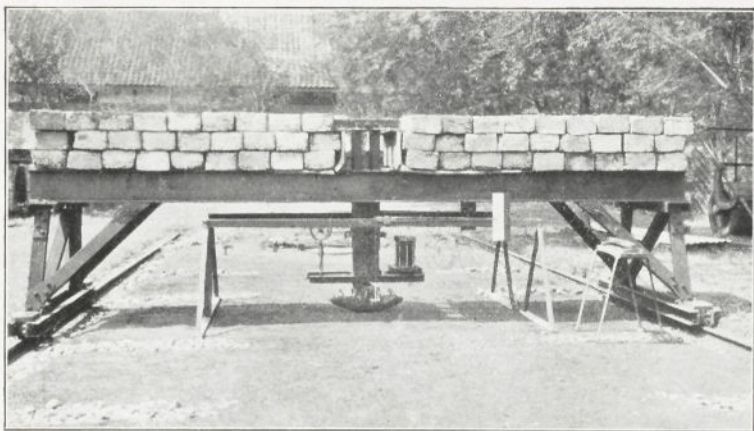
Voor de experimenteele bepaling van de drukverspreiding door opgehoopt korrelig materiaal, is het steeds de groote moeilijkheid geweest een instrument te construeeren, waarmede een plaatselijke druk in het materiaal kan worden gemeten, zonder dat door de verplaatsing van eenig deel van het meetlichaam tijdens de meting een structuurverandering in het materiaal wordt teweeggebracht. Bij de jongste onderzoekingen, in Duitschland op dit gebied verricht, heeft men terzake wel het meest volledige succes mogen boeken; het daarbij gebezigde meetapparaat vereischt echter uiterst zorgvuldige behandeling. *)

Eenvoudiger en alleszins bruikbaar is het instrument, dat een vijftiental jaren geleden bij een door het U. S. Bureau of Public Roads ingesteld onderzoek naar de drukverspreiding door zandlagen voor het eerst in gebruik is genomen. **) Van deze z.g. Goldbeck-drukcellen nu is een 24-tal in bezit der N. I. W. V. gekomen. Het instrument is hiernaast in dwarsdoorsnede (fig. 3) en in geopenden toestand (reprod. II) weergegeven. De werking kan als volgt worden beschreven.

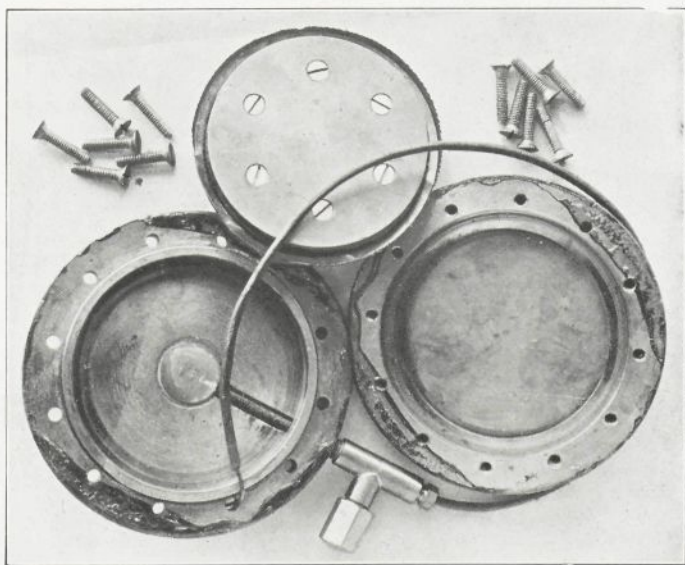
De grootte van den druk, welke van buitenaf op het binnen enge grenzen beweegbare deksel A uitgeoefend wordt, kan bepaald worden door het invoeren van

*) Men zie hiervoor de artikelenreeks van Kögler-Scheidig in „Die Bau-technik“ jaargang 1927, 1928 en 1929. Hierin vindt men tevens een vrij volledig overzicht over al hetgeen op dit gebied experimenteel en theoretisch is verricht.

**) Zie hieromtrent Proc. Am. Soc. of Civ. Engineers 1925: Proeven van Goldbeck; alsook Proc. Am. Soc. for Test. Materials 1916 en 1917.

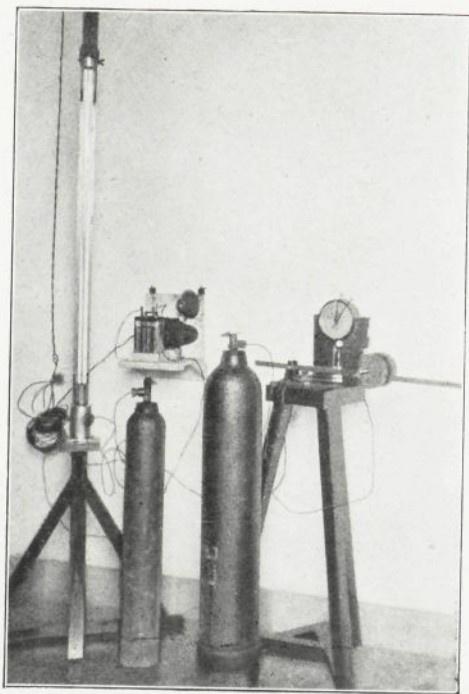


I. De pneumatische drukinrichting voor het aanbrengen der belastingen op de verhardingsproefstukken.



II. Gedemonteerde drukcel.

Drukproef-installatie.



III. De instrumenten voor het pneumatisch meten der belastingen en gronddrukken.

perslucht in de afgesloten celruimte en het meten van den luchtdruk, welke noodig is om, tegen de werking van den uitwendigen druk in, het deksel A van de geïsoleerde contactplaat E op te lichten. Om nauwkeurig het moment te kunnen vaststellen, waarop dit laatste

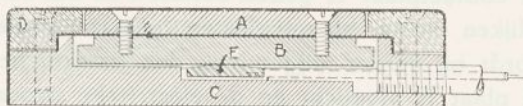


Fig. 3

Doorsnede drukcel.

- A = beweegbaar celdeksel (bovenste deel).
- B = idem (onderste deel).
- C = cel-lichaam.
- D = sluitring.
- E = geïsoleerd aangebrachte contactplaat, waarop het celdeksel rust.

Het dunne kopermembraan is tusschen A en B vastgeklemd en wordt verder door D op het cellichaam (gasdicht) vastgedrukt. Het aan de boven- en buitenzijde van de geheele cel aangegeven twee membraan dient alleen om te voorkomen, dat gronddeeltjes in de ringvormige spleet tusschen A en D zouden binnendringen en zich daar vastkleppen, waardoor de vrije beweging van het celdeksel (A + B) zou worden belemmerd.

geschiedt, wordt van de geïsoleerde contactplaat naar het celdeksel een electrische stroom geleid en in dezen stroomkring een signaalapparaat opgenomen, dat bij het onderbreken van den stroom een sein geeft. De grootte van den op dat moment in de cel aanwezigen luchtdruk is een maat voor de grootte van de uitwendige belasting.

Natuurlijk moet men er rekening mede houden, dat de uitwendige belasting, die op het celdeksel werkt, dit deksel vast op de geïsoleerde contactplaat E drukt. Op het aanrakingspunt worden zoowel celdeksel als contactplaat een weinig ingedrukt, terwijl bovendien nog de bakelite-isoleering, waarop de contactplaat rust, ineen geperst wordt. Bij het aangroeien van den gasdruk in de cel, zal de druk op de contactplaat kleiner worden, aangezien de uitwendige druk gedeeltelijk door den gasdruk op het deksel wordt gedragen. Dit afnemen

van den druk op de contactplaat E doet de daar eerst heerschende indrukking weer verdwijnen en dus het materiaal zijn oorspronkelijken vorm hernemen. E.e.a. brengt mede, dat het celdeksel onder den stijgenden gasdruk een weinig opgelicht wordt, doch dat daarbij nog niet dadelijk het electrisch contact wordt verbroken. Pas als contactplaat E geheel ontlast is en dus haar oorspronkelijken vorm bij onbelasten toestand heeft hernomen, wordt bij verder stijgen van den gasdruk het deksel van de plaat E afgelicht en de electrische stroomkring verbroken. Volgens Amerikaansche opgaven, welke niet verder zijn gecontroleerd, treedt bij de hier gebruikte drukcellen onder een gelijkmatig verdeelden druk op het deksel van ca. $3,5 \text{ kg/cm}^2$ een elastische vervorming op (indrukking van deksel, contactplaat en bakelite-isoleering) van ca. $7,5 \mu^*)$ en is voor het verbreken van het contact op zich zelf een rijzing van het deksel noodig van niet meer dan $0,3 \mu$. Om een uitwendige belasting van ca. $3,5 \text{ kg/cm}^2$ aan te meten is derhalve een totale rijzing van het deksel van ongeveer $7,8 \mu$, d.i. nog geen $1/100 \text{ mm}$. noodig en voldoende.

De cellen zijn dus bruikbaar voor het meten van plaat-selijke drukken in materiaalophooping, welke zonder structuur-verstoring en bij slechts geringe druktoename elastische vervormingen van die grootte kunnen ondergaan.

5. Gebruik der cellen.

In fig. 4 is schematisch de aansluiting der cellen op lucht- en electrische leidingen aangegeven. Voor de luchtleidingen is gasoline-buis gebruikt met een inwendige wijdte van ca. $2,5 \text{ mm}$. Deze is gemakkelijk vervormbaar, hetgeen voordeel oplevert bij het plaatsen der cellen. Voor de aansluiting van de luchtleidingen op de cellen zijn koperen nippels gemaakt, welke tevens gelegenheid

*) $1 \mu = 0,001 \text{ mm}$.

geven tot het doorvoeren der geïsoleerde elektrische leiding. Op het in de onmiddellijke nabijheid van het proefvak geplaatste verzamelbord komen alle (genummerde) leidingen naar de cellen samen; beurtelings worden zij op de naar de bedieningsplaats voerende leidingen

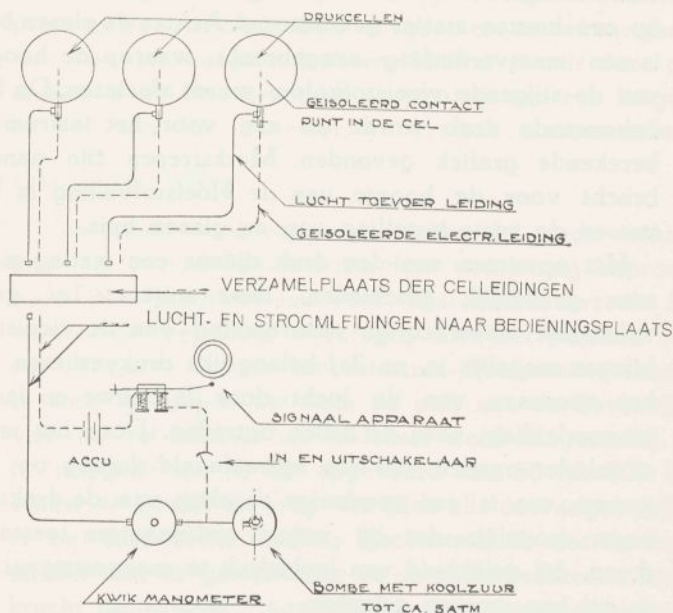


Fig. 4

aangesloten. De stroom wordt geleverd door een 4-volts accumulator; het signaalapparaat bestaat uit een elektrisch bewogen bel, welke aanslaat, zoodra de stroom wordt verbroken. Oorspronkelijk was, in navolging van de Amerikaansche werkwijze, een 3-volts-gloeilampje in den stroomkring opgenomen. Praktisch bleek echter het gelijktijdig aflezen van de vloeistofhoogte in de manometerbuis en het waarnemen van den lichtschijn van het lampje moeilijkheden op te leveren, waarom tot een accoustisch signaal is overgegaan.

De op de meest eenvoudige wijze geconstrueerde manometer bestaat uit een gesloten ijzeren vat, waarin een van boven gesloten glazen buis van ca. 1,50 m. lengte is gestoken. De doorvoeropening is luchtdicht afgesloten met rubberringen, welke door het aanzetten van een drukschroef zijdelings tegen den glazen buiswand aangedrukt worden. Het geheel is (zie repr. III) op een houten statief gemonteerd. Achter de glazen buis is een maatverdeeling aangebracht, waarop de hoogte van de stijgende vloeistofkolom wordt afgelezen. De bijbehorende druk wordt uit een voor het instrument berekende grafiek gevonden. Merkstrepen zijn aangebracht voor de hoogte van de vloeistofvulling in het vat en de juiste instelling van de glazen buis.

Het opvoeren van den druk tijdens een meting moet zeer geleidelijk geschieden, daar anders: 1e/ geen voldoende nauwkeurige waarneming van de vloeistofhoogte mogelijk is, en 2e/ belangrijke drukverliezen bij het stroomen van de lucht door de nauwe en lange toevoerleiding naar de cellen optreden. Door het meer of minder openen van een schroefnaald-sluiting op het ijzeren vat is een zoodanige regeling van de druktoename mogelijk, dat bij vrijwel stationnair toestand, d.w.z. bij gelijkheid van luchtdruk in manometervat en in cel kan worden gemeten.

Wat de nauwkeurigheid van den manometer betreft, valt het volgende op te merken. Temperatuursveranderingen en wijzigingen in den atmosferischen luchtdruk tijdens de meting kunnen (eerstgenoemde vooral bij hoogere drukken) belangrijke onnauwkeurigheden in de drukmeting ten gevolge hebben. Deze foutenbronnen kunnen echter vermeden worden door, zoo dikwijls als nodig geoordeeld, de manometerbuis uit de vloeistof te lichten en vervolgens weer onder te dompelen; op deze wijze wordt steeds met een constant volume lucht van vrijwel gelijken druk gewerkt, daar uit de barografische registraties in het Bosscha-laboratorium der Technische Hoogeschool is gebleken, dat de voorkomende

veranderingen van den atmosferischen luchtdruk ter plaatse zeer klein (enkele mm.'s kwik) zijn.

De hoogte van de vloeistofkolom in de buis is bij goed geregelde, langzame druktoename op 1 mm. nauwkeurig af te lezen, hetgeen bij een overdruk in de cel van 0,2—3 kg/cm² overeenkomt met een waarnemingsnauwkeurigheid van 0,6—0,2 %. Mocht bij latere proeven de wenschelijkheid van grootere nauwkeurigheid (speciaal bij hoogere drukken) blijken, dan is deze gemakkelijk te bereiken door toepassing van een langere of wel aan het boven einde verwijde manometerbuis.

6. IJking der cellen.

Ten einde na ontvangst der cellen de goede werking daarvan te controleeren zijn deze voorloopig beproefd door het Laboratorium voor Materiaalonderzoek. De uitwendige belasting, verkregen door het plaatsen van een cel onder een der laboratorium-proefpersen (waarbij is zorg gedragen, dat door de pers aan de bovenzijde van de cel alleen het celdeksel werd aangeraakt), is in trappen van 50 kg. opgevoerd van 50 tot 300 kg. Naast de goede werking van bijna alle ontvangen cellen is bij deze eerste meting geconstateerd, dat de door middel van de gasspanning in de cel te berekenen drukkracht gecorrigeerd moet worden om in overeenstemming te zijn met den werkelijken uitwendigen druk en dat de correctie-coëfficiënt kleiner is dan 1, doch bij het opvoeren van den uitwendigen druk tot deze waarde nadert. Dit is geheel verklaarbaar, daar in de uitwendige belasting het gewicht van het celdeksel (ca. 0,95 kg.) niet is inbegrepen en dit gewicht toch even zoo goed als de uitwendige druk door de gasspanning in de cel overwonnen moet worden, voordat het deksel van de contact-plaat kan worden afgelicht.

Daar de cellen praktisch voor het meten van vrij kleine drukken worden gebezigd, heeft na de voorloopige beproeving een nauwkeurige ijking plaats gehad met belastingen van 0 tot 100 kg. op het celdeksel, door

Tabel 1.

Correctie-coëfficiënten (c) der inwendige celdrukken bij een
uitwendige belasting van:

Druk- cel No.	5.4	10.4	15.4	20.4	30.4	40.4	100.4	kg.
1	0.83	0.95	0.99	0.99	1.01	1.04	1.00	
2	0.80	0.37	0.91	0.91	0.95	0.97	0.98	
3	0.82	0.93	0.96	0.96	0.96	0.98	0.98	
4	0.93	0.95	0.98	0.99	1.00	1.01	0.99	
5	0.85	0.93	0.97	0.97	0.99	1.00	0.98	
6								
7	0.75	0.88	0.94	0.95	0.97	0.99	0.99	
8	0.84	0.91	0.97	0.97	1.00	0.99	0.98	
9	0.79	0.88	0.93	0.95	0.96	0.95	0.96	
10	0.88	0.93	0.98	0.98	0.99	0.97	0.96	
11	0.89	0.95	1.01	1.00	1.01	1.02	1.01	
12	0.83	0.91	0.95	0.96	0.96	0.97	0.97	
13	0.81	0.89	0.92	0.92	0.96	0.97	0.98	
14	0.83	0.90	0.94	0.95	0.97	0.97	0.97	
15	0.87	0.91	0.93	0.97	0.98	0.99	0.99	
16								
17	0.81	0.91	0.97	0.97	0.99	1.00	0.98	
18	0.83	0.93	0.97	1.00	1.01	1.00	0.98	
19	0.75	0.85	0.90	0.91	0.94	0.95	0.99	
20								
21	0.82	0.90	0.96	0.96	0.99	1.00	1.02	
22	0.75	0.84	0.89	0.92	0.97	1.00	1.01	
23	0.81	0.88	0.93	0.94	0.93	0.96	0.98	
24								

Gemeten gemiddelde coëfficiënten (c-gem.)

	0.83	0.91	0.95	0.96	0.98	0.99	0.99	
--	------	------	------	------	------	------	------	--

Berekende coëfficiënten (c-ber.)

	0.85	0.92	0.95	0.96	0.98	0.99	0.99	
--	------	------	------	------	------	------	------	--

het daarop plaatsen van (nauwkeurig centriscb aangebrachte) gewichten. De gasdruk is daarbij gemeten met den voren beschreven buismanometer (voor het meten der lage drukken is een aan de bovenzijde open buis gebezigd). De uit de bij deze ijking verkregen resultaten berekende correctie-coëfficiënten (c), met welke de gemeten gasdrukken moeten worden vermenigvuldigd om de verlangde uitwendige drukken te verkrijgen, zijn in nevenstaande tabel weergegeven.

Behalve de gemiddelde waarden der c -coëfficiënten, welke aan den voet der tabel zijn aangegeven (c -gem.), is daarbij tevens vermeld de waarde, welke voor den correctie-coëfficiënt kan worden becijferd door het gewicht van het op te heffen celdeksel in rekening te brengen (c -ber.). Zooals blijkt, zijn de verschillen tusschen beide c -waarden zeer klein, hetgeen ook verwacht mag worden, daar de noodige overdruk om bij het rijzen van het celdeksel het koper-membraan uit te buigen niet groot zal zijn in verband met de kleine beweging van dit deksel (als vorenaangegeven ca. 8μ).

7. Resultaten van voorloopige proeven.

Om met de werking der cellen vertrouwd te raken, alsook de eischen voor het aanbrengen van de cellen onder een proefvak te leeren kennen, is eerst een 20-tal gelegd onder een zandlaag van ca. 50 cm. dikte; situatie en doorsnede van het proefvak zijn in fig. 5 aangegeven. De cellen zijn zoodanig geplaatst, dat vier cellen op gelijken afstand van het drukmiddelpunt liggen. De grondslag is tevoren behoorlijk afgevlakt en de tusschenruimten tusschen de cellen zijn vóór het aanbrengen van de zandlaag met vochtig zand volgestampt. Tegen doorweeking van den grondslag zijn maatregelen genomen door het aanbrengen van een draineering (grof steenslag in sleuven) rondom het proefvak. De zandvulling is aangebracht in lagen van ca. 10 cm. en met een handstamper van 15 kg. in luchtdrogen toestand aangestampt.

Op dit proefvak is door middel van de beschreven drukinstallatie centrisc h een belasting aangebracht. De drukinrichting bleek daarbij naar behooren te werken ; het constant houden van de aangebrachte belasting leverde geen moeite op. De afdichting der persleiding en die van den plunjer in den drukcylinder bleken van dien aard, dat bijna geen lekkage optrad, zoodat slechts na verloop van tijd eenige bijregeling met de persluchtkraan noodig was.

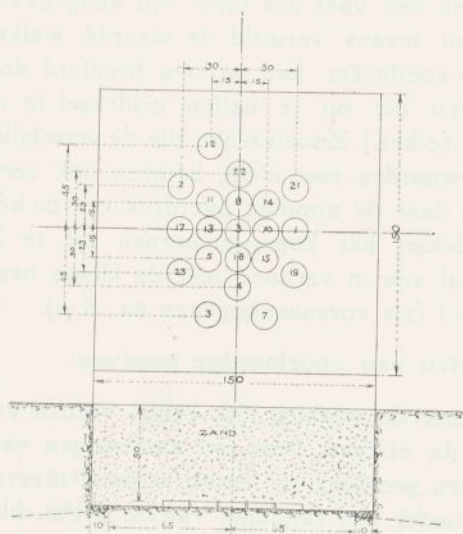


Fig. 5

Bij het aanmeten der gronddrukken is zorgvuldig gewaakt voor het te hoog opvoeren van den gasdruk in het inwendige van de cel. Indien deze n.l. den uitwendigen druk (eenigszins aanmerkelijk) overschrijdt, wordt het celdeksel (van zijn steunpunt) veel meer omhoog gelicht dan voor het verbreken van het electrisch contact noodig is ($7,8 \mu$). Daardoor zal eenerzijds het op het deksel rustende zand onnoodig worden omhoog gedrukt, waardoor de structuur der zandkorrels verstoord

kan worden; daalt daarna bij het afdrukken van den gasdruk in de cel het celdeksel weer, dan kan deze veranderde zandkorrel-structuur oorzaak zijn, dat nu de uitwendige druk op het celdeksel anders (waarschijnlijk kleiner) is dan oorspronkelijk het geval was. Anderzijds bestaat de mogelijkheid, dat door het aanmerkelijk rijzen van het celdeksel de fijne kopermembranen (die daarbij worden uitgerekt) over hun elasticiteitsgrens zouden worden belast. Indien dit zoo zou zijn, zal deze membraan-uitrekking zeker wel niet aan alle zijden van het deksel even groot zijn en loopt men het gevaar, dat, als het deksel weer is gedaald, de steun, welke dit deksel van het (ringvormige) membraan ontvangt niet meer gelijkmatig verdeeld is en het deksel scheef op de contactplaat (E) komt te rusten. Praktisch levert het waken tegen te groote gasdrukken geen moeilijkheden, v.n. doordat de contactverbreking in de cel met een hoorbaar signaal wordt kenbaar gemaakt. De aandacht van den waarnemer kan geconcentreerd blijven op de in de manometerbuis langzaam stijgende vloeistofkolom, terwijl met één handgreep de luchtdruk oogenblikkelijk kan worden afgelaten.

In achterstaande tabel 2 vindt men de resultaten van een der eerste series metingen. Elk oorspronkelijk genoteerd waarnemingscijfer vertegenwoordigde het gemiddelde uit drie onmiddellijk achter elkaar gedane metingen. Ter meerdere zekerheid is bovendien iedere belasting (nadat een volledige serie cel-waarnemingen was gedaan) geheel afgenomen en opnieuw op de voorgeschreven wijze aangebracht. De in de eerste kolom gegeven cijfers zijn zodoende gemiddelden uit minstens 6 waarnemingen.

Eenige controle op de juistheid der metingen verkrijgt men door de constructie der druklijnen en berekening van den inhoud der drukfiguur in het zandlichaam, welke laatste, in de gewichtseenheid uitgedrukt, gelijk moet zijn aan de totale uitwendige belasting. Ten einde daarbij den door het zand zelf uitgeoefenden druk buiten beschouwing te kunnen laten verdient het aanbeveling die drukfiguur te bepalen, welke beantwoordt

Tabel 2.

Drukcel No	Overdruk in de cel in kg/cm ²					Overdruk in de cel in kg/cm ² onder aftrek v/d overdruk bij afwe- zigheid v/een uit- wendige belasting.				Gemiddelden uit de vorige kolom in kg/cm ²				r *) cm.
	belasting in kg.					belasting in kg.				belasting in kg.				
	0	650	1010	1500	1990	650	1010	1500	1990	650	1010	1500	1990	
3	0.26	0.41	0.49	0.67	0.79	0.15	0.23	0.41	0.53	0.15	0.23	0.41	0.53	0
9	0.32	0.40	0.46	0.55	0.59	0.08	0.14	0.23	0.27	0.12	0.19	0.30	0.44	15.0
10	0.26	0.37	0.45	0.56	0.67	0.11	0.19	0.30	0.41					
13	0.31	0.43	0.54	0.63	0.72	0.12	0.23	0.32	0.41					
18	0.27	0.44	0.63	0.63	0.76	0.17	0.36	0.36	0.49					
5	0.27	0.35	0.41	0.52	0.58	0.08	0.14	0.25	0.31	0.09	0.16	0.26	0.33	21.2
11	0.25	0.35	0.40	0.47	0.55	0.10	0.15	0.22	0.30					
14	0.29	0.38	0.48	0.58	0.66	0.09	0.19	0.29	0.37					
15	0.28	0.36	0.45	0.55	0.61	0.08	0.17	0.27	0.33					
4	0.27	0.30	0.35	0.40	0.47	0.03	0.08	0.13	0.20	0.05	0.09	0.13	0.18	30.0
1	0.27	0.46	0.54	0.59	0.31	0.19	0.27	0.32	0.54					
17	0.31	0.32	0.35	0.42	0.46	0.01	0.04	0.11	0.15					
22	0.31	0.37	0.40	0.45	0.49	0.06	0.09	0.14	0.18					
2	0.29	0.36	0.36	0.40	0.43	0.07	0.07	0.11	0.14	0.03	0.06	0.10	0.14	37.8
19	0.29	0.32	0.36	0.39	0.43	0.03	0.07	0.10	0.14					
21	0.24	0.27	0.25	0.29	0.31	0.03	0.01	0.05	0.07					
23	0.26	0.30	0.31	0.36	0.39	0.04	0.05	0.10	0.13					
7	0.30	0.30	0.28	0.31	0.34	0.00	0.00	0.01	0.04	0.02	0.02	0.03	0.05	47.4
8	0.22	0.25	0.23	0.27	0.28	0.03	0.01	0.05	0.06					
12	0.28	0.30	0.30	0.31	0.33	0.02	0.02	0.03	0.05					

De cursief gedrukte cijfers zijn niet voor de berekening der gemiddelden in aanmerking genomen.

*) r = afstand van middelpunt cel tot verticaal door drukmiddelpunt.

aan de óp het zandlichaam aangebrachte belasting. Te dien einde zijn dan ook eerst drukmetingen verricht onder onbelast zandlichaam en de zoo voor iedere cel

gevonden drukken afgetrokken van die, gevonden onder belasting. Deze cijfers zijn in de tweede kolom gegeven.

Het verloop der druklijnen kan uit de zoo beschikbare gegevens op verschillende wijze gewonnen worden; i.c. is voor iedere groep van cellen op gelijken afstand van het drukmiddelpunt gelegen, het rekenkundig gemiddelde genomen, met uitsluiting van de waarden, welke abnormale afwijkingen vertoonen. Druklijnen en de hiermede overeenkomende bodem-tegendrukken zijn onderstaand in fig. 6 gegeven.

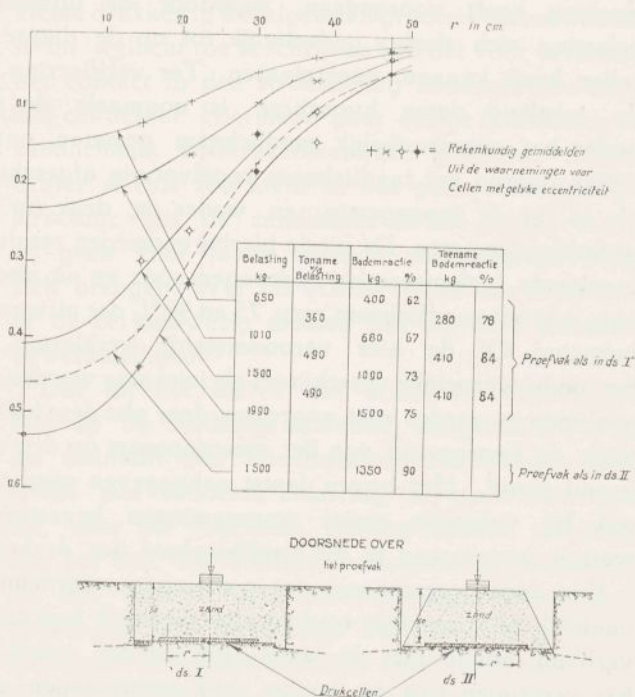


Fig. 6

De boven weergegeven cijfers zijn nog weinig bevredigend. Volgens onderzoekingen van lateren tijd,

betreffende drukverspreiding in grond *) kan globaal worden aangenomen, dat ca. 95 % van een uitwendige puntvormige belasting zich verdeelt binnen een vanuit het belaste punt beschreven kegel met halve tophoek van 45° ; diensvolgens zou, meetfouten in aanmerking genomen, eerst een berekende grondreactie van ca. 90—100 % der bij deze proef aangebrachte belasting bevredigend genoemd kunnen worden. Voor de nauwkeurigheid der metingen pleitte de regelmatigheid der waarnemingen en het bevredigende verloop der druklijnen. Verondersteld is dan ook, dat zich in de zijdelings stevig opgesloten en zeer dichte zandmassa een boogwerking heeft voorgedaan, waardoor de uitwendige belasting zich slechts gedeeltelijk tot op de diepte der cellen heeft kunnen voortplanten. Ter verificering van de juistheid dezer hypothese is nogmaals de druk onder het oorspronkelijk zandlichaam gemeten, onmiddellijk daarna het zandlichaam kegelvormig afgeschuind, als in fig. 6 aangegeven, en weder de druk op den grondslag gemeten. De uit de hierbij verkregen resultaten berekende bodemreacties bedroegen vóór en ná afschuining van het zandlichaam resp. 75 en 90% der uitwendige belasting. Of de hier veronderstelde verklaring van het onderwerpelijke verschijnsel als juist mag worden aangenomen is verder niet nagegaan, daar niet deze kwestie, maar de beproeving van het meetapparaat op den voorgrond stond. Het boven laatst aangegeven resultaat is ook bij volgende series waarnemingen bevestigd en wettigt vertrouwen in de bruikbaarheid der drukcellen.

Een ander verschijnsel, dat in alle series waarnemingen duidelijk te voorschijn trad en naar het zich laat aanzien verband houdt met de werkingswijze der cellen, was het verkrijgen van te hoge druk-aanwijzingen onder

*) Literatuur hierover vindt men in:

O. I. A. V. 1929 No. 19/20.

Bauingenieur 1929 No. 32.

Bautechnik 1927, 1928 en 1929 artikelen van Kögler-Scheidig.

Proc. A. S. C. Eng 1925 Goldbeck.

Terzaghi Erdbaumechanik.

het onbelaste zandlichaam. Bij de eerste proeven op het proefvak, zooals in fig. 5 en fig. 6 ds. I aangegeven, bedroeg de gemiddeld gemeten celdruk ca. $0,28 \text{ kg/cm}^2$ bij een te verwachten zanddruk van ca. $0,09 \text{ kg/cm}^2$ (zandlaag 50 cm. hoog, zandgewicht 1750 kg/m^3). Bij kegelvormig afgeschuind zandlichaam is de druk op de cellen niet meer gelijkmatig; op analoge wijze als voren beschreven zijn in dit geval ook voor het onbelaste zandlichaam druklijnen geconstrueerd. De inhoud der bijbehorende drukfiguur bedroeg daarbij nog ca. tweemaal het in rekening te brengen zandgewicht. De verschillen zijn derhalve aanzienlijk. Behalve aan de bij het meten van kleine drukken in het algemeen grootere onnauwkeurigheid is dit wellicht toe te schrijven aan het voor verbreken van het contact in den stroomkring noodzakelijke rijzen van het cel-deksel. Hiermede gaat eenige indrukking van het zandlichaam noodzakelijkerwijze gepaard; indien deze echter slechts zóó klein is, dat geen verandering in de structuur van de zandmassa er het gevolg van is, zal zij geen voor latere metingen nadeelige gevolgen met zich brengen. Wel zal echter steeds een extra-overdruk in de cel aanwezig moeten zijn om deze indrukking te bewerkstelligen.

Dat bij het meten der drukken, veroorzaakt door een op de zandlaag uitwendig aangebrachte belasting, als resultaat een bodemreactie kan worden berekend, welke met bedoelde belasting vrij goed overeen komt, zal, naar het voorkomt, moeten worden toegeschreven aan het feit, dat bedoelde bodemreactie gevonden wordt als het verschil van twee metingen (voor en na het opbrengen der uitwendige belasting) en in deze beide metingen de onderwerpelijke fout voorkomt, zoodat zij in het verschil (althans ten deele) geëlimineerd is.

Tijdroovend werk is besteed moeten worden aan een nader onderzoek met betrekking tot den invloed der elektrische stroomsterkte op de meetuitkomsten. Bij de eerste metingen bedroeg (bij directe schakeling van een 4 volts-

accu in den stroomkring) de stroomsterkte ca. 500 mA. Geconstateerd is, dat bij stroomvermindering tot ca. 50 mA. de aanwijzingen der cellen onder het zandlichaam bij gelijkblijvende belasting veranderden. Een directe verklaring hiervoor was moeilijk te geven, zoodat bij eenige cellen ter zake een nader onderzoek is verricht.

Bij belasting van de cel met behulp van op het beweegbare deksel geplaatste gewichten, (als bij de ijking) zijn bij stroomsterkten van resp. 450 en 50 mA. steeds dezelfde manometeraanwijzingen verkregen; bij plaatsing van de cel op den bodem van een met aangestampt zand gevulde kist zijn echter bij ongelijk groote stroomsterkten weer belangrijke verschillen geconstateerd. Ook zijn de cellen in een klem geplaatst met tusschenvoeging van een ca. 1 cm. dikke rubberplaat, welke de geheele cel bedekte. Indien dan het celdeksel wordt belast door het aandraaien van de klembouten, verkrijgt men weer steeds bij het meten met beide genoemde stroomsterkten verschillende uitkomsten en wel bij de grootere stroomsterkte hogere manometeraanwijzingen dan bij de kleinere.

Het voorgaande schijnt te wijzen op een bepaalde afhankelijkheid tusschen stroomsterkte en gemeten druk, welke tot uiting komt, indien bij het rijzen van het celdeksel de uitwendige belasting toeneemt (rubberplaat, zand). Voorts geeft het waargenomene aanleiding tot het vermoeden, dat bij hogere stroomsterkte voor het verbreken van het contact in de cel een grootere rijzing van het deksel noodig is. Op grond hiervan verdient dus de toepassing van een zoo klein mogelijke stroomsterkte aanbeveling.

Deze conclusie is bevestigd door de resultaten van verdere ter contrôle verrichte metingen bij drie verschillende stroomsterkten (zie tabel 3). De schakeling is daarbij zoo uitgevoerd, dat waarnemingen bij stroomsterkten van 4, 90 en 440 mA. in de cel-kring, onmiddellijk op elkaar volgend kunnen geschieden. Voor de meting bij 4 mA. moet een relais worden toegepast, aangezien de gebruikte signaalbel pas aanspreekt bij een

Celdruk in cm. waterhoogte bij gesloten water-manometer.

Tabel 3.

Belasting stroomsterkte	kg.								480 kg.								970 kg.								r *) cm.
	4 mA.		90 mA.		440 mA.		4 mA.		4 mA.		90 mA.		440 mA.		4 mA.		4 mA.		90 mA.		440 mA.		4 mA.		
	wisselend tusschen	gem.	wisselend tusschen	gem.	wisselend tusschen	gem.	wisselend tusschen	gem.	wisselend tusschen	gem.	wisselend tusschen	gem.	wisselend tusschen	gem.	wisselend tusschen	gem.	wisselend tusschen	gem.	wisselend tusschen	gem.	wisselend tusschen	gem.	wisselend tusschen	gem.	
23	24—24	24.0	23.5—25.5	24.5	27—35	29	23.5—25	23.5	38—40	39	31—39	39	41—47	44	35—36	35.5	48.5—52.5	49.5	47—51	49.5	48—57	52.0	44—49	46.0	
1	16.0—16.5	16.0	15.5—20	16.0	18—26	22	15—17	15.0	31.5—32.5	32	30—34.5	32	33—40	36	21—27	27	38.5—42	39	39—42	39.5	43—47.5	45	32.5—36	33	15
10	17—18.5	17.5	17—19	17.5	17—28	19	14.5—16	14.5	30.5—31.5	31	31—32.5	31.5	30—40.5	34	25—28	26	39.5—42	40	40—42.5	41	40—47.5	42.5	36—37	36	
17	19.5—20	20.0	19—22	20.0	21—30	24	17—19	18.0	34.5—36	35	33—38	35	34—45	39	27.5—30	29	46—48	47	46.5—48	47	47—59	52.5	36—38	37	
19	23—24	23	23—24	23.5	26—28.5	27.0	22—23	22.5	37—38	37.5	37—38	37.5	39—45	40.5	35—35.5	35	47—50	48	48—49	48.5	49—51.5	50	43—43	43	
5	14.5—17	15.0	14.5—16	15.0	18.5—22.5	20	15—18	16.0	29—30	29	28—29.5	29	28—35	30	24—26	25	34—39	35	35—40	36	35—43	38	31—32	31	21.2
12	17.5—19	17.5	16.5—19.5	18.0	20—23	21	16.5—17	16.5	28.5—29.5	29	26—30	28	30—34	33	26—27	26.5	31.5—41.5	38	37.5—42	38.5	40—42.5	41	37.5—38	38	
13	15—16	15.5	15.5—16	15.5	19.5—23.5	22	13.5—14	13.5	26.5—28	27	26—27	26	28—33	30	22—25	22	33—38	34	34—37	34.5	35—41	38.5	31.5—32.5	32	
15	16.5—18	17.0	17—17.5	17.0	20.5—26	22	14.5—15.5	15	29—29	29	29.5—30	29.5	30—34.5	32.5	26.5—27	27	42—45	43	43.5—44	43.5	44—52	48	38—38	38	
2	17—17.5	17.5	18.5—20	18.5	18.5—24	20	16—17	16	27.5—28	27.5	28—28	28	27—30.5	29	25.5—26	25.5	33—34.5	34	33—36	34	32—40	37	29—32	30	30
7	13.5—14	13.5	13.5—13.5	13.5	17—19	18	13.5—13.5	13.5	21.5—22	22	22—24.5	22	21.5—26	22	19—21	20	25—28	27	25—28	27	29—36	31	22—22	22	
11	11—20	12	11.5—14.5	13	17—30	21	11—14	12.5	19.5—20	19.5	19.5—19.5	19.5	20—23.5	22	17—17	17	23.5—25	24	24—26	24	27.5—30	29	21.5—22	22	
18	18.5—19	19	19—19.5	19	18—29	20	15—16	15.5	25—26	25.5	25—26	25.5	25—34.5	28	22.5—22.5	22.5	30.5—33	31	31—33	31.5	30—38	35	25—26.5	26	
4	11.5—18.5	12	12—13	12.5	15—18.5	16.5	12.5—13.5	13	19.5—20	19.5	19.5—20	19.5	20—29.5	23	17—17	17	21.5—26	27.5	22—26	23.5	24—27	26	19—20	19.5	37.8
9	12—12	12	12—12.5	12	13.5—15	14	11—11.5	11	16—17	16.5	17—18	17	18.5—26	21	15.5—17	16	20—23.5	21	19.5—23	21	23—28	25	16—17	16	
21	11—13.5	12	12—12	12	12.5—16.5	14	11—12	11.5	16.5—18	17	17—19.5	18	19.5—24	22.5	16.5—17	17	20.5—23	21.5	21—23.5	21.5	22.5—28	24	17—19	17.5	
22			niet in gebruik.								niet in gebruik.								niet in gebruik.						
3	10.5—10.5	10.5	11—11	11	13.5—18	14	11.5—12.5	12	14—14	14	14.5—14.5	14.5	14—21.5	16.5	12.5—12.5	12.5	16.5—18	17	17—21	18	18.5—20.5	19.5	17—17.5	17.5	47.4
8	11—11	11	11—12.5	12	13.5—15	14.5	10.5—11	11	13—13.5	13	12.5—14.5	13	17—18	17.5	13—14	13	17—18	17.5	18—18	18	19—20.5	20	15.5—15.5	15.5	
14	15.5—16	16	15.5—16.5	16	17—22	18	14.5—15	14.5	17—17.5	17.5	17.5—18	17.5	19—21.5	20	15.5—15.5	15.5	19.5—21	20	20—20.5	20	21—25	23	18—18.5	18.5	

*) r = afstand van middelpunt drukcel tot verticaal door drukmiddelpunt.

N. B. De metingen bij resp. 4, 90, 440 en 4 mA. zijn voor iedere cel onmiddellijk na elkaar gedaan.

Voor druklijnen en bodemreacties zie fig. 7.

Situatie der cellen in hoofdzaak als in fig. 5.

min. stroomsterkte van ca. 40 mA. De in tabel 3 gegeven cijfers zijn gemiddelden uit 8—10 waarnemingsresultaten; tevens zijn de grenzen gegeven, binnen welke deze waarnemingen voor iedere cel bij bepaalde stroomsterkte wisselen. Het blijkt, dat bij een stroomsterkte van 440 mA. de waarnemingen voor elke cel veel minder constante waarden opleveren dan bij kleinere stroomsterkte en voorts, dat de gemiddelde inwendige druk in de cel, noodig voor het verbreken van het contact, onder overigens gelijke omstandigheden bij 440 mA. stroomsterkte hoger is dan bij stroomsterkten van 4 of 90 mA. Deze laatste stroomsterkten leveren in beide opzichten onderling vrijwel gelijkwaardige resultaten.

Te voren is er reeds op gewezen, dat (naar alle waarschijnlijkheid) de bij de hoogere stroomsterkte voor het verbreken van het contact in de cel noodige grotere gasdruk gepaard gaat met een grotere rijzing van het deksel. Dit vindt nadere bevestiging in de cijfers der onderwerpelijke tabel 3. Voor elke uitwendige belasting zijn daarbij onmiddellijk na de meting met 440 mA. (kolom 3) weer metingen gedaan met 4 mA., waarbij uitkomsten verkregen zijn (kolom 4) lager dan die der eerste meting met 4 mA. (kolom 1). Dit feit is te verklaren, indien aangenomen wordt, dat bij de stroomsterkte van 440 mA. door de daarbij noodige grotere rijzing van het celdeksel een zich slechts langzaam herstellende (grootere) vormverandering van het zandlichaam is opgetreden, waardoor het celdeksel voor korten tijd gedeeltelijk ontlast wordt. In dit geval moet de onmiddellijk volgende meting bij 4 mA. (kolom 4) lagere waarden opleveren dan de voorafgegane (kolom 1). In het vorenstaande wordt gesproken van een „zich langzaam herstellende (grootere) vormverandering” daar geconstateerd is kunnen worden, dat de bedoelde lage resultaten bij meting met 4 mA. niet blijvend verkregen kunnen worden, doch slechts bij het onmiddellijk uitvoeren der meting met 4 mA. na die bij 440 mA. Na een tijdsverloop van ca. 15 min. zijn

steeds weder de oorspronkelijke cijfers der 4 mA.-meting verkregen.

Ten slotte zij medegedeeld, dat bij de berekening van de druklijnen en bodemreacties, beantwoordende aan de aangebrachte uitwendige belasting, slechts geringe onderlinge afwijkingen voorkomen bij het hiervoor bezigen van meetresultaten, afkomstig van verschillende stroomsterkten. Dit komt overeen met het voorheen op blz. 14 reeds opgemerkte over de juistheid bij het bepalen der meerbedoelde grondreacties. Ook hier wordt het verschil van twee metingen genomen, zoodat de bij een bepaalde sterkte van den electrischen stroom behorende fout (grootendeels) wordt geëlimineerd.

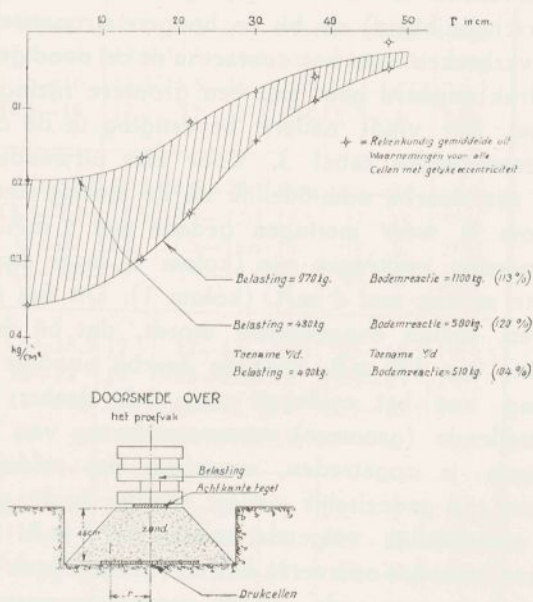


Fig. 7

De in fig. 7 gegeven druklijnen zijn die, overeenkomende met de waarnemingen bij 4 mA. in tabel 3, en zijn verkregen op de wijze als bij tabel 2 en fig. 6 beschreven. De waarnemingscijfers voor stroomsterkten

van 90 en 440 mA. gaven zooals reeds medegedeeld, ongeveer gelijke resultaten. Opmerkelijk is, dat de toename der (berekende) bodemreactie (geharceerde deel in de figuur) ongeveer gelijk is aan (juister 104 % van) de toename der uitwendige belasting, terwijl de absolute waarden der bodemreacties zelf 113—120 % der uitwendige belasting bedragen. De fout schuilt klaarblijkelijk in de meting onder onbelast zandlichaam. Bij hogere uitwendige belastingen, zooals die bij de eigenlijke proeven zullen aangebracht worden, zal de invloed van deze fout op het eindresultaat zonder twijfel van nog geringer beteekenis zijn als in het onderhavige geval, waarin de verhouding van de grootte der uitwendige belasting (480—970 kg.) tot de grootte van het in rekening te brengen zandgewicht (ca. 600 kg.) zeer ongunstig is.

Omtrent de oorzaak der hierboven beschreven verschillen bij metingen met verschillende stroomsterkten kan thans nog geen verklaring worden gegeven.

Conclusies

Afgaande op de reeds bereikte resultaten mag het waarschijnlijk worden geacht, dat een voldoende nauwkeurige bepaling van de drukoverbrenging door steenslaglagen mogelijk zal zijn. De cellen zullen daartoe niet onmiddellijk onder den onderkant van de steenslaglaag moeten aangebracht worden. Voor een gelijkmatige overdracht van den plaatselijken druk in de steenslaglaag op het celdeksel zal de tusschenvoeging van een dunne zandlaag gewenscht zijn. Voor een nauwkeurige bepaling van het verloop der druklijnen, speciaal in het gebied verticaal onder den last, zal waarschijnlijk de aan te brengen belasting tusschen verschillende waarnemingen over een kleinen afstand verschoven dienen te worden. In verband met de uitwendige afmeting der cellen, kunnen n.l. bij een op één plaats werkende belasting de ordinaten der druklijn slechts op afstanden van min. 15 cm. verkregen worden, hetgeen vooral bij dunne lagen of hooge

belastingen, d.i. bij steil verloop van de druklijn, niet steeds voldoende zal zijn. Onder zulke omstandigheden zal de nauwkeurigheid der metingen voor een groot deel afhankelijk zijn van het juiste aanbrengen der belasting, i.c. het zuiver verticaal en op de goede plaats stellen van den drukcylinder.

De nauwkeurigheid, welke bij eenmalige meting onder een bepaalde belasting zal bereikt worden, mag niet te hoog aangeslagen worden. Wel is tot nu toe gebleken, dat de uit dergelijke metingen berekende bodem-tegendrukken niet meer dan ca. 10% afwijken van het bedrag der aangebrachte belasting, hetgeen bevredigend genoemd mag worden, maar in het verloop der bijbehorende druklijnen zijn, vooral in het centrale steile gedeelte, vrij belangrijke onderlinge afwijkingen te constateeren. Een groot aantal metingen bij constante belasting zal derhalve noodzakelijk zijn om door middeling tot een betrouwbaar resultaat te komen.

De verspreiding van den druk, uitgeoefend door een in één richting cirkelvormig gebogen stempel, zooals hier toegepast (gedeelte van een vrachtauto-band), zal waarschijnlijk vooral bij hoogere belastingen in alle richtingen lang niet gelijk zijn. Waar alsdan de drukfiguur niet meer een omwentelingslichaam is, wordt de berekening van de bodemreactie en daarmee het controleeren van de juistheid der meting iets bezwaarlijker. Onder zulke omstandigheden lijkt het te meer gewenscht, door een groot aantal waarnemingen meerdere directe zekerheid te verkrijgen.

et
al
el
y,
n

r
e

,

t

d

-

e

-

e

-

e

-

n

3

e

e

-

t

-

t

-

t

-

t

-

t

-

t

-

t

-

t

-

t

-

t

-

