

1951

45

Ontwikkeling van de Consistentiemeting van Klei

met beschrijving van een nieuw continu meetapparaat

door

Dr M. J. SINGER

De cijfers tussen () in de tekst verwijzen naar de literatuuropgave aan het slot.

§ 1. Opgave

Uit praktische ervaringen is gebleken, dat aan de juiste consistentie van de klei als maatstaf voor de verwerkbaarheid voor verschillende toepassingen grote betekenis moet worden toegekend. Doch bij gebrek aan geschikte methoden voor objectieve bepaling van de consistentie van klei, in het bijzonder in de grofkeramische (baksteen- en dakpannen-) industrie, geschiedt de instelling van de gewenste consistentie hoofdzakelijk op het gevoel. En aangezien de consistentie van de klei niet alleen een grote rol speelt in de problemen, die bij het vormen van stenen optreden, maar misschien ook te correleren is met het drooggedrag van vormlingen, trok het objectief en zo mogelijk continu meten van de consistentie van de met water aangemaakte en voorbewerkte klei, o.a. voor het technische steenbedrijf, de volle aandacht van het Keramisch Instituut T.N.O.

Nu wordt de in Nederland in de steenindustrie overwegend gebruikte kleisoort, de rivierklei, in verband met de technische werkwijze bij een consistentie verwerkt, die bij de grens ligt tussen plastische en viskeuse toestand. Bovendien wordt de consistentie van de rivierklei in vele gevallen reeds door enkele tiende-procenten verschil in aanmaakwater sterk veranderd, zodat de marge van de goed verwerkbare consistentie zeer gering is.

Uit de aard der zaak is de consistentie niet alleen afhankelijk van de hoeveelheid aanmaakwater, maar ook van duur en intensiteit van de mechanische voorbewerking, die in hoofdzaak een homogene verdeling van het water als plasticiserend middel in de kleimassa ten doel heeft. Het watergehalte van de kleigrond bij het uitgraven is onder invloed van meteorologische factoren verschillend en de verdeling van het water in de kleilagen is heterogeen. Ten gevolge van deze verschillen in watergehalte loopt de consistentie van de verschillende kleilagen ook uiteen. Het homogeniseren van de klei, zowel wat de granulaire en chemische samenstelling

als wat de waterverdeling betreft, is derhalve van buitengewoon groot belang.

In de meeste gevallen is het in de grond aanwezige water voor de vereiste consistentie, resp. voor de goede verwerkbaarheid van de gemengde klei onvoldoende, zodat vóór of meestal onder het mengen nog aanmaakwater toegevoegd moet worden. Het komt echter ook voor, dat de grond reeds te veel water bevat, zodat droge klei of andere stoffen, die het opstijven van de klei bevorderen, toegevoegd moeten worden.

Zoals reeds opgemerkt, geschiedt practisch overal in de grofkeramische industrie de toevoeging van aanmaakwater op het gevoel. De arbeiders, die de pers bedienen, merken aan de werking van de pers (in Nederland meestal de machinale vormbakpers) en aan moeilijkheden en deformaties bij het lossen (het ledigen van de vormbakken), dat de consistentie niet aan de eisen voldoet, en deze wordt dienovereenkomstig bijgeregeld door op een meestal primitieve manier de toevoeging van het aanmaakwater te veranderen.

Ook als het lossen van de stenen niet gemechaniseerd is, kunnen soms belangrijke bedrijfsstoringen optreden, voordat de juiste werkeconsistentie weer gevonden is. Nog groter wordt het probleem in die bedrijven, waar de stenen in dubbele dikte gevormd en automatisch op een lopende band met een snijdraad horizontaal doorgesneden worden: reeds bij de kleinste afwijkingen van de optimale consistentie der vormlingen treden bij het automatisch afsnijden deformaties op.

De moeilijkheden in deze bedrijven hebben het Instituut de eerste impuls gegeven om de constructie en de ontwikkeling van een gevoelige, continu en objectief werkende consistentiemeting als belangrijk onderwerp van onderzoek ter hand te nemen. Hierbij werd tevens als doel gesteld, de constructie van de consistentiemeter zó te kiezen, dat behalve het meten een automatische regeling van de watertoevoer werkstelligd kan worden.

§ 2. Uitgangspunten

De *bewerkbaarheid* van keramische massa's (kleigrond) — de geschiktheid van een kleiwatermengsel om met de bestaande technische installaties verwerkt te worden tot metselsteen- of straatsteenvormlingen — is op zichzelf geen meetbare eigenschap. Zij is nl. uit verschillende factoren samengesteld, waarvan als de vijf voornaamste te beschouwen zijn:

1. de grootte van deformatie per tijdseenheid, die de massa kan verdragen zonder te scheuren;
2. de weerstand van de massa tegen deformatie tijdens de inwerking van een kracht;
3. de eigenschap van een gegeven vorm om na het oplhouden van de deformerende krachten zijn afmetingen te behouden;
4. de vastheidseigenschappen van de vormlingen in gedroogde toestand;
5. het bindend vermogen van de bindende substantie in de gedroogde vormling.

In de steenindustrie hebben deze factoren de volgende betekenis.

1. De samenhang, de cohesie van de kleimassa moet zodanig zijn, dat bij de vrij snelle en ruwe vulling van de vormbakken door middel van persdruk de samenhang bewaard blijft. Het is een bekend feit en een zeer belangrijk probleem in de techniek dat, indien door opheffing van de cohesie in de kleimassa bij de vorming in de natte klei scheuren ontstaan en deze bij het persen dichtgesmeerd worden, deze natte scheuren bij het drogen als droogscheuren weer tevoorschijn komen. In de praktijk is ook te constateren dat op fabrieken, waar men dubbeldikke stenen doorsnijdt, de separatie van de twee helften pas na het drogen mogelijk is. Aangezien in de Nederlandse steenindustrie overwegend met geringe persdruk gevormd wordt en toch grote deformatie voor het vullen van de vormbakken vereist wordt, is het noodzakelijk dat de kleimassa erg slap is, grote cohesie bezit en nagenoeg viskeuse eigenschappen heeft.
2. Dit punt is in zoverre belangrijk, dat (zoals gezegd) de gebruikelijke vormmachines in de Nederlandse steenindustrie met betrekkelijk kleine persdruk werken, terwijl toch de wens moet gelden, dat de vormling bij het afslaan uit de vormbak ondanks tamelijk sterke mechanische invloeden (vooral bij geautomatiseerde persen) zijn oorspronkelijke vorm, verkregen in de vormbak, moet behouden en dat de vormling ook na lossing op de droogplanken onder het eigen gewicht niet mag deformeren.

3. Deze factor spreekt praktisch vanzelf, omdat een belangrijk criterium van de plastische toestand van de kleimassa resp. van de vormling moet zijn, dat deze onder het vormen niet mag wegvloeien, noch elastisch terugveren na opheffing van de persdruk.

Ook de onder 4 en 5 genoemde factoren spreken voor zichzelf, aangezien de gedroogde vormling van de droogplanken ook op andere transportmiddelen overgeladen en in de oven gezet moet worden, dus een vrij ruwe behandeling ondergaat en deze zonder beschadiging (afbrokkelen of breuk) moet doorstaan. Hiervoor moet de fijne kleisubstantie, die als kitstof voor het binden van de korrels moet dienen, in de kleimassa voor de vorming homogeen verdeeld zijn.

In het licht van het bovenstaande zal het duidelijk zijn, dat bij de meeste kleisoorten b.v. het drooggedrag minstens evenzeer afhankelijk zal zijn van de genoemde factoren, die de verwerkbaarheid bepalen en in de consistentie objectief en subjectief tot uitdrukking komen, als van de natuurlijke eigenschappen van de klei, zoals zijn granulaire en chemische samenstelling. En het spreekt vanzelf, dat bovenvermelde overwegingen in wezen eveneens gelden voor de steenindustrie, waar het vormen van de klei geschiedt met de strengpers, en voor de dakpannenindustrie.

Tenminste vijf factoren omvatten, zoals gezegd, het begrip technische verwerkbaarheid. Daarentegen vormen de eerste drie factoren de begrippen plasticiteit, resp. consistentie.

Onder het rheologische begrip *plasticiteit* verstaat men de eigenschap van een materiaal om continu, permanent, zonder breuk gedeformeerd te worden, en wel door een kracht, die groter is dan de zwichspanning (yield value). Nu staat de wetenschappelijke bestudering van de plasticiteit van klei nog in de kinderschoenen en het staat zelfs nog niet met wetenschappelijke zekerheid vast, dat klei volgens bovenstaande definitie als „plastisch” te beschouwen is. Zeker is, dat klei zich niet gedraagt als een ideaal plastisch lichaam. Het wordt een kwestie van terminologie en definitie, hoe men dan de eigenschap van de kneedbaarheid zal benoemen.

In de rheologie in het algemeen bestudeert men de relatie tussen schuifspanning, afschuiving en tijd. De meetapparatuur hiervoor moet zó geconstrueerd worden, dat hierin het materiaal (i.e. klei) onderworpen wordt aan een nauwkeurig bekende schuifspanning zonder neveneffecten, terwijl een homogene afschuiving ontstaat zonder slip langs de wanden van de apparatuur. Daarbij moet een grote temperatuur- en tijdvariatie mogelijk zijn. Geen van de tot nu

toe gepubliceerde werkwijzen en apparaten voor het meten van de kleiplasticiteit voldoet aan al deze voorwaarden. Uit de aard der zaak is het wel mogelijk, met deze apparaten en werkwijzen reproduceerbare resultaten te verkrijgen, maar een rheologische interpretatie hiervan in wetenschappelijke zin is niet mogelijk. In de praktijk kan men daarom beter spreken van bepaling van de *consistentie* van klei en niet van de plasticiteit hiervan, waarbij onder consistentie verstaan wordt een relatieve maat voor de „plasticiteit”, die gebonden is aan een speciale apparatuur en aan bepaalde afmetingen van het monster.

Een apparaat voor meting van de consistentie moet aan de volgende eisen voldoen:

- a. meting en afleesbaarheid moeten continu zijn, direct en snel kunnen geschieden en de te verwerken klei moet zich als het ware stromend door het meettoestel bewegen;
- b. de apparatuur moet geschikt zijn voor het technische bedrijf;
- c. het toestel mag door onzuiverheden in de klei (als wortels, stukken steen of hout) niet onklaar gemaakt worden;
- d. het toestel moet in het consistentietraject, dat op de grens ligt tussen plastisch en viskeus, even gevoelig zijn als in het uitgesproken plastische traject.

*

§ 3. Bestaande methoden

Een van de oudste methoden ter bepaling van de oneigenlijke plasticiteit is die van Atterberg (1). Hij bepaalt van een kleisoort het watergehalte bij verschillende fysische toestanden, genaamd vloeigrens, kleefgrens, uitrolgrens en omslagpunt; het verschil in watergehalte tussen vloeigrens en uitrolgrens noemt hij plasticiteitsindex. Riecke (1) meent, dat al deze toestanden voor de keramiek niet van belang zijn, en voert in: aanmaakwater (\approx Atterbergse kleefgrens) en uitrolgrens. Er zij op gewezen, dat de plasticiteitsindex niets te maken heeft met het rheologische begrip plasticiteit (consistentie).

Bingham (2) heeft voor het eerst de ware plasticiteit van klei gemeten door stroming van geconcentreerde kleisuspensies door capillairen. Van hem zijn de begrippen „ideaal plastisch lichaam”, „yield value” (zwichtspanning) en „mobility” afkomstig.

Een maat voor de consistentie van klei kan ook verkregen worden door uitoefening van trek-, druk- of torsiespanning, of van een meer of minder bekende combinatie hiervan, op een vormling. De verkregen resultaten zijn sterk af-

hankelijk van de uitvoeringssnelheid van de bepaling. De elongatie van een kleicylinder bij toenemende trekspanning en de kracht, nodig voor het breken, is het eerst bepaald door Zschokke (3). Deze werkwijze is wat apparatuur betreft verbeterd door Rosenow (4) en Caffyn (5).

Samendrukking van kleicylinders is het eerst uitgevoerd door Grout (6). Hij mat de weerstand tegen deformatie (de kracht, die een cylinder 5 cm hoog en 2 cm in diameter 10 % samendrukt) en de deformatie bij breuk (het hoogteverschil, wanneer scheuring onder 45° optreedt). Het product van beide factoren wordt beschouwd als maat voor de consistentie en vertoont voor verschillende watergehalten een maximum, dat echter niet samenvalt met de gevoeligmatig bepaalde guastigste consistentie.

Wat de apparatuur betreft, is deze methode verder ontwikkeld tot de „parallel plate”-plastometer, waarmede verdienstelijk werk aan klei is verricht door Van Nieuwenburg (7). Zijn opzet om de ware plasticiteit te meten is mislukt door optredende slip. Onafhankelijk werkte Roller (8) met een dergelijk apparaat.

Tot dezelfde groep behoort ook de consistentiemeting volgens Pfefferkorn (9), waarbij aan de klei een impuls van genormaliseerde grootte wordt gegeven door een stempel van een bepaald gewicht van een bepaalde hoogte te laten vallen op een cylindertje van gegeven afmetingen. De procentuele deformatie is dan een maat voor de consistentie.

Schuricht (10) maakte gebruik van hetzelfde apparaat, waarmede de vloeigrens van cement (11) bepaald wordt, berustend op het een bepaald aantal malen laten vallen van een tafel van gegeven gewicht, waarop een afgeknotte kegel klei over een te meten afstand uitzakt.

Een bepaalde schuifspanning kan ook op klei uitgeoefend worden door tordering. De eerste metingen van deze aard aan klei werden uitgevoerd door Talwalker en Parmelee (12), waarbij op een speciale vormling, bestaande uit een cylinder met uiteinden van vierkante doorsnede, in een eenvoudig apparaatje een bekend torsiemoment wordt uitgeoefend.

Verbeterde apparaten voor dit soort metingen werden gepubliceerd door Wilson (13), Norton (14), Graham-Sullivan (15) en Dettaille (16). Hierbij wordt bepaald het verband tussen de draaiingshoek en het uitgeoefende torsiemoment, benevens de hoek, waarbij de eerste scheuring ontstaat. De kleiconsistentie wordt uitgedrukt in de zwichtspanning en de verwerkbaarheid ($=$ product van kracht en deformatie op het punt, waarop de eerste scheur zichtbaar wordt).

Tot de werkwijzen, waarbij op de klei een nauwelijks te definiëren spanning wordt uitgeoefend, behoort die van Hyslop (17). Hij bepaalt:

- 1°. de rekbaarheid E = de mate, waarin de klei gedeformeerd kan worden, voordat scheuren optreden;
- 2°. de zachtheid S = de gemakkelijkerheid, waarmee de klei gekneed kan worden.

De consistentie wordt bepaald uit een E - S -grafiek: $E = k.S^n$. Het apparaat bestaat uit een cylinder (inwendige diameter 4 cm, hoogte 2 cm, bodem open, gat van 2 cm in het bovenvlak), die wordt gevuld met klei en vlak afgestroken. De cylinder wordt op een metalen grondvlak geschroefd, waarin door een gat een zuiger van 3 mm diameter kan bewegen. Deze zuiger kan belast worden en de beweging 10 maal vergroot, zodat de indrukking bij een bepaalde belasting gemeten kan worden. Het bovenvlak wordt gerekt en bij een zekere indrukking ontstaan scheuren; deze indrukking is een maat voor E . Belasting ca 80 g.

In analogie met de voor metalen toegepaste Brinell-hardheid drukt Whittemore (18) een stalen halve bol met gegeven kracht in een kleioppervlak en meet de indringdiepte in afhankelijkheid van de tijd. De ontstane functie kan beschreven worden door een eenvoudige n -de machtsvergelijking, waarbij aan de exponent n de betekenis van een plasticiteitsindex wordt toegekend.

Andere penetratie-methoden vormen het Vicat-apparaat, in hoofdzaak in gebruik voor cement en gipsonderzoek, waarbij een naald van bepaalde afmetingen in de plastische massa wordt gedreven, en het conus-apparaat van Keverling Buisman (19), geregeld in gebruik bij het Laboratorium voor Grondmechanica, waarbij een kegel met tophoek van 90° in de klei wordt gedreven door een bekende kracht. Tot dezelfde groep behoren ook de "Gareis-Endell body tester" van Endell, Fendius en Hofmann (20), en het toestel van Henry en Siefert (21), waarmee de krachten op klei tijdens de vormgeving op een draaischijf meetbaar geïmiteerd kunnen worden.

Höppler (22) heeft een toestel ontwikkeld, waarin een kogel door het kleimonster, dat zich in een cylinder bevindt, valt met nauwkeurig bekende kracht, afhankelijk van het gewicht van de kogel en de helling van de cylinder. De snelheid, waarmee de kogel door de klei gaat, wordt als maat van de consistentie van de klei gemeten.

Ter bepaling van de consistentie voor de in de steenindustrie gebruikte kleisoorten zijn de volgende apparaten gebruikt.

De plastograaf van Köster-Brabander (23) werd gebruikt door Thiess (24), Rhodes (25) en op het laboratorium van het New York State College of Ceramics, Alfred University. De resultaten van de metingen zijn samengevat in een rapport "The plastograph measures the plastic properties of clays and ceramic bodies and the workability of Portland cement mortars" (niet gepubliceerd). Ofschoon deze methode voldoet aan de eis, gesteld sub a, heeft de toepassing verschillende nadelen, o.a. is de methode ongeschikt voor continue metingen en is de gevoeligheid onvoldoende voor meting van verschillen in het consistentietraject aan de grens tussen plasticiteit en viscositeit. Bij meting van de verwerkbaarheid (consistentie) van zeer slappe klei is de wrijving aan het roerwerk van het apparaat, en het hierdoor ontstane verschil van het vermogen van de electromotor, te gering om kleine verschillen in de consistentie van slappe klei te meten. Door verschil in wrijving (afschuiving τ) ontstaat, door verandering van het motorvermogen, een evenredige krachtsverandering op de aan de motor gekoppelde dynamometer E . De relatieve nauwkeurigheid van de meting zal dus zijn $\frac{\Delta E}{E}$. Indien echter bij slappe

klei de τ klein is, wordt de relatieve onnauwkeurigheid juist groter. Naarmate het apparaat voor het verkrijgen van een constante meetwaarde korter of langer moet draaien, ontstaan niet-reproduceerbare glijvlakken in de klei (structuur).

Ter bepaling van de consistentie van in de Amerikaanse industrie gebruikte kleisoorten is door Stull en Johnson (26) een soort drukmeter gebruikt. Dit toestel perst de klei, die zich in een cylinder bevindt, door een nauwe opening hiervan. Na de klei samengeperst te hebben, wacht men tot geen klei meer uit de opening vloeit en leest op de drukmeter de restdruk van de zuiger op dit moment af. Deze restdruk wordt beschouwd als relatieve maat voor de consistentie als maatstaf voor de verwerkbaarheid. Bij een bepaalde "soft mud"-klei wordt een druk gemeten van ca 20 lbs/in² (bij een "stiff mud"-klei 80 lbs/in²). Verschil van 1 % vochtgehalte geeft bij de "soft mud"-consistentie een verschil van ongeveer 4 lbs/in² en hetzelfde verschil in vocht bij de "stiff mud"-consistentie 22 lbs/in². Een van de nadelen van deze methode is, dat men een drukgradiënt bepaalt bij een uitstromingssnelheid van klei = 0, dus een soort "yield value" volgens Bingham. Deze "yield value" is echter afhankelijk van de tijd en wordt te groter, naarmate de vooraf uitgeoefende drukgradiënt groter was, zodat de reproduceerbaarheid bemoeilijkt wordt. Aange-

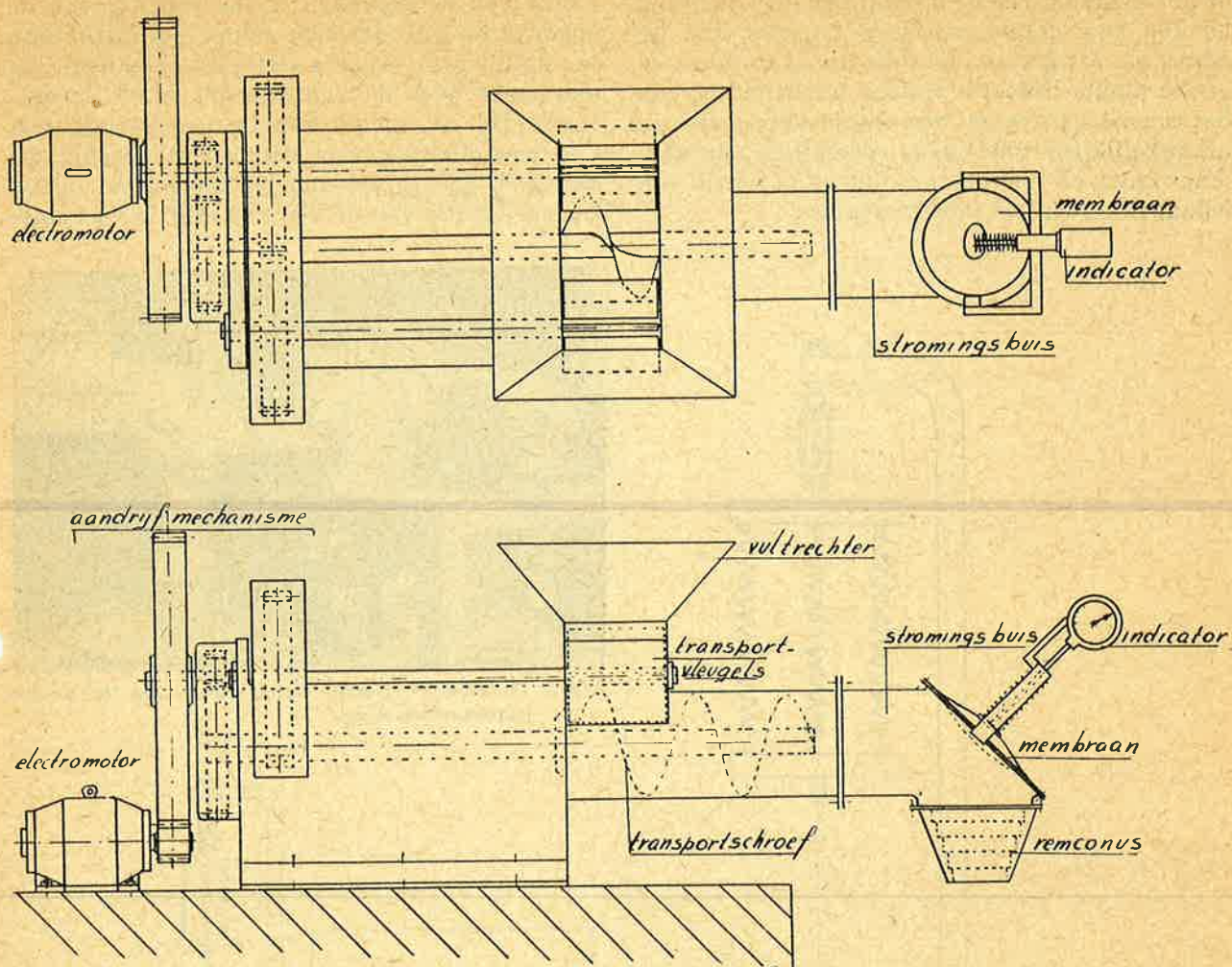


Fig. 1. Schema van het toestel voor technische consistentiemeting, ontwikkeld door het Keramisch Instituut T.N.O.

zien het doel van deze meting is, uit de "yield value" als maatstaf voor de consistentie de juiste toestand voor de technische verwerkbaarheid van de klei te bepalen, is de waarde van de metingen betrekkelijk. Immers moet voor een juiste beoordeling voor de industriële verwerkbaarheid van de kleimassa de stromingssnelheid onder het meten van dezelfde orde van grootte zijn als bij de praktische verwerking resp. vormgeving.

R. M. Berthier (27) gebruikt een kleikubus, die door trekken in de richting van een van de diagonalen vervormd wordt. Als maatstaf voor de plasticiteit wordt genomen: de hoek van deformatie in afhankelijkheid van de uitgeoefende trekkracht.

*

§ 4. Eigen methode

Rekening houdend met het in § 2 sub a t/m d gestelde voor de technische consistentiemeting ten behoeve van de grofkeramische industrie,

met name de steenindustrie, heeft het Keramisch Instituut T.N.O. de volgende apparatuur en meetmethode ontwikkeld volgens gegevens van steller dezes.

Het toestel bestaat uit een wormas die, met een constant toerental door een electromotor gedreven, een betrekkelijk grote hoeveelheid klei door een ruime buis met een stuwmond aan het uiteinde (om slip te voorkomen) laat stromen, waarbij de kleistroom continu is (fig. 1). Op de plaats, waar de kleistroom 90° van richting verandert, is een rubber membraan aangebracht, dat van buiten met een veer belast is. De kleistroom, die het membraan in een scherpe bocht passeert, oefent hierop, afhankelijk van de consistentie, drukken uit, die steeds groter zijn dan de veerbelasting op het membraan van buiten. De uitwijking van het membraan wordt geregistreerd door middel van een meetklokje, dat $1/100$ mm aangeeft. Aangezien de uitwijking van het membraan bij toenemende druk niet lineair is en de relatieve toeneming van de uitwijking bij kleine druk groter dan bij hoge druk, is

de gevoeligheid van de meting van de uitwijking bij klei van slappe consistentie groter dan bij stijve. En aangezien aan deze apparatuur in de eerste plaats behoefte bestaat ter bepaling van het consistentietraject van slappe kleisoorten in afhankelijkheid van kleine verschillen van aanmaakwater of verwerkingsduur, kan hierin een belangrijk voordeel gezien worden.

Een van de gebreken in de werking van de apparatuur was, dat zich achter het membraan een holte vormt waarin zich klei verzamelt, die niet meer door de hoofdstroom wordt meegevoerd. Bij het meten van de consistentie van klei van dezelfde orde van grootte brengt dit praktisch geen grote nadelen mede; wèl indien de consistentie van de klei van stijf in veel slap-

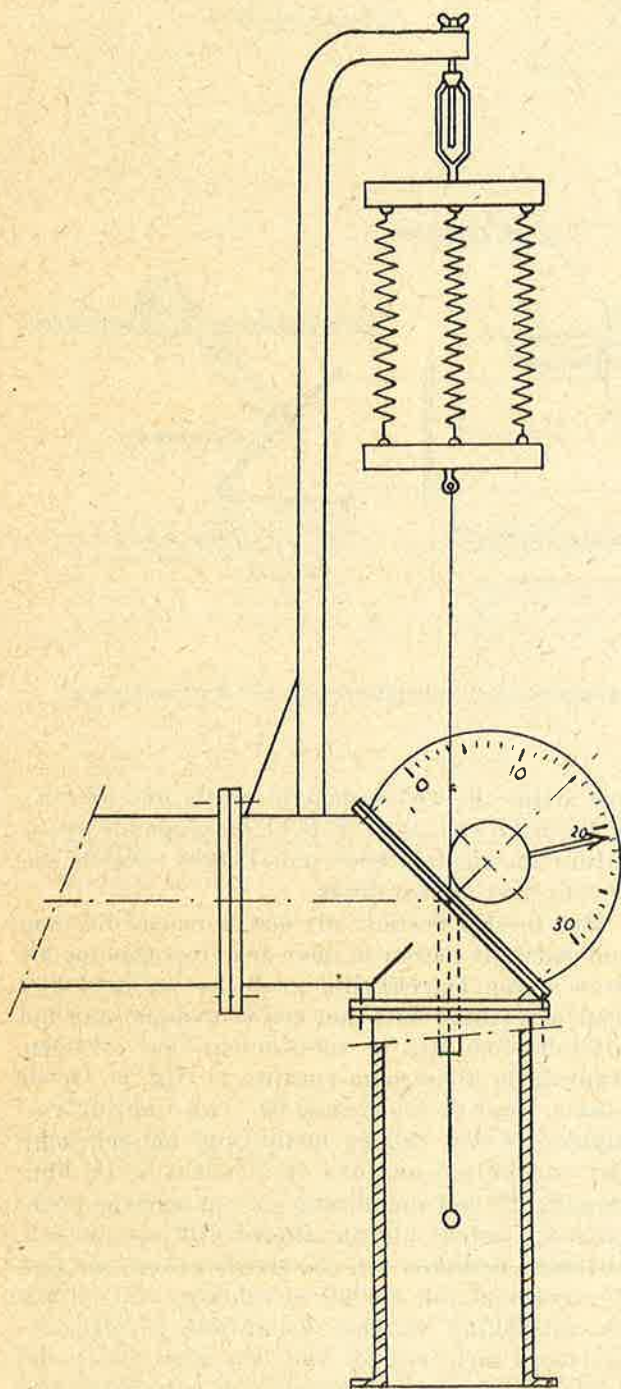
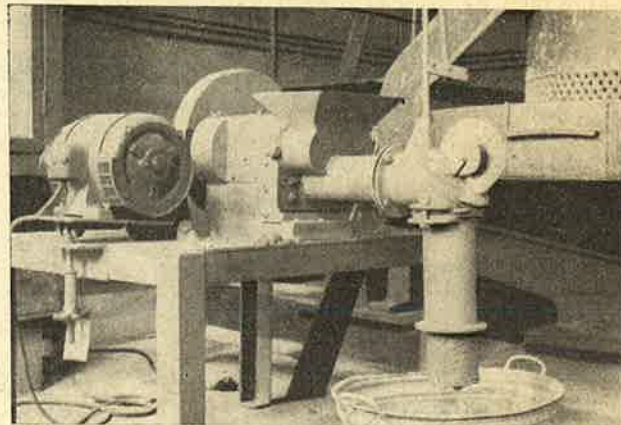


Fig. 2. Schema van het apparaat, ontwikkeld door R. R. Vierhout.



Afb. 3. De geïmproviseerde apparatuur voor technische consistentiemeting.

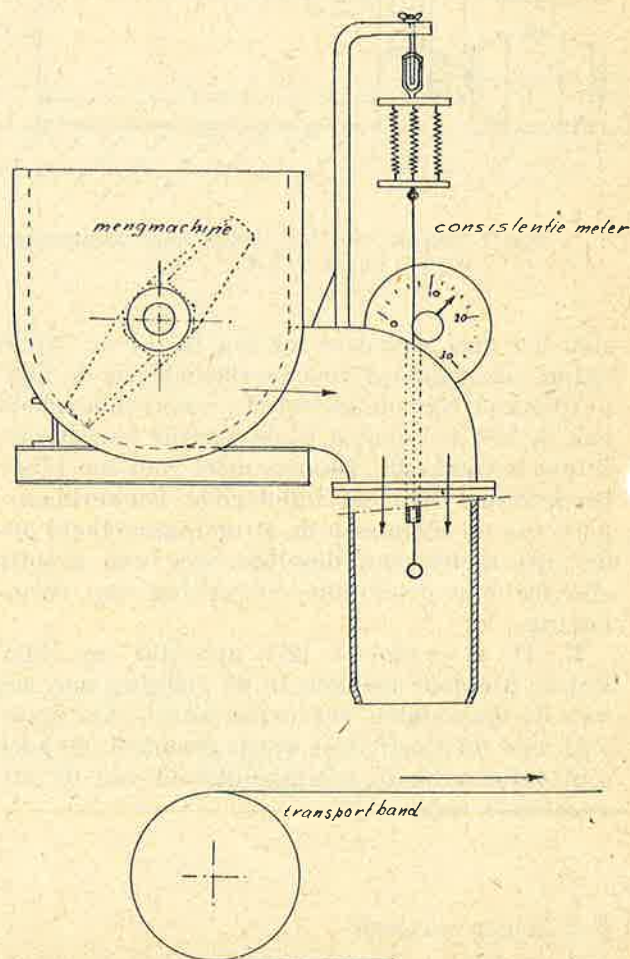


Fig. 4. Schema voor de opstelling van de kogelconsistentiemeter aan een voormaler.

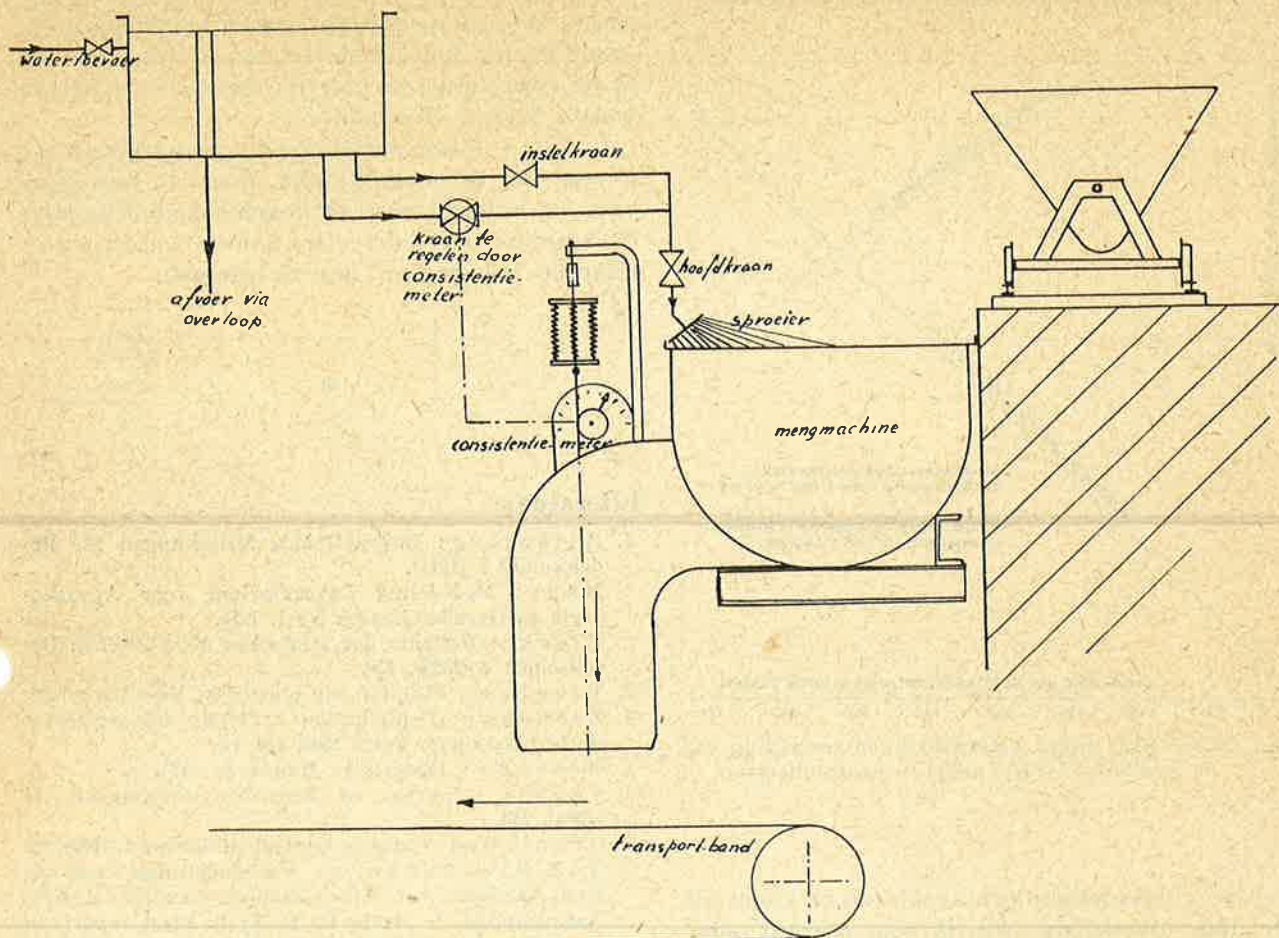


Fig. 5. Schema voor het aanbrengen van correcties op de watertoevoer naar de voormaler.

per verandert. In dit geval zal de achter het membraan achtergebleven stijve klei zonder bijzondere maatregelen van buiten door de veel slappere kleistroom niet meer weggevoerd worden. Om dit euvel te verhelpen werd overwogen, het apparaat te voorzien van een mechanisme, dat het membraan periodiek van buiten terugduwt, waardoor de achterblijvende klei door de stroom meegevoerd zou worden.

Een ander nadeel in de voorlopige uitvoering van het toestel was, dat het apparaat door het meten met een precisieklok niet zonder bezwaren voor een technisch bedrijf geschikt is. En het doel dat wij ons bovendien hadden gesteld, nl. met de meetinrichting (behalve het waarnemen van de verandering in de consistentie) de toevoeging van aanmaakwater of andere stoffen te regelen, was met de meetklok niet zonder meer te verwezenlijken.

Het is echter duidelijk, dat apparatuur en methode redelijk voldoen aan de in § 2 sub a t/m d gestelde eisen.

Aangezien wij ons ten doel gesteld hebben een apparaat te construeren, dat in het technische

bedrijf continu gebruikt zal kunnen worden, vooral in de Nederlandse steenindustrie, hebben wij, in plaats van de omschreven gebreken door speciale mechanische constructies te verhelpen, deze op andere wijze opgeheven en is door R. R. Vierhout van ons Instituut het apparaat ontwikkeld volgens fig. 2 (zie ook afb. 3).

Bij deze apparatuur en meetmethode is ook verder gebruik gemaakt, wat betreft de voortbeweging van de klei waarvan de consistentie continu gemeten zal worden, van de wormas (transportschroef, fig 1) en de ruime buis, echter zonder stuwmond waarin de kleistroom 90° van richting verandert.

In het verticale gedeelte van de stromingsbuis hangt een kogel van bepaalde grootte aan een draad, die via een dun buisje naar buiten gevoerd wordt. Hier wordt de draad om een rondsel geslagen en aan een veer bevestigd. Aan het rondsel is een wijzer bevestigd, die over een schaalverdeling loopt. De constructie is zo gekozen, dat 1, 2 of 3 veren van dezelfde veerkracht tegelijk aan de draad bevestigd kunnen worden. De klei oefent door haar benedenwaart-

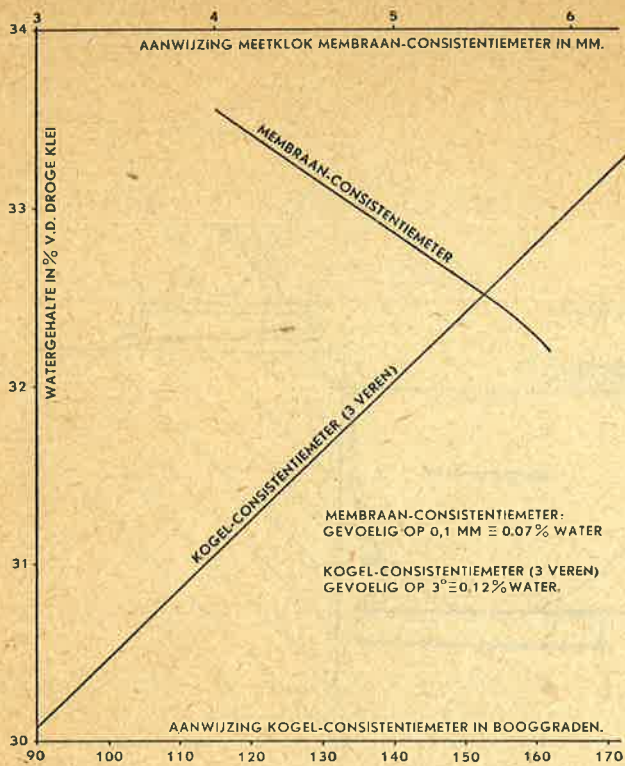


Fig. 6. Correlatie tussen watergehalte en aanwijzing van de membraan- (resp. kogel-) consistentiemeter.

se bewegingssnelheid een kracht op de kogel uit, die door uitrekking van de veer (veren) opgevangen wordt. Hierdoor draait het rondsel mede, totdat door uitrekking van de veer (veren) het evenwicht is bewerkstelligd. Gemeten wordt dus de kracht, die door een constante stromingssnelheid van de kleimassa op de kogel wordt uitgeoefend. Naarmate de klei stijver is, zal de kogel meer benedenwaarts medegenomen worden en de veer (veren) meer uitrekken.

Aangezien de metingen als relatief bedoeld zijn, kan de wijzer gekoppeld aan het rondsel op een willekeurige plaats van de schaal als nulpunt geplaatst worden.

In fig. 6 zijn de curven te zien, die de correlatie tussen de uitwijking van het membraan bij het membraanapparaat en de verplaatsing van de kogel en de bijbehorende consistentie aantonen. Voor de proeven, waarvan de metingen in fig. 6 opgenomen zijn, is rivierklei gekozen in een consistentiegebied, dat bij het vormbakprocedé practisch kan voorkomen.

Zoals uit het verloop van de gemeten consistentiewaarden is te zien, is de gevoeligheid van het membraanapparaat 0,07 % water en van het kogelapparaat 0,12 % water. De invloed van iets meer dan 1/10 % watertoevoeging op de consistentie (verwerkbaarheid) van de klei kan met het kogelapparaat continu gemeten worden en de watertoevoer kan worden bijgesteld.

In fig. 4 is een schematische voorstelling gegeven voor de opstelling van de kogelconsistentiemeter aan het einde van een kleimenger, die in de steenindustrie hier te lande veel gebruikt wordt, de z.g. "voormaler".

In fig. 5 is een schematische voorstelling gegeven van de mogelijkheid, door de beweging van het rondsel van de kogelconsistentiemeter overeenkomstige correcties aan de watertoevoer naar de "voormaler" aan te brengen.

*

Literatuur:

1. Atterberg: Internationale Mitteilungen für Bodenkunde 1 (1911).
Mohr: Mededeling Laboratorium voor Agrogeologie en Grondonderzoek Nr 1, 1915.
Riecke: Berichte der Deutschen Keramischen Gesellschaft 4 (1923), 176.
2. Bingham: Fluidity and plasticity, New York 1922.
3. Zschokke: Contribution à l'étude des argiles et de la céramique, Paris 1906, 234 vg.
4. Rosenow: Dissertatie Hannover 1911.
5. Caffyn: Journal of Scientific Instruments 21 (1944), 213.
6. Grout: West Virginia Geological Survey 3 (1905), 40.
7. Van Nieuwenburg: Verhandelingen van de Kon. Akademie van Wetenschappen Amsterdam, Afd. Natuurkunde, 1e sectie D1 15 Nr 3, First report on viscosity and plasticity, 1935.
8. Roller: Journal of Physical Chemistry 43 (1939), 457.
9. Pfefferkorn: Sprechsaal 57 (1924) Nr 25.
10. Schurecht: A critical study of the manufacture of soft mud building brick; July 1948, U.S.A. Department of Commerce, Industrial Research and Development Division (niet gepubliceerd).
11. A.S.T.M. Standards 1944, p. 474.
12. Talwalker en Parmelee: Journal of the American Ceramic Society 10 (1927), 670.
13. Wilson: J.A.C.S. 19 (1936), 115.
14. Norton: J.A.C.S. 21 (1938), 33.
15. Graham-Sullivan: Bulletin American Ceramic Society 18 (1939), 97.
16. Dettaille: Verres Silicates Ind. 13 (1948), 207.
17. Hyslop: Transactions of the Ceramic Society 35 (1935), 247.
18. Whittemore: J.A.C.S. 18 (1935), 352.
19. Keverling Buisman: Grondmechanica, Delft 1940.
20. Endell, Fendius, Hofmann: Berichte der Deutschen Keramischen Gesellschaft 15 (1934), 595.
21. Henry, Siefert: J.A.C.S. 24 (1941), 281.
22. Höppler: Oel und Kohle 37, 995 (1941).
23. Köster: Chemische Fabrik 9, 381 (1936).
24. Thiess: J.A.C.S. 22, 286 (1939).
25. Rhodes: Proceedings American Society for Testing Materials 38II, 551 (1938).
26. Stull and Johnson: Journal of Research National Bureau of Standards 22, 329 (1939).
27. Berthier: Extrait de la revue des matériaux de construction Nr 421 (Oct. 1950), Publication technique Nr 35, La mesure précise des déformations dans les essais à la compression.