

DE VERWARMING VAN KLEI MET STOOM  
(Overzicht Nederlandse onderzoekingen)

samengesteld  
door  
A.H. de Vries



postbus 342  
7300 AH apeldoorn

bezoekadres  
laan van westenenk 501

telex 36395 tnoap  
telefoon 055 - 77 33 44

Ref. nr. : 82-07145

Dossier nr.: 8725-40006

Datum : 26 mei 1982

Bestemd voor:

Intern gebruik Werkgroep Grofkeramiek

„Niets uit deze uitgave mag worden vermenigvuldigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotocopie, microfilm of op welke andere wijze dan ook, zonder voorafgaande toestemming van TNO.”

Indien dit rapport in opdracht werd uitgebracht, wordt voor de rechten en verplichtingen van opdrachtgever en opdrachtnemer verwezen naar de „Algemene Voorwaarden voor Onderzoeks- en Ontwikkelingsopdrachten aan TNO, 1979” dan wel de desbetreffende terzake tussen partijen gesloten overeenkomst.

## INHOUDSOPGAVE

	blz.
- Gegevens betreffende de verwarming van klei met stoom	2
- Stoomverbruik bij direkte verwarming van klei (diagram)	6
- Stoomverbruik en watergehalte-toeneming (diagram)	7
- Stoombewerking van klei (diagram)	8
- <u>Voordracht over het verwarmen van klei voor de vormgeving</u>	
. Het verwarmen van plastische klei voor het vormproces	9
. Praktische proeven met de verwarming van klei door stoom en evacueren van klei voor het vormbakproces	18
. Het rheologisch gedrag van twee rivierkleisoorten bij hogere temperaturen	27
. Over het gebruik van laboratoriummethoden bij de bepaling van de plasticiteit en de vastheid van klei	33
. Discussies	39
- Het kunstmatig drogen van vormlingen van gestoomde klei	47
- Invloed van stomen op de Nederlandse grofkeramiek kleien	51
- Enige aspecten van de warme verwerking van klei in verband met het kunstmatig drogen van grofkeramische produkten	54
- Temperaturen en drukken van verzadigde stoom (diagram)	63
- Evenwichtswatergehalte van Nederlandse kleisoorten bij verschillende relatieve vochtigheden van de lucht (diagram)	64

-----

Overdruk uit „Klei”, Mei 1955, nr 5.

# Gegevens betreffende de verwarming van klei met stoom

(Publicatie van het Keramisch Instituut T.N.O., Gouda)

## SAMENVATTING

*In dit artikel treft men een grafiek aan, waaruit men in individuele gevallen het stoomverbruik voor de verwarming van klei tot verschillende temperaturen kan aflezen.*

*Voorts wordt in een tabellarisch overzicht, geldend voor Nederlandse klei-soorten naast gegevens over het stoomverbruik per 1000 wj ook een raming gegeven van de kosten van de stoomproductie, terwijl enkele in aanmerking komende stoomaggregaten worden besproken.*

De resultaten van binnen- en buitenlandse onderzoekingen naar het effect van verwarming van de klei door middel van verzadigde stoom hebben de belangstelling van de grofkeramische industrie in Nederland. Het leek ons daarom mede naar aanleiding van een suggestie van de contactcommissie voor de baksteenindustrie nuttig een overzicht samen te stellen van een aantal gegevens, die in het bijzonder bij een kostencalculatie van de stoomopwekking ten behoeve van het verwarmen van klei van belang zijn. In dit artikel zullen wij uitsluitend de verwarming van klei met geïnjecteerde verzadigde stoom aan een beschouwing onderwerpen.

Verwarming van klei met geïnjecteerde stoom impliceert een bevochtiging van deze klei. Het zal daarom duidelijk zijn, dat men bij toepassing van het stomen in de praktijk over voldoende droge grond dient te beschikken.

Is het watergehalte, waarbij een klei juist de goede verwerkingsconsistentie bezit, bekend, dan kan men de hoeveelheid te injecteren stoom nodig voor het bereiken van een bepaalde gewenste temperatuurstijging berekenen en daarmee ligt dan tevens het maximum toelaatbare watergehalte van de onbewerkte klei vast.

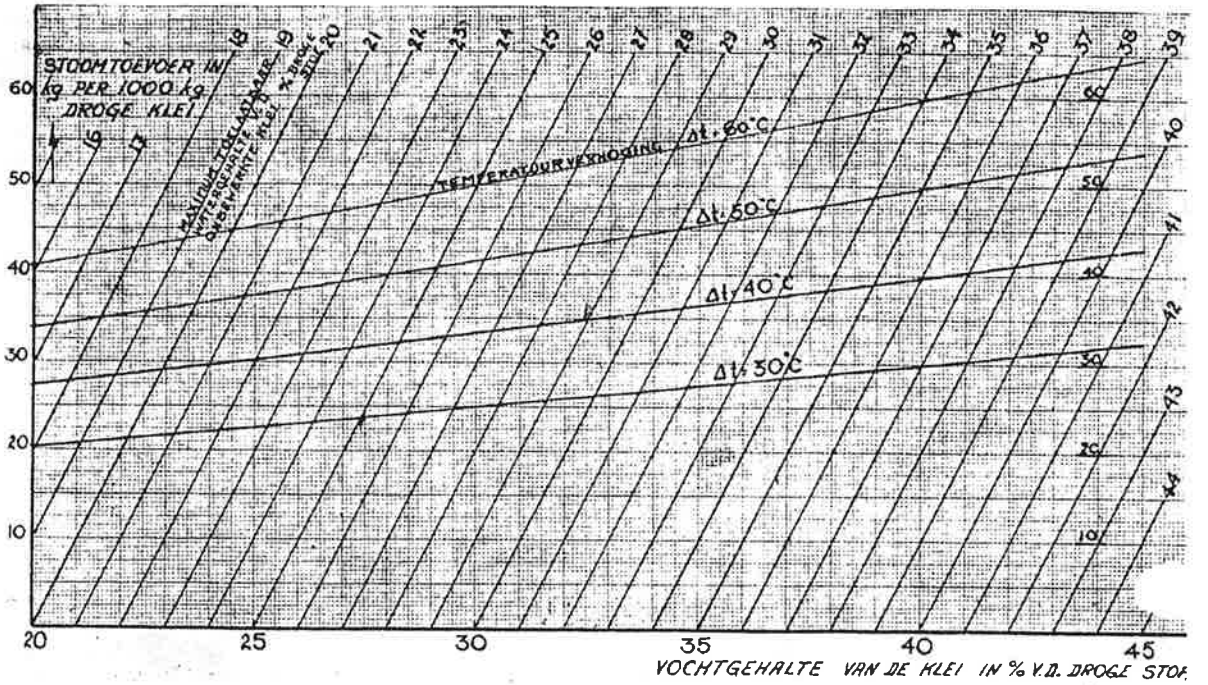
In figuur 1 werden de resultaten

van dergelijke berekeningen in grafiek gebracht, zodat hieruit nu direct de hoeveelheid stoom, nodig voor het bereiken van een bepaalde gewenste temperatuurverhoging en een bepaald gewenst watergehalte kan worden afgelezen. Tevens is in de grafiek het maximum toelaatbare watergehalte van de nog onbewerkte klei afleesbaar.

De grafiek is gebaseerd op de veronderstelling, dat de verwarming van de klei geschiedt met verzadigde stoom van 1,5 ata zonder stoom- en warmteverliezen. De soortelijke warmte van de droge klei werd op 0,23 gesteld, terwijl voor de temperatuur van de onbewerkte grond 10° C werd gekozen.

Het stoomverbruik werd op de verticale as uitgezet en uitgedrukt in kg verzadigde stoom per 1000 kg klei (droog gewogen). Op de horizontale as werd het watergehalte van de klei uitgezet in % (op de droge stof berekend).

Het gebruik van de grafiek is als volgt: Stel, dat een fabriek beschikt over klei, die in koude toestand bij een watergehalte van 32,5% (op droge stof berekend) dient te worden verwerkt. Het gewenste eindwatergehalte van de verwarmde klei zal dan eveneens 32,5% moeten bedragen, indien men althans de invloed van de



Figuur 1

temperatuur op het initiaalwatergehalte bij de vormgeving verwaarloost.

Uit een groot aantal praktijkmetingen bleek, dat dit voor dit soort calculaties bij verwarming tot 50 à 60° C is toegestaan. Wenst men nu bijvoorbeeld de klei tot een temperatuur van 50° C te verwarmen en is de aanvankelijke grondtemperatuur 10° C, dan bedraagt de gewenste temperatuurstijging 40° C. De bij de curve  $\Delta t = 40$  behorende ordinaat geeft dan een stoomtoevoer aan van 35 kg verzadigde stoom per 1000 kg droge klei. Indien waalformaatmetselsteen wordt vervaardigd, waarvan het gewicht van een geheel droge vormling 2 kg bedraagt, dan betekent dit een stoomverbruik van  $35 \times 2 = 70$  kg per 1000 w.f.

Zou de aanvankelijke grondtemperatuur 0° C in plaats van 10° C bedragen (b.v. in de winter), dan geeft de grafiek in dit geval voor het bereiken van een eindtemperatuur van 50° C een stoomverbruik van 43,5 kg stoom per 1000 kg droge klei aan of 87 kg stoom per 1000 w.f.

Bij een temperatuurstijging van 40° C, een stoomverbruik van 35 kg/

1000 kg droge klei en een eindwatergehalte van 32,5% dient het watergehalte van de onbewerkte klei 29% (op de droge stof berekend) te bedragen, hetgeen afleesbaar is langs de schuin-oplopende rechten in de grafiek. Dit watergehalte van 29% is tevens het maximum toelaatbare watergehalte om bij de gegeven stoomtoevoer nog het juiste eindwatergehalte op te leveren.

Is het watergehalte van de onbewerkte grond lager dan 29%, bijvoorbeeld 25%, dan dient 4% water (op de droge klei berekend) als koud water te worden gesuppleerd. Bij suppletie van warm water, dat niet door stoominjectie is verwarmd wijzigt het stoomverbruik zich enigszins.

De mogelijkheden en de wenselijkheid van een dergelijke extra warmwatersuppletie zijn vanzelfsprekend sterk afhankelijk van de hoeveelheid extra suppletiewater, die nodig is en van het feit of een geschikte warmtebron voor de verwarming van het water beschikbaar is.

Bij het begin van de bespreking van de grafiek is opgemerkt, dat geen rekening werd gehouden met mogelijk

TABEL I	Temperatuursverhoging 40° C.								Temperatuursverhoging 50° C.					
	Aanduiding product	Aanduiding klei	Leemgehalte < 10 μ %	Vereist initiaal watergehalte % droge stof	Stoomtoevoer per 1000 kg droge klei in kg	Stoomtoevoer per 1000 vormlingen in kg	Max. toelaatbaar watergehalte in % droge stof	Kosten stoomproductie per 1000 vormlingen f.	Stoomtoevoer per 1000 kg droge klei in kg	Stoomtoevoer per 1000 vormlingen in kg	Max toelaatbaar watergehalte in % droge stof	Kosten stoomproductie per 1000 vormlingen f.	Productie van vormlingen per uur.	Vereiste stoomproductie per uur in kg Δ t - 50° C
Vormbak-proces	w. f.	zeer	20	24	29,6	59	21	0,77	36,8	74	20,3	0,96	6000 wf	442
	w. f.	mager	35	33	35,2	70	29,5	0,91	43,8	88	28,6	1,14	6000 wf	526
	d. f.	↓	35	33	35,2	92	29,5	1,19	43,8	114	28,6	1,48	6000 df	684
	k. f.	↓	35	33	35,2	141	29,5	1,83	43,8	175	28,6	2,27	6000 kf	1051
	w. f.	vet	50	42	41,-	82	37,9	1,07	51,5	103	36,9	1,34	6000 wf	681
Strengpers-proces	w. f.	mager	30	20	27,2	54	17,3	0,71	33,9	68	16,6	0,88	6000 wf	407
	w. f.	↓	45	26	30,9	62	22,9	0,80	38,3	77	22,2	1,00	6000 wf	460
	w. f.	vet	60	32	34,5	69	28,6	0,90	43,-	86	27,7	1,12	6000 wf	516

optredende warmte- en stoomverliezen. Uit metingen op een straatsteenfabriek, waar stoom werd geïnjecteerd in een voormaler, bleek, dat deze verliezen in de voormaler zelf inderdaad bij globale calculaties te verwaarlozen zijn. De temperatuurverlaging van de klei als gevolg van de afkoeling tijdens het verdere transport van de kleimassa en tijdens het vormgevingsproces bleek bij deze metingen ca 2 à 3° C te bedragen.

Voorts leert een berekening, dat de grafiek voor globale vaststelling van het stoomverbruik ook geldig blijft bij andere stoomdrukken dan 1,5 ata en andere grondtemperaturen dan 10° C.

Tabel I geeft een overzicht van de nodige stoomhoeveelheden in kg stoom per 1000 kg klei (drooggewo- en) cq per 1000 vormlingen voor het bereiken van een temperatuurstijging van de klei van 40° respectievelijk 50° C voor verschillende Nederlandse kleisoorten bij het vormbak- en strengpersproces. Wij zien uit deze tabel, dat dit stoomverbruik voor het bereiken van een temperatuurstijging van 40° C varieert van ca 55 tot 80 kg stoom per 1000 w.f. en voor het bereiken van een temperatuurstijging van 50° C van ca 70 tot 100 kg stoom per 1000 w.f. Ook is in deze

tabel het initiaal watergehalte bij de vormgeving en het maximum toelaatbare watergehalte van de onbewerkte klei voor de verschillende gevallen weergegeven. In de laatste kolom van tabel I is de vereiste stoomproductie in kg/uur opgenomen bij een vormlingproductie van 6000 vormlingen per uur en een gewenste temperatuurverhoging van de klei van 50° C.

Deze cijfers bepalen onder de gegeven omstandigheden dus de vereiste capaciteit van het stoomaggregaat.

De stoom wordt bij de stoombewerking van de klei volledig verbruikt, zodat in het stoomaggregaat bij gebruik van niet onthard water ketelsteenafzetting zal optreden. Zonder de toepassing van een wateronthardingsinstallatie kan men dan ook voor dit doel geen waterpijpketels en andere ketelsteen-gevoelige apparaten voor de stoomopwekking gebruiken en is men aangewezen op een eenvoudig type ketel zoals bijvoorbeeld de Cornwallketel (één vuurgang). Dit keteltype is weinig gevoelig voor de hardheid van het voedingwater. De stoomproductie van dit type bedraagt voor een normaal ketelbedrijf 20 kg stoom per uur per m² V.O., zodat het vereiste V.O. van de ketel gevonden kan worden door deling van de gewenste uurproductie door 20. Dit be-

tekent bij een productie van 6000 w.f. per uur een ketel met een V.O. van 20 à 30 m<sup>2</sup> (laatste kolom tabel I).

Bij de Cornwall-ketel is een keuze mogelijk tussen handstoken en olie-stoken. Het verdampingscijfer over een geheel jaar, dus inclusief het extra brandstofverbruik bij afdekken en opstoken, kan men voor de Cornwall-ketel stellen op ca 7 kg stoom per kg steenkool à 7500 kcal/kg of ca 9,5 kg stoom per kg olie à 10.000 kcal/kg. Zo zal dus bijvoorbeeld bij een stoomverbruik van 70 kg per 1000 w.f. het gemiddeld brandstofverbruik (bij stoken met steenkool met een verbrandingswarmte van 7500 kcal/kg) ca 10 kg per 1000 w.f. bedragen.

Kiest men in plaats van een Cornwall-ketel bijvoorbeeld een Clayton-stoomgenerator, dan is een zeer goede eventueel volautomatisch uitgevoerde, wateronthardingsinstallatie noodzakelijk.

De bediening van een Clayton-stoomgenerator, die met olie wordt gestookt, is daarentegen eenvoudiger, terwijl de vereiste plaatsruimte gering is. Het verwarmingscijfer voor de Clayton-generator kan op ca 11 kg stoom per liter olie (10.000 kcal/kg) gesteld worden.

De stoomprijs is sterk afhankelijk van de brandstofsoort, die verstoekt

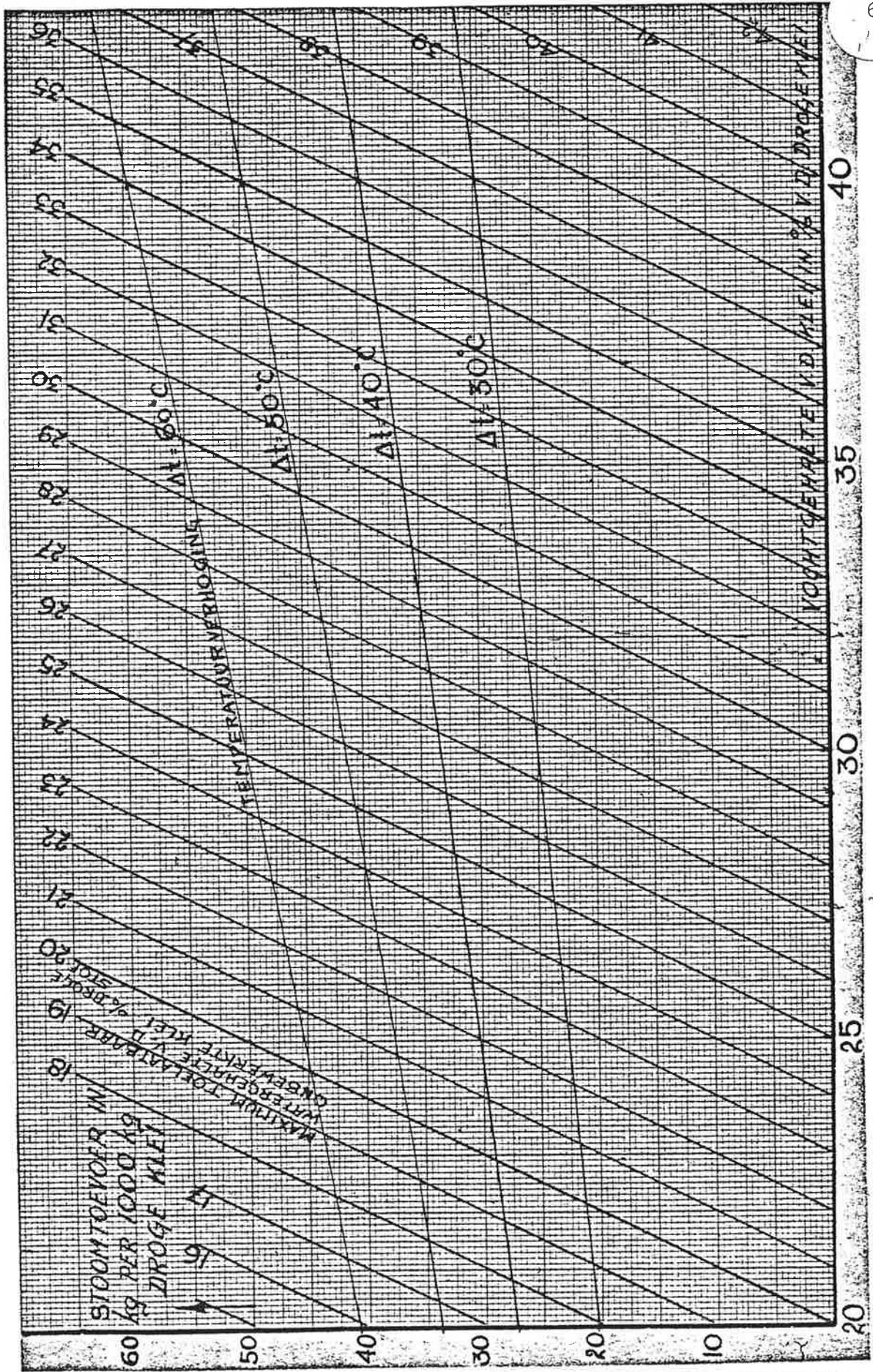
wordt en van de stookwijze (handstoken of mechanisch stoken). Als gangbaar gemiddelde en om de gedachten te bepalen kan men een stoomprijs van f 13,— per ton stoom aanhouden. In deze prijs zijn dan betrokken de verliezen, die ontstaan door het opstoken en eventueel afdekken van het vuur, terwijl daarin tevens is opgenomen stookloon, onderhoud, reparatie en de rente en afschrijving van ketelhuis, ketel en schoorsteen.

Een scherpere vaststelling van de stoomprijs is natuurlijk alleen mogelijk als de keuze van ketel en brandstof bepaald is.

In tabel I zijn op basis van een stoomprijs van f 13,— per ton stoom de kosten van de stoomproductie per 1000 w.f. opgenomen voor temperatuurverhogingen van de klei van 40° en 50° C.

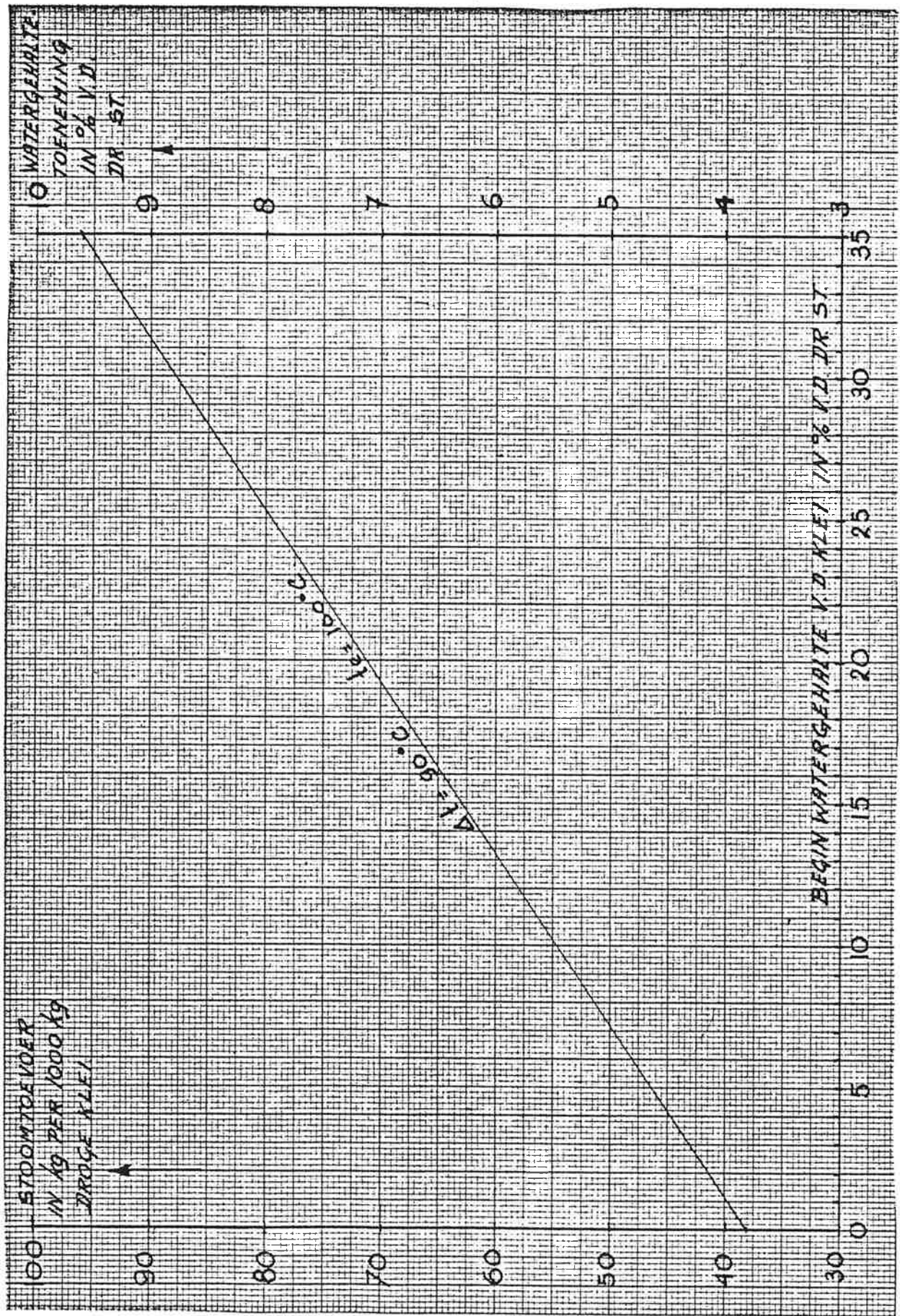
Deze kosten blijken daarbij dus voor een te bereiken temperatuurstijging van 40° C te variëren van f 0,70 tot f 1,10 per 1000 w.f. en voor een temperatuurstijging van 50° C van f 0,90 tot f 1,30 per 1000 w.f.

N.B. De gegevens betreffende de stoomketels werden verkregen van het Centraal Technisch Instituut T.N.O. Afdeling Warmtetechniek te Delft.



Diagramconstructie gebaseerd op adialatische calorimetrie  
 druk verzadigde stoom  $P=1,5 \text{ kg/cm}^2 \text{ abs.}$  (voor  $P=10 \text{ kg/cm}^2$  wordt stoomverbruik circa 3% lager;  
 soortelijke warmte van klei =  $0,23$  voor  $t=0^\circ\text{C}$  wordt stoomverbruik  
 temperatuur van de onbewerkte klei  $t=10^\circ\text{C}$  circa 1 $\frac{1}{2}$ % lager)

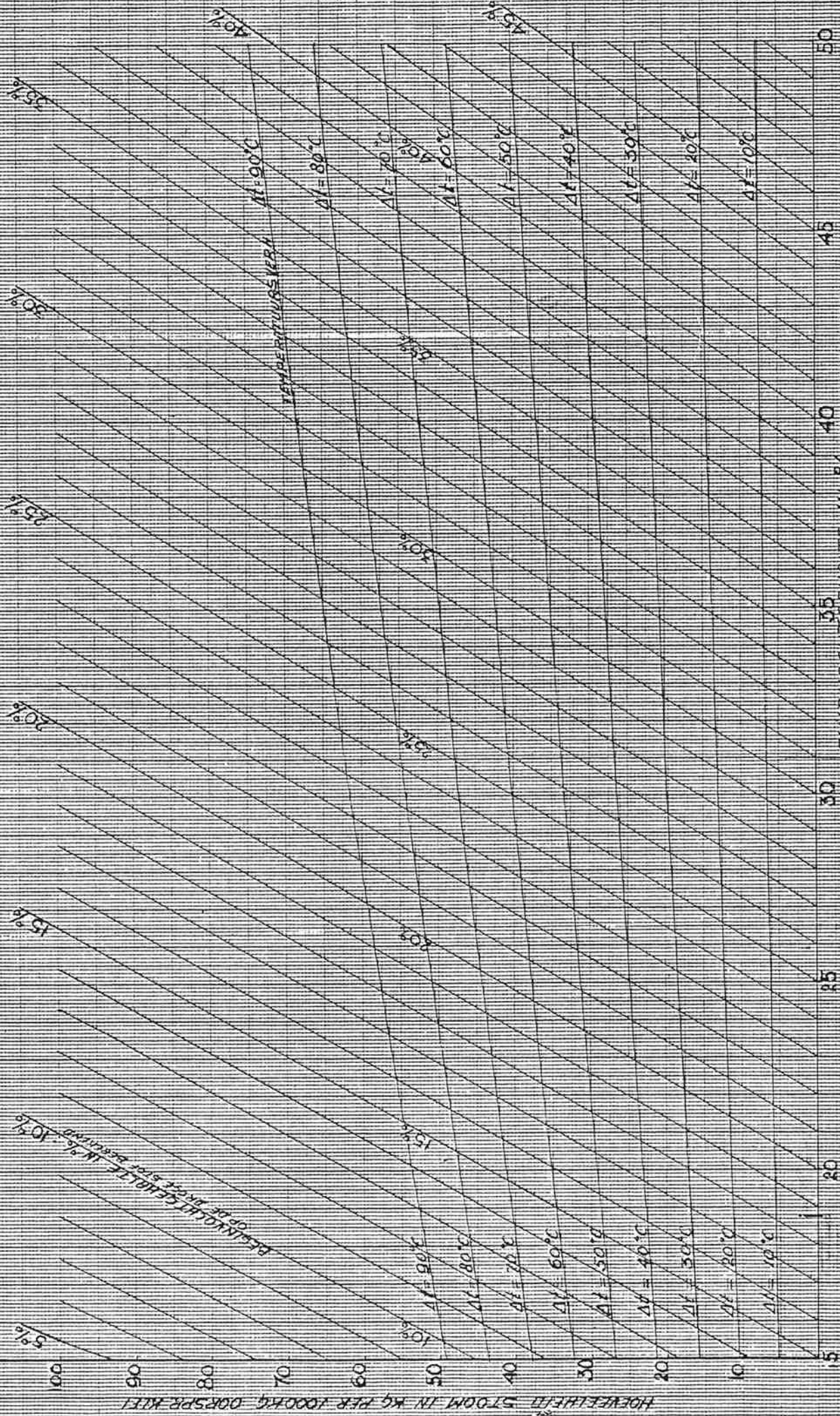
Stoomverbruik bij directe verwarming van klei met verzadigde stoom



Diagramconstructie gebaseerd op adiabatische calorimetrie. Druk verzadigde stoom  $1,5 \text{ kg/cm}^2$ . Soortelijk gewicht van klei 0,2. Temperatuur van de onbewerkte klei =  $10^\circ\text{C}$ .

STOOMVERBRUIK EN WATERGEHALTE-TOENEMING BIJ DIRECTE VERWARMING VAN KLEI VAN  $10^\circ\text{C}$  TOT  $100^\circ\text{C}$  MET VERZADIGDE STOOM





BEVINGELINGEN IN %  
 10%  
 15%  
 20%  
 25%  
 30%  
 35%  
 40%

EINDVOCHTGEHALTE IN % V.D. DROOGSTOF

50 45 40 30 20 10

HOEVEELHEID STOOM IN KG PER 1000KG DORSPEER KLEI

# Voordrachten

## over het verwarmen van klei vóór de vormgeving

### *Inleiding.*

*IN JUNI 1951 IS IN UTRECHT EEN INTERN SYMPOSIUM gehouden over een onderwerp, dat de laatste jaren de belangstelling heeft getrokken van grof-keramici n.l. de verwarming van de plastische klei vóór de vormgeving. Deze werkwijze blijkt n.l. een gunstige invloed te hebben op de plastische- en droogeigenschappen.*

*In een viertal voordrachten is een globaal overzicht over dit onderwerp gegeven n.l. een algemeen aspect en de toenmalige stand van de literatuur, de meetmethoden, het rheologisch gedrag van enkele baksteenkleisoorten bij verhoogde temperatuur en een proef in de praktijk.*

*Deze voordrachten worden nu in een aantal nummers van „Klei” gepubliceerd evenals de discussie na deze voordrachten.*

*De auteurs danken hierbij de Directie van de N.V. Vlamovenstraatklinker „Arnhem” en het Bestuur van de Technische Combinatie van de Vereniging van Steenfabrikanten aan Beneden Waal, Maas en Linge voor de gelegenheid tot publicatie der voordrachten en prof. C. Schouten te Delft voor de uitnemende wijze waarop hij het symposium heeft geleid.*

Ir. J. VOSKUIL

## HET VERWARMEN VAN PLASTISCHE KLEI VOOR HET VORMPROCES

### *Summary.*

From different patents and literature of the last two decades it appears that the interest in the warming of plastic clay before moulding has been steadily growing.

By this process the following improvements are to be expected:

- a. improved homogeneity of the tempering water in the clay which results in a decreasing tendency to cracking during the drying process.
- b. acceleration of the drying process in the dryers because the period of preheating can be shortened and because the sensitivity to cracking is decreased.
- c. an improved workability of the clay in the press or auger especially when combined with deairing.

In this paper a short review of the literature and the economical aspects are

given. It is pointed out that it is very important to study the rheological behaviour of plastic clay at higher temperatures. In particular we must be able to describe exactly the changes in the relation between the shearing stress applied on the material and the shearing strain which accompany it.

Kunstmatig drogen is niet slechts een probleem van warmtetechniek, doch voor onze industrie in de eerste plaats wel van kapitaalsinvestering, rente en afschrijving en last but not least van transport. De oorzaak hiervan ligt in het feit, dat er twee diametraal tegenover elkaar werkende krachten op een drogende baksteen werken n.l. aan de ene zijde een gebakken product, dat niet veel geld opbrengt en aan de andere kant

een — voor drogen — zeer gevoelig materiaal met een ongunstig specifiek droegoppervlak.

Deze factoren vereisen een relatief langzame droging met grote hoeveelheden lucht van lage temperatuur. Bij de opzet van een kunstmatige drooginrichting speelt dus de kapitaalinvestering (grote droogruimten) rente en afschrijving een veel grotere rol dan de problemen der zuivere warmtetechniek.

Het grootste bezwaar vanuit droogtechnisch standpunt is wel, dat bij het drogen van bakstenen de *vochtverwijdering van het buitenoppervlak plaats vindt* en dat daar tevens *krimp* bijkomt. Wij mogen dan nooit tijdens het krimpstadium of in de z.g. „constant rate” periode meer water afvoeren dan capillair wordt aangevoerd.

Hoe heeft men in de praktijk deze nadelen trachten op te heffen? In de eerste plaats door de invoering van de z.g. „vochtigheidsdroging” (Eng. humidity drying, Duits: Feuchtigkeitstrocknen). Men voert hierbij in de aanvang van het droogproces de verdampingswarmte toe, zonder dat de vormling kan drogen, maar toch moet de verwarming nog plaats vinden in grote ruimten, waar de stenen afzonderlijk op plankjes zijn gezet en waarin, wanneer het eigenlijke droogproces een aanvang neemt, temperatuur en vochtigheid nauwkeurig moeten worden geregeld. Ook hier moet gedurende de „constant rate” periode de hoeveelheid afgevoerde water gelijke tred houden met het van binnen uit aangevoerde water.

Een groot voordeel bij deze wijze van droging is echter, dat men de fluiditeit en de dampspanning van het water verhoogt, vóórdat het drogen begint. De verminderde viscositeit van het water zorgt er verder voor, dat de vochtpotentialverschillen in de vormling sneller vereffend worden (kortere rijping of narotting), wat

gunstig is voor de voorkoming van scheuren.

Wanneer wij nu nóg verder gaan en de klei gaan verwarmen, vóórdat de vormgeving plaats vindt, dan bezitten wij al de voordelen, die genoemd zijn bij de vochtigheidsdroging, doch de voorverwarming kan nu plaats vinden in een kleine ruimte (b.v. in de voormaler) en met een grote snelheid, zodat een beter thermisch rendement van de verwarmingsinstallatie verwacht kan worden. Men kan dit aan een zeer globale berekening aantonen, waarbij men wel moet bedenken, dat het hier gaat om een grootte-orde en niet om een absoluut, praktisch te gebruiken cijfer.

Wij gaan uit van een zekere hoeveelheid klei, die in een ijzeren cylinder van 1 meter hoogte en een diameter van 1 meter met water plastisch gemaakt wordt. Deze cylinder kunnen wij dus beschouwen als een „voormaler”.

De temperatuur, waarbij dit plastisch maken plaats grijpt is b.v.  $15^{\circ}$  C. Wij kunnen gemakkelijk uitrekenen, dat per charge  $\frac{3}{4}$  m<sup>3</sup> = 1500 kg klei verwerkt wordt. Gesteld, dat wij hierover 15 min. doen, hetgeen zeker niet te kort is, als wij nagaan hoe kort de klei in een normale voormaler, die veel groter is dan onze cylinder, verblijft.

De plastische klei wordt nu opgedeeld in eenheden, waarvoor het — droogtechnisch gezien — ongunstige geval van een *klinkerkei* ( $20 \times 10 \times 10$  cm) is gekozen. Wij kunnen weer gemakkelijk uitrekenen, dat uit 1500 kg klei 375 K.K. kunnen worden gemaakt, die wij gaan verdelen in een „droogruimte”, zodanig, dat zij 2 cm van elkaar staan en 10 cm van de wand, die geïsoleerd is van de buitenlucht. Er wordt dan een droogruimte verkregen van ongeveer 2.5 meter lang, 1 meter breed en 2 meter hoog. Het buitenoppervlak hiervan is 19 m<sup>2</sup>. In deze ruimte beginnen wij de stenen te drogen en over het traject van  $15-50^{\circ}$  C doen wij b.v. 30 uur, dat

niet te lang is indien bekend is, dat klinkerkeien in kunstmatige drooginrichtingen tot nog toe ongeveer 4 etmalen nodig hebben om te drogen. Behalve, dat warmte nodig is om de stenen op te warmen en te drogen is ook warmte nodig om de verliezen door uitstraling te compenseren. Deze verliezen kan men berekenen uit de formule

$$Q_{\text{verlies}} = \Delta t \times \alpha \times F$$

Door een min of meer ingewikkelde warmtetechnische berekening kan men te weten komen, dat  $\Delta t$  gelijk moet zijn aan ongeveer  $18^{\circ} \text{C}$ .  $\alpha$  is het warmtedoorgangsgetal, dat men voor de geïsoleerde buitenmuur kan stellen op  $1\frac{1}{2}$  Kcal per uur/ $\text{m}^2$ ,  $F$  is het buitenoppervlak van de „droogruimte”, dat dus gelijk is aan  $19 \text{ m}^2$ . Per uur wordt dus een warmteverlies geleden van  $18 \times 0.5 \times 19 \text{ Kcal} = 171 \text{ Kcal}$  en in 30 uur:  $30 \times 171 \text{ Kcal} = 5130 \text{ Kcal}$ .

Nu gaan we de klei in de ijzeren cylinder verwarmen met condenserende stoom en brengen haar op  $50^{\circ} \text{C}$ .  $Q_{\text{verlies}}$  wordt nu  $(50-15) \times \alpha \times F = 35 \times 6 \times 4 = 840 \text{ Kcal/uur} = 210 \text{ Kcal/kwartier}$ .

Dit is dus bijna  $1/25$  van het verlies, dat wij bij de drooginrichting hebben gekregen.

Deze wel zeer globale berekening laat ons zien, hoe veel gunstiger het thermisch rendement in de z.g. voorwarmperiode in de voormaler is t.o.v. een droogruimte, waar men zeer langzaam moet opwarmen om geen scheuren te krijgen. Bovendien moet men in een droogruimte veel meer „ballast” verwarmen, zoals muren, droogplanken, ijzerwerk e.d.

Een zeer nauwkeurige berekening in de beschreven gevallen zal de uitkomsten wel wat wijzigen, maar de grootte-orde blijft gelijk.

Hier zijn dus bakstenen beschouwd, die in een kunstmatige drooginrichting worden gedroogd. Worden de warm gevormde stenen echter aan een natuurlijke droging in de buitenlucht onderworpen, dan zal de ver-

hoogde dampspanning van het aanmaakwater in het begin de droging wel wat versnellen, doch het warmte-economisch effect zal hier zeer waarschijnlijk niet zo groot zijn als in het voorgaande geval. Inderdaad is dit door metingen van *dr Hisschmöller* bevestigd.

Wil het procédé ook in bedrijven zonder kunstmatige drooginrichting toepassing vinden, dan zullen de *plastische eigenschappen* van de klei tijdens en na het vormproces en b.v. de gevoeligheid voor scheuren e.d. een belangrijke verandering ten goede moeten tonen.

Is deze verandering ten goede te verwachten? Oriënterende laboratoriumproeven door mij in de oorlogsjaren aan een Nederlandse rivierklei verricht, gaven een bevestigend antwoord en ook de bestudeerde literatuur en octrooischriften wettigden deze verwachting.

Aanleiding tot het nemen der genoemde oriënterende proeven was een in 1931 openbaar gemaakt Italiaans octrooi, waarin plastische kaolin voor aardewerk tot ongeveer  $90^{\circ} \text{C}$  werd verhit vóór het vormen. De vormlingen die sterk „dampten” werden direct daarna in de tunneloven geplaatst. In dit octrooi werd vooral de nadruk gelegd op de *versnelling van het droogproces*. Mijn eerste proeven toonden wel aan, dat  $90^{\circ} \text{C}$  te hoog was voor een Nederlandse straatsteenklei. Scheurvorming trad direct op.

De gelegenheid ontbrak mij om de temperatuurgrens vast te leggen, doch ik merkte wel op, dat de klei bij hogere temperaturen veel zachter werd en nauwelijks kleefde. Het laatste verschijnsel werd toegeschreven aan de snelle droging van de klei.

Dat men in het octrooi gewerkt had met temperaturen van ca  $90^{\circ} \text{C}$  schreef ik toe aan het feit, dat men met *kaolin* had gewerkt en deze kleisoort veel minder gevoelig is dan onze *illietklei*.

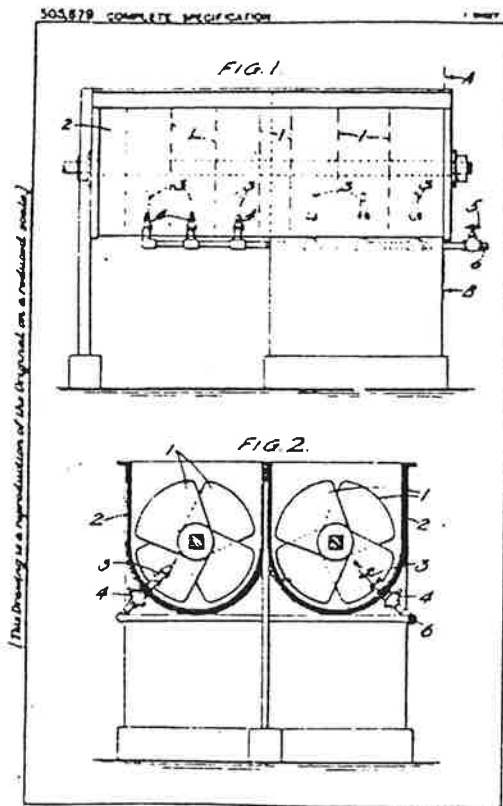


Fig. 1 (1939).  
Voormaler met stoomverwarming uit het octrooi van Maxted en Tipping.

Een Engels octrooi no 505 679 gedateerd 16 Mei 1939 van Maxted en Tipping beschrijft het voorverwarmingsproces in meer details en legt, behalve op de verkorting van de droogtijd ook de nadruk op de *verminderde gevoeligheid voor scheuren*.

Ook hier wordt een temperatuur toegepast van  $90^{\circ}$  C zonder dat de aard van de klei wordt genoemd.

De verwarming geschiedt met stoom van ca 4 atm. geleid door injectiepijpjes, tussen de roterende messen van de voormaler. (fig. 1).

Ook kan de stoom in de holle as van de kneedmessen gevoerd worden.

In een Zwitsers octrooi no 245 607 gedateerd 1 Aug. 1947 van Itschner wordt een apparaat beschreven (fig. 2) dat uit een voorverwarmingsinrichting, een strengpers, een droogtunnel en een tunneloven bestaat. Alles staat in elkaars verlengde en vormt één aggregaat.

De voorverwarming geschiedt door het voeren van de plastische klei langs holle buizen (3) waar stoom

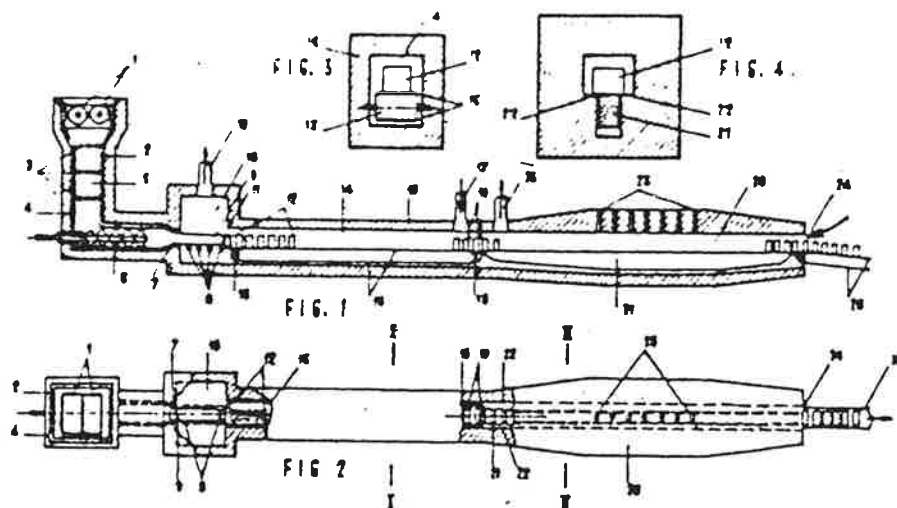


Fig. 2 (1947).  
-Voorverwarmingsinrichting, droogruimte en oven uit het octrooi van Itschner.

doorgevoerd wordt. Ook de invoerwalsen (1) kunnen verwarmd worden en om de invoerbuis naar de strengpers is een holle mantel (2) waarin stoom geblazen kan worden. De uit de pers komende warme stenen (een verwarmingstemperatuur wordt niet vermeld) worden door middel van een transportband (15) door de droogruimte (14) gevoerd, waarin in tegenstroom warme droog lucht wordt geblazen (17 en 18). Het meest rechtse gedeelte op de tekening is de verhitingsstunnel, waar de stenen door op en neergaande stangen (21) wordt voortbewogen, terwijl bij (23) gas of olie wordt ingevoerd. De verbrandingslucht, die tevens voor de afkoeling der gesinterde stenen dient wordt bij (24) ingevoerd en de verbrandingsgassen bij (25) afgevoerd.

Alhoewel ik niet geloof, dat deze installatie ooit in de praktijk is toegepast — daarvoor is zij als revolutionnaire inrichting in de baksteenindustrie te weinig bekend geworden — zijn er bij het voorverwarmingsgedeelte elementen genoemd (voorverwarmde invoerwalsen, holle buizen en stoommantels), die misschien bruikbaar zijn bij de toepassing bij het vormbakproces. Want het dient bij voorbaat te worden opgemerkt, dat de directe invoering van stoom in de klei, indien deze niet voldoende oververhit is, de klei te slap zou kunnen maken, vooral bij onze tamelijk schrale kleisoorten.

Verder wordt in dit octrooi opgemerkt, dat verwarming ook kan plaats vinden in *droge toestand* van de klei, waarna het verdere aanmaken met warm water volgt. Dit procédé zou voordelen hebben, wanneer het aanmaakwater binnen nauwe grenzen moet worden gedoseerd.

Na de oorlog is in Duitsland de voorverwarming van de klei een onderwerp van enige uitgebreide artikelen in de „Ziegelindustrie” geweest. W. Schoch had praktische proeven genomen met een Silezische kleisoort, die zeer vet en „speckartig” was. De

ze klei was met zeer fijn zand in de verhouding 2 klei op 1 zand gemengd. De lineaire krimp bedroeg desniettegenstaande nog 9%, terwijl de droogtijd in volkomen afgesloten ruimten nog 3—4 weken bedroeg. Het breukpercentage was 6%. Een z.g. vochtigheidsdrogerij gaf een eerste verbetering. De droogtijd werd teruggebracht tot 8 dagen en de breuk tot 4%. Schoch ging toen over tot proeven met de voorverwarming van de klei. Eerst nam hij heet ketelwater als aanmaakwater, doch dit gaf geen voldoende temperatuursverhoging.

Dit is met een eenvoudige berekening wel in te zien. Aannemende dat aardvochtige klei gemiddeld een vochtpercentage van 10% (op droge basis) heeft (d.i. 9% op natte basis) en een s.w. van 0.29, is per kg grond nodig 0.29 Kcal per graad temperatuurstijging. Neemt men aan, dat uitgegaan wordt van een temp. van 15° C en wenst men te gaan tot 60° C, een temp. die Schoch wenste te bereiken, dan is per kg klei nodig  $45 \times 0.29 = 13$  Kcal. Hierbij zijn de — aan het begin van dit artikel vermelde — verliezen niet in rekening gebracht.

Gaat men nu uit van heet ketelwater van b.v. 90° C dan kan elke kg water slechts 30 Kcal afstaan voor de verwarming van de klei. Per kg klei is nodig 13 Kcal dus  $13/30$  kg heet water = 0.43 kg. Per 1.43 kg plastische klei is dus aanwezig 530 gram water = 37% (op natte basis berekend). Nu heeft men bij strengpersklei een vochtgehalte van ca 18% (natte basis), zodat de massa met het hete ketelwater veel te week zou worden. Zelfs is dit het geval voor het vormbakprocédé, dat een klei met 25% (natte basis) verwerkt.

De enige oplossing voor de practijk is dus *stoom*, die bij condensatie per kg 539 Kcal afstaat, dus ruim  $500 \times$  zoveel als heet water.

Er is, bij het overdenken van ons probleem nog wel eens gedacht aan de toepassing van elektrische energie voor de verhitting met name de *hoog-*

*frequentverhitting*. Het grote voordeel van de hoogfrequente verhitting ligt in de omstandigheid, dat de warmte in de gehele massa wordt ontwikkeld, dus niet van buiten naar binnen, zoals bij de normale verhitting het geval is. Men kan daardoor dikke stukken van slecht geleidend materiaal zeer snel en in de regel ook zeer gelijkmatig verwarmen.

Zoals in vele gevallen vormen ook hier de onkosten een beletsel, die ongeveer het drievoudige bedragen van die met stoom. Slechts in die gevallen, waarin een grote opwarmingsnelheid een enorm voordeel betekent of een andere wijze van verwarming op bijna onoverkomelijke moeilijkheden stuit, maakt de hoogfrequentverwarming een kans.

Bij de toepassing van stoom kan men hoge- of lagedrukstoom kiezen. Het voordeel van hogedrukstoom wordt vaak gezien in de mogelijkheden van uitbouw en het feit, dat geen kelder nodig is. T.a.v. hogedrukinstallaties hebben die met lage druk het voordeel, dat men niet valt onder speciale wettelijke voorschriften. *Schoch* heeft met hogedrukstoom (6—12 atm.) geen succes gehad, wel met lagedrukstoom van 2 atm. Hij gebruikte een strengpers en voerde de stoom in door 8 tegenmessen. Behalve de gewone 4 tegenmessen in de perskop moesten er nog eens 4 aangebracht worden door versterking der wanden boven en onder in de perskop. Deze werden van buitenaf tot kort voor het einde geboord en kregen dan in de richting van het mondstuk 4—5 kleine uitstroomopeningen met een diameter van ca 1.5 mm. In deze richting is er n.l. geen tegendruk van het materiaal. De stoom kwam dus uit totaal 40 openingen en verwarmde de klei regelmatig. De hoofdstoomleiding kwam tot vlak bij de perskop en van hieruit werd de verdere verbinding bewerkstelligd met flexibele stoomslangen. De stoom werd oververhit tot zelfs 400° C. De hoeveelheid condensaat was dan ge-

ring. Toch ging *Schoch*, wat de klei betreft, niet hoger dan 60° C, daar boven deze temperatuur het aanpakken der stenen met moeilijkheden gepaard ging (hiervan zou men bij het vormbakproces niet zoveel last hebben).

Bovendien was de afgifte van damp reeds zo sterk, dat men in de koelere maanden last kreeg van de hinderlijke nevels. *Schoch* merkte op, dat niet alleen de loop van de streng in het mondstuk veel beter ging dan met de koude streng, maar dat ook de ontsluiting van de klei door het vocht veel beter ging. Ook nam hij waar, dat de „structuur” van de klei veel beter werd, doch omschreef verder niet, wat hij onder deze structuur verstaat.

Terloops zij opgemerkt, dat men in de Verenigde Staten kort na de oorlog proeven heeft genomen over het verkorten van de z.g. mauk- of rotperiode door het behandelen van klei met stoom.

(N.B. Tijdens een reis naar de Veren. Staten in 1952 voor M.S.A., met een groep uit de baksteenindustrie, bezocht ik ook een steenfabriek waar met gunstige gevolgen de plastische klei met stoom werd voorgewarmd).

*Schoch* constateerde verder, dat de uittredende kleistreng niet merkbaar was verweekt. Gebruikte hij echter gewone verzadigde stoom, dan werd een merkbare condensatie geconstateerd en een vergrote kans op verweking. De droogtijd in de droogrichting liep terug van 8 op 2 dagen en de scheurvorming was geheel opgeheven. Zodoende kon hij afzien van een verdere vochtigheidsdroging en de aanvangsdroogtemperatuur van 20—50° C in dezelfde tijd opvoeren tot niet minder dan 150° C. Deze resultaten zijn niet zo extreem als zij op het eerste gezicht lijken, wanneer men de resultaten in de voordracht van ir Tan beschouwt. Bij een uitermate vette rivierklei (Linge) werd bij het uittreden van de streng, die een temperatuur had van 40° C een di-

recte verharding geconstateerd, zodat de vormling na enkele minuten eboniethard was. Men kan zich voorstellen, dat een dergelijk product bij het nadrogen een stootje velen kan. Inderdaad bleek b.v. dat de vormling direct in de droogstoof bij 100° C geplaatst kon worden zonder dat van een scheurvorming sprake was.

Bij de proeven met *magerder klei* kon *Schoch* de droogtijd verkorten van 24 tot 18 uur. Merkwaardig was, dat er kleisoorten waren, die in plastische toestand geen hogere temperatuur verdroegen dan 35° C. De vormbaarheid ging boven deze temperatuur achteruit. Boven de 70° C echter kon weer een verbetering geconstateerd worden. Hieruit volgt, dat de studie van de rheologische eigenschappen bij verschillende temperaturen zeer belangrijk is.

Tot slot kan ik nog één recente publicatie van de Rus *Lundina* noemen, waarvan een referaat in de Berichte der Deutschen Keramischen Ges. van Februari 1951, pag. 84 is verschenen. Van het Keramisch Instituut te Gouda kreeg ik een vertaling van het oorspronkelijke artikel.

De maximum voorverwarmingstemperatuur bij de door *Lundina* gebruikte kleisoorten lag bij 45—55°. Bij hogere temperaturen trad een oppervlakkige scheurvorming op, die bij nog hogere temperaturen sterker werd. Daar een strengpers gebruikt werd, werd lagedrukstoom toegepast van 0.5—3 atm. druk. De stoom werd geleid in de kleimenger door openingen van 3 mm doorsnede tussen de kneedmesses of aan beide zijden van de menger, dus vermoedelijk op de wijze van fig. 1. *Lundina* gebruikte 150 kg stoom per 1000 bakstenen van een niet nader genoemd formaat, wanneer stoom van 0.5 atm. gebruikt werd. Bij hogere stoomdrukken was de hoeveelheid verbruikte stoom groter: bij 3 atm. 230 kg. Stoomverliezen waren bij de laagste drukken het geringst. Was de klei te nat dan konden drogende produc-

ten, zoals zaagsel, chamotte, fijn gemalen hoogovenslakken, droge klei e.d. worden toegevoegd. Door het vervallen van de opwarmtijd werd de droogtijd met 20—50% verkort, waarbij bovendien een belangrijke verbetering van de eigenschappen van de klei geconstateerd werd.

De vochtvereffening trad zeer snel in, de vervormingseigenschappen verbeterden, de structuurvorming nam af en de vastheid der vormlingen nam toe. Er werd o.a. meer eerste soort baksteen verkregen en de mechanische vastheid was 10—30% hoger. Een bijzonder, sterkere verbetering werd waargenomen, indien de verwarmde klei door een vacuumpers werd gevoerd, dus een combinatie werd toegepast van vacuum en verwarming. De vastheid van baksteen werd tot 50% verhoogd. *Lundina* beveelt dit procédé aan bij de fabricage van holle baksteen, zuurvaste producten e.d. De verwarming van stoom van de plastische klei wordt tegenwoordig in de Sovjet Unie op grote schaal toegepast.

Laat de literatuur dus in het algemeen een optimistisch geluid horen, een algemene toepassing in de industrie heeft de voorverwarming van de klei nog niet gevonden. Het procédé zal dus nog wel de nodige haken en ogen bezitten. Laten wij het economisch aspect nog even terzijde, dan zijn er nog zovele onopgeloste detailproblemen, dat verder onderzoek vóór een algemene toepassing strikt noodzakelijk is. De reeds genoemde *W. Schoch* heeft in een kortelings gepubliceerd artikel in de Ziegelindustrie vermeld, dat in Duitsland door wilde experimenten in het groot veel geld en tijd met mislukkingen is verloren gegaan. Hij geeft het dringend advies tot systematisch vooronderzoek, zowel in het laboratorium als in het bedrijf. Hij noemt typische moeilijkheden, die zich hebben voorgedaan b.v. de corrosieve eigenschappen van de condenserende stoom, de inhomogene vochtverdeling door de



condenserende stoom, de vermindering van het vacuum in een strengpers, de contacttijd, die in een strengpers nog te kort is, enz., enz.

Wij kunnen na dit algemene overzicht wel de volgende conclusies trekken:

1. De verwarming van de plastische klei vóór de vormgeving geven aan de klei en dus aan de hieruit gevormde producten bijzonder gunstige eigenschappen.
2. Het warmte-economisch effect zal in hoofdzaak in die bedrijven te constateren zijn, die hun producten kunstmatig drogen. De voorwarmtijd vervalt.
3. De bedrijven, die geen kunstmatige drooginrichting bezitten, zullen het moeten hebben van de eventueel gunstige eigenschappen van de plastische klei, zoals daar zijn: betere vormvastheid, die speciaal voor klinkerkeien gunstig is, verminderde gevoeligheid voor scheuren en vooral van blinde scheuren, betere verwerkbaarheid van de klei, die zich waarschijnlijk zal manifesteren in een verminderd krachtverbruik, enz.
4. Het praktisch bruikbaar verwarmend medium is *stoom*, van lage druk.
5. Een systematisch onderzoek zowel op laboratoriumschaal als bedrijfsschaal is gewenst wil men geen teleurstellingen ondervinden en nutteloze onkosten maken.
6. Belangrijk is m.i. een grondig systematisch onderzoek naar de rheologische eigenschappen van de klei bij hogere temperaturen en het opsporen van de oorzaken der verschijnselen.

Op dit laatste punt wil ik nog even ingaan. Wanneer zich in het rheologisch gedrag van de klei bij hogere temperaturen anomale verschijnselen gaan voordoen, die in het laboratorium nog niet zijn vastgesteld en bestudeerd, kan dit bij grote proe-

ven in het bedrijf kostbare mislukkingen geven, die de fabrikant huiverig maken voor verdere proefnemingen en die in het algemeen weinig bevorderlijk zijn voor de ontwikkeling van het procédé.

Het is b.v. onjuist te menen, dat door de verlaging van de viscositeit van het vormwater bij hogere temperatuur ook een evenredige verlaging van de consistentie van de klei te bespeuren zal zijn. Alleen bij een hoog gehalte aan water, dus in suspensies blijkt dit het geval te zijn (zie de proeven van *Wolarowitsj* en *Tolstoi* in het *Kolloid Zt.* 73 (1935) pg 92—94).

De viscositeit van water in een vochtige kleimassa mag niet zonder meer gelijkgesteld worden aan de viscositeit van vrij beweeglijk water bij de beschouwde temperatuur. Door de sterke binding, die tussen de kleideeltjes en water bestaat, kan b.v. in zeer nauwe capillairen de viscositeit verdubbelen. Men kan uit de proeven van *ir Tan* zien, dat tussen een vette en een schrale Nederlandse rivierklei bij hogere temperatuur, merkwaardige verschillen optreden, die niet zonder invloed blijven op de toepassing in het bedrijf.

Een bestudering van het rheologisch gedrag van klei bij hogere temperaturen vereist in de eerste plaats een *objectieve meetmethode van de consistentie*. Het is niet mogelijk om alle eigenschappen, die men in de praktijk stelt aan een goede verwerkbaarheid van plastische klei onder te brengen in één cijfer. Het beste bestudeert men de rheologische eigenschappen aan spannings-deformatie en spannings-deformatiesnelheidsdiagrammen en men kan het verschijnsel van de verwerkbaarheid of vormbaarheid het best benaderen door te zeggen, dat het begrip verband houdt met:

1. een hoge yield value of zwichtspanning.
2. een grote plastische deformatie.

Een yield value (ook wel vloeigrens genoemd), is die afschuifspanning, waarbij het materiaal gaat vloeien, terwijl bij een grote plastische deformatie bij hoge schuifspanningen nog geen breuk optreedt.

De keramische literatuur kent een zeer groot aantal meetmethoden om de „plasticiteit” te meten, maar helaas heeft men er zeer weinig aan, omdat een theoretische verwerking van de meetresultaten hiermede niet mogelijk is en de oorzaken van een bepaald gedrag van de klei niet of zeer moeilijk kan worden opgespoord. Het vergelijken van twee kleisoorten van verschillende herkomst is dan in het geheel niet mogelijk.

Gezien het feit, dat het onderzoek naar de plastische deformatie van klei bij grote vervormingen en waarin een niet plastische component (zand) een niet te verwaarlozen rol speelt, ook voor de *grondmechanica* van belang is, werd contact gezocht met het Laboratorium voor Grondmechanica te Delft waar men de beschikking heeft over meetapparaten, die wél in staat zijn fundamentele grootheden, die van belang zijn voor onze industrie, te meten. Waar bovendien, voor zover mij bekend, in de literatuur nog geen onderzoeken zijn gepubliceerd over het rheologisch gedrag van plastische klei bij hogere temperaturen, leek het mij van groot nut om in het kader van de opdracht om de verwarming van klei vóór het vormproces te bestuderen, een wetenschappelijk onderzoek in te stellen

naar bovengenoemd rheologisch gedrag in samenwerking met het Laboratorium voor Grondmechanica.

LABORATORIUM VER.  
STEENFABRIKANTEN.

Geldermalsen, Juni 1951.

#### BIBLIOGRAPHIE

1. Anon. „Het stomen van klei”. De Nederlandse Kleiindustrie 13 October 1911. p. 2407.
2. Franco Bandini. „Method for making bricks”. Ital. Pat. 1927.
3. G. V. Maxted & F. G. Tipping. „Improvements in or relating to Brick Making”. Brit. Pat. 1937.
4. R. Itschner. „Verfahren zur Herstellung keramischer Formkörper und Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens”. Swiss Pat. 1947.
5. W. Schoch. „Betrachtungen und Erfahrungen zur Frage der Tonbzw Rohstoffvorwärmung zur Erreichung kürzerer Trockenzeiten und geringerer Bruchzahlen in künstlichen Trockenanlagen”. Die Ziegelindustrie 3. 151. 1950.
6. W. Schoch. „Erkenntnisstand des Dampf-Vorwärmeverfahrens”. Die Ziegelindustrie 4. 135. 1951.
7. M. G. Lundina. „Abkürzung der Trockenzeit für Ziegel beim Anfeuchten der Tone mit Dampf”. Ref. Berichte d. deutschen Keram. Ges. 28. 84. 1951.
8. M. J. Singer. „Invloed van stomen op Nederlandse grofkeramische kleien”. Klei September 1951. p. 31.
9. M. Wolarowitch & D. Tolstoi. „Ueber Viskosität und Plastizität disperser Systeme. Untersuchung des Einflusses von Temperatur und Elektrolyten auf die plastischen Eigenschaften von Koalin”. Koll.Zt. 73. 92—94. 1935.
10. W. O. Williamson. „The physical relationships between Clay and Water. Trans. of the Brit. Ceramic. Soc. 50. 10. 1951.
11. M. Reiner. „Deformation and Flow.”. London 1949.
12. F. H. Norton. „An instrument for Measuring the Workability of Clays”. J. Am. Ceram. Soc. 21. 33. 1938.
13. R. Haefeli & Ch. Shaerer. „Der Triaxialapparat”. Mitt. der Versuchsanstalt für Wasserbau und Erdbau an der E.T.H. Zürich, Zürich 1946.

# VOORDRACHTEN

*over het verwarmen van klei vóór de vormgeving*

**Practische proeven met de verwarming van klei door stoom  
en evacueren van klei voor het vormbakproces**

door Dr Ir F. W. HISSCHEMÖLLER

## *Summary.*

In this last article of the "Symposium" the author describes some experiments with the warming of clay with steam in actual practice.

According to his opinion the warming of clay is comparable with the process of de-airing because many effects of the two processes on the clay seem to be analogous (decrease of the air absorption, increase of the hydration of the clay minerals.). Therefore to the experiments with the warming of clay, those with the de-airing of clay were added.

In general the results with clays, warmed to ca. 35° C. were very favourable. The so called "ageing process" was markedly shortened and a decrease in slumping observed. The drying velocity was only slightly shorter than normal. This is understandable as drying took place in drying sheds in the open air. Marked differences in the content of tempering water, in the formation of cracks and porosity of the burned brick could not be observed (perhaps the temperature was still too low). Unfavourable effects were not observed.

Semi laboratory experiments with an auger (in collaboration with the Keramisch Instituut at Gouda) showed that under circumstances the content of tempering water increased with the warming of clay.

This was ascribed to the better penetration of the water between the clay particles. Too much steam softens the clay beyond practical usefulness. It appears that in such cases an indirect method of warming or adding dry and powdered clay in the pug mill is necessary.

The second part of the article deals with the de-airing of the clay *with the soft mud process*. Clay for paving bricks was first de-aired in an auger and then worked up in an Aberson press.

After firing it appeared that the quantity of the best quality bricks was much higher with the de-aired bricks.

As at the present it is not possible to construct a vacuum chamber in the pug mill, future de-airing experiments will also be done in an auger before the clay is worked up in an Aberson press.

## *Inleiding.*

OPZETTELIJK HEB IK DEZE onderwerpen gekoppeld. Er zijn n.l. aanwijzingen te vinden in de literatuur en het ligt ook wel enigszins voor de hand, dat verwarming van de klei en ontluchting in een vacuumpers analoge effecten op de eigenschappen van de klei tevoorschijn kunnen roepen. Bij hogere temperaturen neemt de absorbtie van gassen aan vaste stoffen af, hetzelfde gebeurt bij evacueren. Door het verwijderen van lucht worden de kleideeltjes *in beide gevallen* beter toegankelijk voor het aanmaakwater,

*Des expériences avec le chauffage à la vapeur et le vidage des pâtes dans la presse d'Aberson.*

*Betriebsversuche mit der Dampferhitzung und dem Vakuumverfahren des plastischen Tones in der Aberson Presse.*

met als gevolg betere ontluchting van de klei, toename van de hydratatie van de kleideeltjes, verbetering van de plasticiteit, meer weerstand tegen uitzakken van de plastische klei, grotere dichtheid, van het ongebakken en gebakken product, dus meer Sort. I. Er is daarom m.i. alle aanleiding de beide problemen tegelijkertijd in studie te nemen, teneinde na te gaan welke van deze methoden in verschillende gevallen het beste technische effect heeft of bij ongeveer gelijk effect, welk procédé 't meest economisch is. Te denken is ook aan een combinatie van verwarming en ontluchting.

ting, maar deze zal misschien afstuiten op hoge kosten. Het zal wellicht blijken, dat voor bepaalde soorten bedrijven verwarming het gunstigst is, voor andere evacueren. Het wil mij b.v. voorkomen, dat het warm persen vooral in aanmerking komt voor die bedrijven, welke kunstmatig drogen of daartoe plannen hebben. Deze bedrijven kunnen n.l. de aan de klei toegevoerde warmte direct nuttig gebruiken, doordat zij de moeilijke en langdurige voorwarmperiode in de drooginstallatie over kunnen slaan. Het nuttig effect van de aan de klei toegevoerde calorieën zal wellicht zelfs hoger zijn, dan bij aanvoer via de drooginrichting (zie art. ir Voskuil in het Maartnr van „Klei”).

Bij bedrijven zonder kunstmatige droging ligt het vraagstuk enigszins anders. De aan de kleispecie toegevoerde warmte gaat in enkele uren weer geheel verloren. Het directe effect op de droging is daardoor maar zeer gering en eventuele voordelen zijn vrijwel uitsluitend van indirecte aard en hierboven reeds opgesomd. Zouden soortgelijke effecten ook te bereiken zijn met evacueren, dan leert een globale berekening, dat bij werken zonder kunstmatige droging, de kosten van verwarming per duizend steen enige malen hoger zijn dan die voor het evacueren (rente, afschrijving en onderhoud van de installaties inbegrepen).

Het is dus vooral voor de buitenbedrijven van belang, beide methoden technisch en economisch tegen elkaar af te wegen. Voor straatklinkers zal ook nagegaan moeten worden, welke invloed verwarmen of evacueren op de stroefheid heeft. Mocht de invloed merkbaar ongunstig zijn, dan zouden tegenmaatregelen getroffen moeten worden. Dit vraagstuk kan echter slechts aan de orde komen, als wij met het eerste verder gevorderd zijn.

Ik zal mij na deze inleiding onthouden van theoretische beschouwingen en mij beperken tot een samenvatting van resultaten, die wij met

technische proeven met verwarming en evacueren verkregen hebben.

#### A. Verwarming van de kleispecie.

De proeven werden in het voorjaar van 1950 genomen op De Bijlandt. In de voormaler waren onderin aan weerszijden 3 stoompijpen bevestigd, waarvoor zich een zeef bevond ter voorkoming van verstopping van de pijpjes en om de stoom beter in de klei te verdelen. De pijpjes waren door stukjes flexibele stoomslang verbonden aan de aanvoerleidingen van de stoom en elk voorzien van een afsluiter. De stoom werd geleverd door een stoomlocomotief met een V.O. van 18 m<sup>2</sup> en een druk van 12 atm.

Tijdens de proeven werden van de 6 invoeren slechts de 4 het meest naar de zijde van de vulopening van de menger gelegene gebruikt. Het inblazen en verwarmen leverde geen praktische moeilijkheden. Er ontsnapte slechts weinig stoom uit de menger. Voor zover dit plaats had gebeurde dit vrnl. aan de zijde, waar de messen omhoog komen en gaten in de specie slaan. Beter is de stoominvoer alleen aan de andere zijde te maken. De eindtemperatuur aan de uitlaat van de menger werd reeds na 10 à 15 min. bereikt. De afkoeling in de pers was zeer gering. De temperatuur van de klei daalde tussen de onderzijde van de ladder en de geloste steen op de elevator van de automaat, slechts 1 à 2° bij een temp. van 35.36° op de ladder. De temp. van de onverwarmde specie bedroeg 10°, de stijging dus circa 25°.

Bij constante stoomtoevoer was de temp. van de specie zeer constant. De capaciteit van de loco was niet groot genoeg om bij continu werken hoger dan 35° te komen. Er werd één proef genomen, waarbij de temp. tot 55° opgevoerd werd door de schuif van de menger tijdelijk te sluiten onder voortdurend inblazen van stoom.

*Resultaten.**Afkoeling van KK geperst bij ca 35°.*

tijdstip	temp.	
	hart	buitenkant
Direct na inzetten in rek	29°	—
na 1 uur	18°	15°
na 2 uur	13°	11°
na 3 uur	11°	11°

Na 1 à 1½ uur was er dus praktisch niets meer van de toegevoerde warmte over. Tijdens de proef stond er een sterke koude wind (luchttemp. 14—15°). Bij stiller en warmer weer zal de afkoeling iets langer duren. (Dat de steentemp. tenslotte lager lag dan de luchttemp. komt door de verdamping van het aanmaakwater steentemp. = temp. van natte bol).

*Vormvastheid: Het uitzakken was merkbaar minder dan bij koude klei (zie art. Ir Tan).*

*Ontsluiting: Merkbaar beter dan bij koude klei: minder droge kluitjes en pitten.*

*Droging: De snelheid van de droging was slechts zeer weinig groter dan bij koude stenen onder dezelfde omstandigheden, begrijpelijk gezien de snelle afkoeling. Alleen in het allereerste stadium is daardoor iets van versnelde droging merkbaar. Wellicht kan hierdoor iets eerder opgesneden worden.*

In het eindstadium is er praktisch geen verschil. Bij de tijdens de proef heersende scherpe wind, traden droogscheuren vrijwel evenveel op in de warm- als in de koudgeperste stenen.

*Hoeveelheid aanmaakwater.*

De hoeveelheid aanmaakwater bedroeg in de koud bereide klei 24.20% op natte klei berekend en 31.90% bij op 110° gedroogde klei berekend. In nevenstaande tabel is voor verschillende proeven de verandering van het aanmaakwater t.o.v. de koud bereide klei weergegeven. Bovendien

is hier weergegeven de relatieve verandering van het te verdampen water. Als te verdampen water wordt beschouwd het aanmaakwater (op droge stof berekend) verminderd met 5% hygroscoopisch vocht, die in een luchtdroge steen nog aanwezig zijn.

Temp. klei	% Verandering aanmaakwater (op droog berekend)	% rel. verand. te verdampen water
32°	—	—
36°	+ 1,3	+ 4,8
55°	— 0,5	— 1,9

De invloed op het aanmaakwater is dus zeer gering en van dezelfde orde als de schommelingen, die in het normale bedrijf te verwachten zijn. Dat het aanmaakwater door verwarming ook kan *toenemen* werd bevestigd in een straks te behandelen proef. Dit is toe te schrijven aan betere ontsluiting, waardoor meer kleideeltjes bevochtigd worden en dus extra aanmaakwater verbruiken.

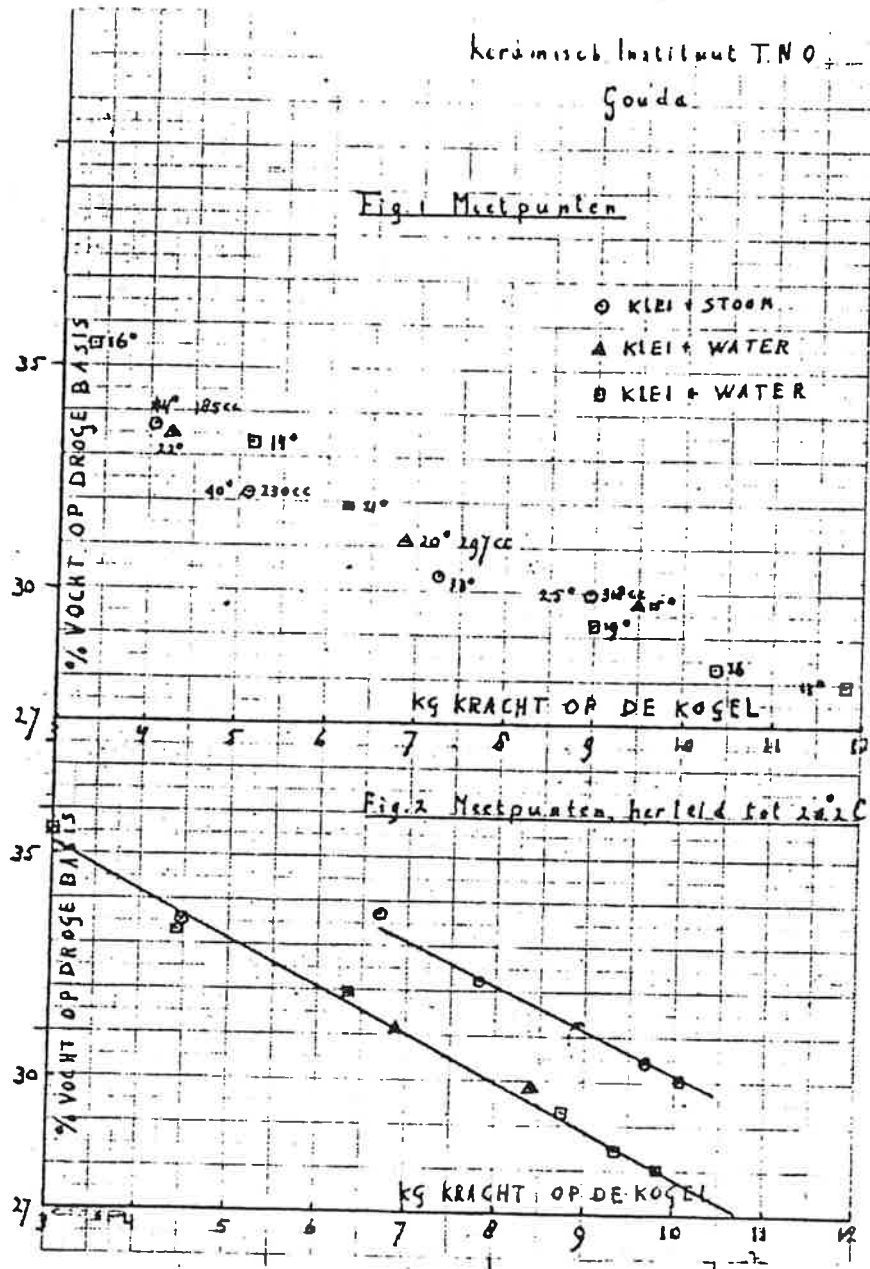
*Volumegewicht en poreusheid van de gedroogde steen.*

	koud bereid	warm bereid
volumege- wicht (schijnbaar s.g.)	1.785 1.725 1.72 1.67 1.725	
Gemiddeld	1.725	1.72

Er is dus praktisch geen verschil in volumegewicht en dientengevolge ook in de poreusheid van de droge steen. Gezien de schommelingen, die in het volgevocht van de normale steen optraden, zou het verschil met de warm bereide klei groot moeten zijn om significant te zijn.

*Sortering gebakken stenen.*

De proefstenen werden gesorteerd door de chef-sorteerder. Hierbij werd



de indruk verkregen, dat het *percentage I en EG aanzienlijk hoger* lag dan normaal. Bij contrôle door bepaling der wateropneming bleek, dat een deel der als II gesorteerde stenen, nog tot Sort. I behoorden en het werkelijke percentage I/EG dus nog iets hoger was. Uiterlijk en kleur bleek beter in overeenstemming met de w.o. dan de klank. Het is niet mogelijk uit de ter beschikking staande gegevens een betrouwbare vergelijking te maken tussen de percentages der sorteringen, verkregen met

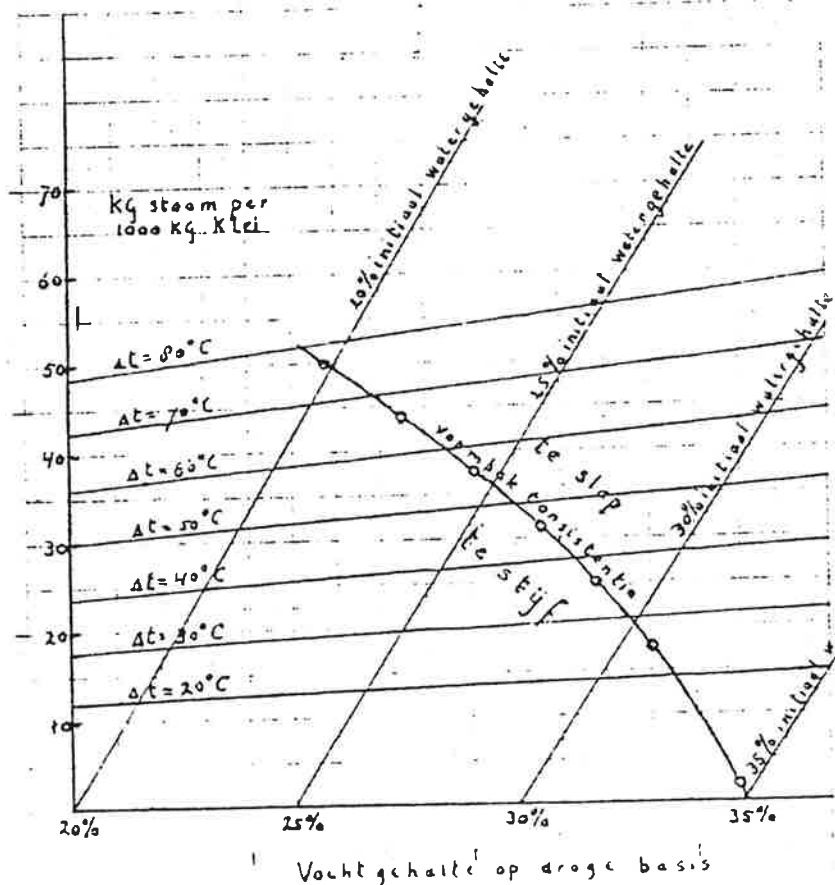
gestoomde en niet gestoomde klei. Hiervoor zou nodig zijn geweest naast elkaar in de oven geplaatste bladen gestoomde en niet gestoomde stenen, die dus nagenoeg onder gelijke omstandigheden gebrand waren, te sorteren. Dit is helaas niet gebeurd. Wij moeten ons dus bepalen tot een algemene gunstige indruk.

#### Samenvatting der practische resultaten.

Het verwarmen van de klei op ca 35° had een gunstige indruk op de

Keramisch Instituut T.N.O.  
Gouda

Fig. 3. Relatie Temperatuur-vochtgehalte  
en benodigde hoeveelheid stoom.



vormvastheid, op de ontsluiting en op het gestookte percentage I en EG. Op de overige eigenschappen was de invloed nihil of zeer gering. Ongunstige effecten werden niet geconstateerd.

*Proeven door het Keramisch Instituut te Gouda.*

Er werden in de strengpers van het K.I. met klei van De Bijlandt proeven gedaan bij verschillende temp. (verkregen door inblazen van stoom), waarbij het verband tussen het vocht-

gehalte en de aflezing van de kogelconsistentiemeter werd vastgesteld (zie artikel dr Singer in „Klei” van Mei 1951).

Om de invloed van de viscositeit van het water bij verschillende temp. te elimineren, werd uitgegaan van de hypothese, dat de aflezing van de consistentiemeter, op dezelfde wijze varieert als de viscositeit van het water. Alle meetpunten werden zodoende herleid tot een standaardtemp. van  $20,2^\circ\text{C}$ , waarbij de viscositeit van het water juist 0,01 poise is. In fig.

1 en 2 zijn uitgezet % vocht op droog tegen kracht op de kogel in kg., resp. ongecorrigeerd en herleid op 20,2°. De gecorrigeerde punten blijken met grote benadering op een rechte lijn te liggen. Theoretisch is de invloed van de temp. op het gehalte aan aanmaakwater belangrijk (zie art. Ir Tan). De normale vormbak-consistentie ligt bij een kracht van ca 4,5 kg op de kogel. Indien de hypothese juist is zou hieruit berekend kunnen worden het percentage aanmaakwater als functie van de temperatuur. (Indien tenminste geen verandering in de ontsluiting optreedt):

temp.	aanmaakwater
20°	33,7
50°	31,75
60°	30,50
70°	29
80°	27,50

De lijn voor de gestoomde klei ligt hoger dan die voor de ongestoomde, d.w.z., dat het aanmaakwater bij stomen hoger zou liggen. Dit is echter maar schijnbaar, daar in fig. 2 niet de werkelijke krachten op de kogel, maar de op 20,2° omgerekende uitgezet zijn. In de praktijk blijken dus de tegengestelde invloeden van de temp. en van de ontsluiting elkaar (althans bij 35°) ongeveer te compenseren.

Fig. 1 is in overeenstemming met onze praktische proeven, waarbij wij slechts geringe verschillen vonden. In fig. 1 zijn bij enkele punten de luchtgehalten van de specie geplaatst in cc per kg.

Er blijkt dus een tendenz te bestaan tot daling van het luchtgehalte bij hoger temp., wat in overeenstemming is met wat op theoretische gronden verwacht kan worden. De bepaling van drukvastheden van de gedroogde klei, bereid zonder en met stoom leverde te kleine verschillen op om een conclusie te kunnen trekken.

Fig. 3 geeft het verband tussen het initiaal watergehalte van de klei, de hoeveelheid stoom per ton klei, eindvochtgehalte en eindtemperatuur. (Onder aanneming, dat er geen warmteverliezen zijn en de stoom droog is). Deze grafiek is belangrijk i.v.m. de bereikbare temperaturen. Het is duidelijk, dat bij direct inblazen van stoom, het condensatiewater het vochtgehalte van de specie doet stijgen. Is het initiaal vochtgehalte van de klei hoog, dan is slechts een geringe temperatuurstijging mogelijk, anders wordt de klei te slap. Bij zeer hoog vochtgehalte, waarbij praktisch geen water toegevoegd kan worden, is geen verwarming door inblazen van stoom mogelijk.

Wordt natte klei verwerkt, dan zou men zijn toevlucht moeten nemen tot geheel of gedeeltelijke indirecte stoomverwarming, b.v. door een stoommantel om de menger aan te brengen. Dit alles kan uit fig. 3 afgelezen worden, waarin lijnen van constante temperatuurstijging en van constant initiaal watergehalte getrokken zijn. Tevens zijn hierin de stoomverbruiken voor verschillende gevallen af te lezen en daarmee de kosten per 1000 stenen. Ik heb hiervan een voorbeeld volledig uitgewerkt.

*Voorbeeld:* Wij gaan uit van klei met 25% initiaal watergehalte (= 20% op de natte klei) met een temp. van 10° C. Wij willen deze verwarmen op 50°, een stijging dus van 40° ( $\Delta t = 40^\circ$ ). Volgt men de lijn van 25% tot hij de consistentielijn snijdt, dan blijkt, dat, als wij uitsluitend stoom en geen water toevoegen, t 53 à 54° zou zijn, dus te hoog (eindtemp. 64°). Er moet dus nog aanmaakwater toegevoegd worden en wel 3%. De lijn van 28% initiaal water snijdt n.l. de lijn van  $\Delta t = 40^\circ$  juist in de consistentielijn. Het theoretisch stoomverbruik is dan 27,5 kg per 1000 kg klei. Stel het gewicht aan droge klei in 1000 w.f. op 2000 kg, dan is het theoretisch stoomverbruik 55 kg per duizend w.f.



Stellen wij de warmte, nodig voor het opwekken van 1 kg stoom, inclusief de verliezen in de ketel en de voormaler op 1000 Cal. dan is voor 1 kg stoom 1/7 kg kolen nodig (totaal rendement 60%) per duizend w.f. zijn dus nodig 8 kg kolen of bij een kolenprijs van f 50,— per ton, f 0,40 per duizend w.f., f 0,53 per duizend d.f. en f 0,76 per duizend k.k. (Uitsluitend voor brandstof, zonder stookloon van de ketel, rente, afschrijving en onderhoud). De kosten worden in totaal dus vrij hoog en liggen voor k.k. vermoedelijk in de buurt van f 1,20 à f 1,25 p. duizend. Bij hoger temp. stijgen zij natuurlijk nog. De in de strengpers van het K.I. bereikbare hoogste temp. was 44° C. Daardoor kon aan onze oorspronkelijke opdracht, het onderzoek ook tot hogere temp. uit te strekken, niet voldaan worden. Wel zijn op ons verzoek in een duplex-menger met stoommantel enige oriënterende proeven gedaan tot ruim 70°. Hierbij werden geen abnormaliteiten geconstateerd, d.w.z., dat de consistentie ligt op de lijn, die op de strengpers tot ca 40° is opgenomen. Uit de weinige proeven bij deze hoge temp. kon het K.I. echter geen definitieve conclusies te trekken. Men is hier nog mee bezig, niet in opdracht, maar als eigen onderzoek.

N.B. Uit enkele praktijkproeven, die na dit symposium zijn verricht, is gebleken, dat voor het geval de klei te slap wordt bij inleiding van stoom, zonder bezwaar *fijngemalen droge klei* in de voormaler kan worden toegevoegd.

#### B. *Evacueren van vormbakklei.*

Ik ging uit van de gedachte, dat de bekende gunstige eigenschappen die door het evacueren van klei ontstaan, voor een zeer belangrijk gedeelte behouden blijven, wanneer de ontvluchte klei enige tijd in de lucht verblijft. Dit doet zich b.v. voor bij het persen van dakpannen uit op een

vacuumpers ontvluchte kleikoeken. Eenmaal ontvluchte klei neemt blijkbaar moeilijk opnieuw lucht op.

Het leek mij daarom, dat het ontvluchten van de klei en vervolgens overbrengen in de vormbakpers, een verbetering van de kwaliteit van de stenen zou kunnen opleveren. Om dit na te gaan werden reeds bijna 4 jaar geleden de volgende technische proeven gedaan.

Specie uit de voormaler van een van onze fabrieken werd met een vrachtwagen naar een fabriek in Limburg gebracht, om in een vacuumpers ontvlucht te worden. Het bleek, dat de slappe specie niet verwerkt kon worden, doordat de vacuunkamer spoedig geheel vol zat. De gaten van het rooster voor de vacuunkamer zouden kleiner moeten zijn, dan bij de verwerking van de normale stijve strengpersklei. De specie bleef daarom enige dagen liggen, tot ze ongeveer de consistentie van de strengpersklei had. Daarna liep de grond door de pers met een vacuum van 85—90%. De streng werd in grote blokken gesneden, die op de vrachtwagen geladen werden, welke in de namiddag naar onze fabriek terugreed. De volgende morgen 7 uur, dus ca 15 uur na het ontvluchten, werd met de proef begonnen. De blokken werden gebracht op de ladder van de te voren leeggedraaide Abersonpers. In de ketel daarvan werd water toegevoegd om de consistentie van de stijve klei weer op die van de vormbakpers te brengen.

De geperste k.k. werden alle gemerkt en zo in de oven gezet, dat afwisselend een blad ontvluchte en een blad gewone stenen in het midden van de kamer gezet werden, zodat de te vergelijken stenen onder praktisch dezelfde omstandigheden gebrand werden. De proefbladen en de vergelijkingsbladen gewone steen werden door een zeer goede chef-sorteerder gesorteerd. De resultaten waren als volgt:

Sort.	Vacuum- steen	gewone steen
	%	%
I	79	43,5
Scherpe II	10,5	42,0
Gewone II	4,5	4,7
III	—	3,3
Vloersteen	6,0	6,5
	100,0	100,0

Het normale percentage I van deze fabriek was betrekkelijk laag, waarbij aangetekend moet worden, dat het een schrale kalkrijke grond betreft met een leemgehalte van ca 32%. Teneinde na te gaan, waar de sterke stijging van het percentage I bij de ontluchte stenen voornl. optreedt, werden 2 vergelijkingsbladen kanteling voor kanteling gesorteerd. Terwille van de overzichtelijkheid geven wij hier alleen de cijfers voor Sort. I. Door een vergissing bij het merken konden van 34 vacuumstenen van Sort. I de nrs van de kantelingen niet gereconstrueerd worden; zij waren echter van de hogere kantelingen afkomstig en zijn daarom direct na de kantelingen 1-4 genoemd.

Nr kanteling (van boven gerekend)	Vacuum- steen	Gewone steen
1—4	20	25
onbekend	34	5
5	2	7
6	6	7
7	7	5
8	7	7
9	10	5
10	10	9
11	11	5
12	12	3
13	14	4
14	11	4
15	12	3
16	9	2
17	6	1
18	3	—
19	—	—
Totaal	174	92

Hieruit blijkt, dat de stijging van Sort. I over de hele hoogte van de inzet plaats vond. Bij de vacuumstenen werden zelfs direct boven de vloersteen nog Sort. I aangetroffen. Bij de vacuumstenen komen in de onderste helft nog flinke aantallen I voor, bij de gewone stenen worden zij na de 10e of 11e kanteling reeds zeldzaam. Hieruit blijkt, dat bij ontluchte stenen de sintering (een oppervlakte-reactie) bij dezelfde temperatuur verder doorgaat dan bij niet ontluchte tengevolge van het groter aantal aanrakingspunten van de deeltjes. Contrôle door bepaling der wateropneming toonde aan, dat de uitkomsten niet geflatteerd waren, integendeel bleek een deel van de Scherpe II nog tot Sort. I te behoren, zodat de werkelijke uitkomsten nog iets gunstiger waren. Een tweede proef leverde nagenoeg hetzelfde resultaat. Onderzoek op de rammelproef van ontluchte en gewone stenen leverde slechts een gering verschil. Het verlies aan stukjes was voor de vacuumstenen in de 1e en 2e periode resp. 329 en 30 gr. voor de gewone stenen 259 en 19 gr. Het verlies aan stukjes was dus bij de vacuumstenen iets hoger. Het verschil is, gezien de spreiding bij deze proeven van geen betekenis. Beide monsters zijn op grond van het verlies aan stukjes te kwalificeren als van zeer goede kwaliteit. De poederverliezen waren nagenoeg gelijk. De valproef van de vacuumsteen was 98 cm, van de gewone 90 cm dus voor de vacuumstenen iets gunstiger. Het grote voordeel van ontluchting is dus niet gelegen in een absolute kwaliteitsverbetering, maar in een relatieve door een stijging van het percentage van de beste soorten.

#### Vacuummenger.

Gezien deze resultaten, hebben wij getracht de klei in een gewone menger te ontlichten, door achter de zeefplaat een vacuumkamer te bouwen. De onderkant daarvan lag la-

ger dan die van de menger. In deze „zak” bevonden zich uitdrijfmessen om de klei naar de gebruikelijke uitlaat met schuif te stuwen.

Aanvankelijk liep ook hier de vacuümkamer vol. Dit werd verbeterd door de zeefplaat gedeeltelijk af te sluiten. Het lukte echter niet, de klei uit de vacuümkamer te drijven. De tegendruk van de buitenlucht was te groot, waardoor de klei in de vacuümkamer omhooggestuwd en niet door de uitdrijfmessen meegenomen werd. Deze proeven, die veel tijd en geld gekost hebben, zijn opgegeven.

Een speciale strengpers voor het ont-luchten blijkt niet te ontgaan. Voor de in een automatische vormbakpers te verwerken kwanta moet dit een pers van grote capaciteit zijn, met een diameter van 45—50 centimeter. Het rooster moet aangepast worden aan de slappe consistentie van de specie of men moet een vacuumpers zonder rooster toepassen, zoals sinds enkele jaren door Soest-Ferrum te Düsseldorf gebouwd worden. Met deze laatste pers heeft de fa Quireins in 1950 soortgelijke proeven genomen als wij, met hetzelfde resultaat.

# Voordrachten

over het verwarmen van klei vóór de vormgeving

## Het rheologisch gedrag van twee rivierkleisoorten bij hogere temperaturen

door Ir. T. K. TAN

### Summary.

In this article the changes in rheological behaviour of a lean and a fat alluvial clay (expressed in the content of particles  $< 2 \mu$ ) have been investigated with a tri-axial apparatus (used as an uniaxial apparatus) and observations have been made with respect to drying properties, formation of cracks, "case hardening", stickiness to the moulds and slumping.

These first orientating investigations have proved that warming of plastic clay before moulding has many favourable effects. These effects are dependent on:

- the character of the clay minerals. (literature and patents, published abroad, mention as a rule much higher temperatures f.i. 90—100° C than is possible for the Dutch alluvial clays.)
- the quantity of particles smaller than  $2 \mu$  (with the alluvial clays the better workability at higher temperatures was observed with clays with an increasing content of the very small particles.)
- the quantity of sand, silt or grog. (these components influence all effects extremely.)
- the quantity of tempering water. (the influence of the quantity of water is great but insufficiently investigated yet.)
- the air content (this factor has not yet been investigated.)
- the nature of the product to be manufactured. (f.i. a product that has to be made of very fat clay or that has large dimensions will influence the introduction of the process in actual practice.)

### 1. Inleiding.

DIT INLEIDEND ONDERZOEK is gedaan met het hoofddoel na te gaan of voorverwarming van de kleispecie voor de baksteenindustrie mogelijk gunstige resultaten zal opleveren. Het is in de literatuur bekend,

hoe *kleisuspensies* zich gedragen bij hogere temperaturen <sup>1)</sup>. Daarbij neemt dan de viscositeit af ongeveer rechtevenredig met de viscositeit van het water. Hoe het gedrag van zo'n complex materiaal als klei van tamelijk *stijve* consistentie is bij hogere temperaturen was nog niet bekend. Wel zijn enkele samendrukkingsproeven in het Laboratorium voor Grondmechanica gedaan bij verschillende temperaturen; daarbij is inderdaad gebleken, dat klei bij hogere temperaturen veel sneller samengedrukt wordt.

Om dit plasticiteitsonderzoek te kunnen uitvoeren hebben we apparaten nodig, die onder alle omstandigheden reproduceerbare resultaten zullen opleveren en die theoretisch verantwoord zijn. Daartoe komen alleen maar in aanmerking het Torsieapparaat en het Triaxiaalapparaat. Het Torsieapparaat moest al spoedig vervallen omdat het te ingewikkeld bleek voorzieningen te treffen om bij hogere temperaturen te werken. Aldus is het Triaxiaalapparaat voor dit onderzoek het aangewezen hulpmiddel.

<sup>1)</sup> M. Wolarowitsch en D. Tolstoi, „Ueber Viskosität und Plastizität disper- ser Systeme, Untersuchung des Einflusses von Temperatur und Elektrolyten auf die plastischen Eigenschaften von Kaolin". Koll. Zt. 73, 92-94, 1935.

### II. Voorbereiding der monsters.

De proeven zijn gedaan op twee soorten klei n.l.:

- a) een schrale klei met een gehalte van ca 31% < 10  $\mu$ , inclusief 15 gewichtsprocenten kleideeltjes < 2  $\mu$ ;
- b) een vette klei met een gehalte van 78% < 10  $\mu$ , inclusief 50 gewichtsprocenten deeltjes < 2  $\mu$ .

Voor het mengen van de schrale klei met water hebben we voor een behoorlijke en homogene menging 30 minuten nodig, harde kernen treden niet meer op en na bepaling van de watergehalten bedragen de verschillen niet meer dan 0,5% van het drooggewicht. Uit proeven is gebleken dat kleine variaties in het watergehalte grote verschillen in mechanische eigenschappen kunnen veroorzaken. Dit is reeds bij het mengen te constateren en later zullen we dit bij de triaxiaalproeven nog nader toelichten.

Voor het mengen van eenzelfde hoeveelheid vette klei hebben we ruim 1½ uur nodig. De menging is dan schijnbaar vrij behoorlijk, hetgeen nog niet wil zeggen, dat de klei nu overal hetzelfde watergehalte heeft. De oorspronkelijke harde kernen zijn nu wel verkleind, maar ze hebben nog niet het juiste watergehalte. Voor een behoorlijke vocht-distributie moet deze geknede specie nog ca 24 uur in een gesloten vocht-

ge ruimte worden bewaard. Desondanks kunnen de watergehalten soms nog bijna 1% verschillen, hetgeen echter voor onze triaxiaalproeven — althans bij watergehalten van 50% (droge basis) — nog toelaatbaar is.

### III. Vormen der monsters.

Het vormen der monsters is bij beide species verschillend. Zo goed mogelijk werd de practijk nagebootst:

- a) De schrale klei voor het vormbakprocédé werd geperst in 2 cilindrische halve metalen buizen (diam. 3,8 cm) uit de vorm gedrukt en op 8 cm hoogte op maat afgesneden. Bij een watergehalte van 26½% (droge basis) schijnen de monsters weinig bestand te zijn tegen stoten.
- b) De vette klei werd na het „rotten” een paar maal door een strengpers gehaald om ze weer volledig te verknedden. De monsters diam. 3,8 cm en 8 cm hoog waren gestrengperst bij temp. van 18°, 40°, 50°, 60° en hoger. Het resultaat zien wij op fig. 1. Hierbij is gewerkt met 46% watergehalte (droge basis). Bij 18° is de wand van de streng even zacht als de kern ervan. Bij 40° vormt zich een korst aan de buitenkant, hetgeen de streng versterkt. Bij 50° en hoger: uitslaan van dampen en versnelde korstvorming. Bij 60° vertonen zich de eerste scheu-



Fig. 1. Kleimonsters uit de strengpers bij verschillende temperaturen.

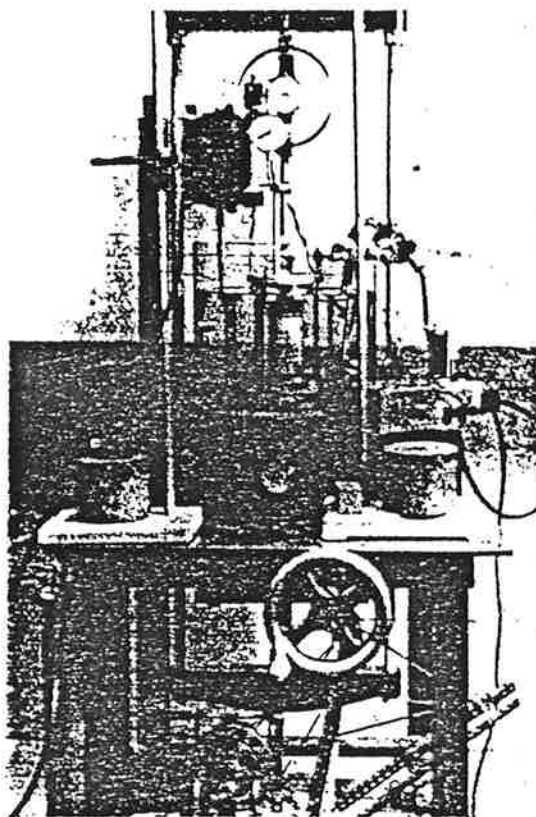
ren. Bij  $60^{\circ}$  is het materiaal onhandelbaar, het staat onder inwendige dampspanning, die snel naar buiten slaat. Weinig bestand tegen zelfs kleine deformaties. De korstvorming is ook heel duidelijk te zien op de meest rechte cylinder van de foto. Dit monster is gevormd bij  $40^{\circ}$  C en is kapotgedrukt bij  $18^{\circ}$  C. Op de korst zijn duidelijk schilfers gevormd in de vorm van visschubben.

#### *IVa. Beschrijving triaxiaalapparaat voor hogere temperaturen.*

Het onderzoek is gedaan met een triaxiaalapparaat (fig. 2). Zie ook fig. 1 in het artikel van prof. Geuze in „Klei”, April 1953, pag. 107, dat voor dit doel speciaal is ingericht. De bedoeling was dus na te gaan, hoe de klei zich mechanisch gedraagt bij temperaturen van  $18^{\circ}$ ,  $40^{\circ}$ ,  $60^{\circ}$  en  $80^{\circ}$  C. Kleicylindertjes met een diameter van 3,8 cm en 8 cm hoog werden omgeven door een zeer dun rubbermembraan en in het triaxiaalapparaat geplaatst. Het rubbermembraan is ca 0,05 mm dik en het bleek dat het nagenoeg geen krachten opneemt, zeker niet bij hogere temperaturen.

Door dit rubbervliesje is het monster volledig afgedicht tegen het omringende water. Met behulp van een electrisch verwarmingsapparaat in combinatie met een thermostaat konden wij het geheel met een nauwkeurigheid van  $0,1^{\circ}$  C op de gewenste temperatuur brengen. Na het inbrengen moest het monster nog 12 à 15 minuten staan om een nagenoeg gelijkmatige temperatuur te krijgen.

Het juk, waaraan de plunjer zit, werd nu omhooggedraaid met een constante snelheid. De deformatie en de spanning kunnen op het onderste resp. bovenste meethorloge worden afgelezen en op grafiekpapier na correctie van de invloed van het rubbermembraan en de diameter worden uitgezet. Voor elk der beide kleisoorten zijn op deze manier 4



*Fig. 2*  
Het triaxiaalapparaat ingericht voor het onderzoek bij hogere temperaturen.

series monsters beproefd bij  $18^{\circ}$ ,  $40^{\circ}$ ,  $60^{\circ}$  en  $80^{\circ}$  C bij deformatie-snelheden van 6%, 3%, 1,5% en 3,6% van de hoogte per minuut. Elke serie is twee maal herhaald. De proeven zijn gedaan op ongeveer 40 monsters van elke kleisoort. Dit aantal werd wel voldoende geacht om een behoorlijk beeld te krijgen van het mechanisch gedrag van klei bij verschillende temperaturen

De proef werd stopgezet, wanneer breuk optrad. Dit manifesteerde zich door het optreden van verschuivingslijnen of door afschuiving langs één vlak. Het moment, waarop breuk optrad was goed reproduceerbaar. De resultaten werden grafisch in een spannings-deformatiediagram uitgezet. Zoals als voorbeeld, getekend in fig. 3 in het artikel van prof. Geuze in „Klei”, April 1953 pag. 109.

#### *IVb. Bespreking eindresultaten.*

Fig. 3 geeft de toestand van de

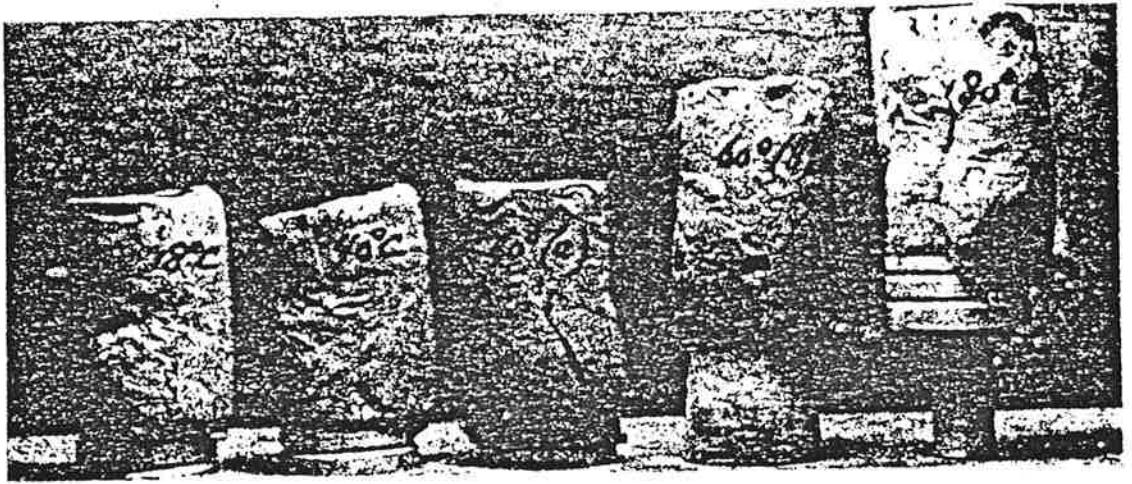


Fig. 3.

De toestand der cilindertjes van de VETTE klei na een deformatieproef.

vette kleimonsters aan het einde van de deformatieproef. (50% watergehalte). Bij 18° en 40° C breuk door opstuiking en afschuiving. Bij 60° (a) en (b) duidelijk door afschuiving. 60° (a) is warm uit het membraan gehaald en afgekoeld, scheuren treden bij het afkoclen versterkt op. 60° (b) is eerst afgekoeld en daarna uit het membraan gehaald; resultaat minder geprononceerde scheuren. Bij 80° is het monster reeds bij ca 2% deformatie volledig afgeschoven en bij een kracht die slechts  $\frac{1}{2} \times$  zo groot is als bij 18° C. Het verband tussen afschuifspanning en temperatuur zien we op fig. 4. Deze grafiek toont ons

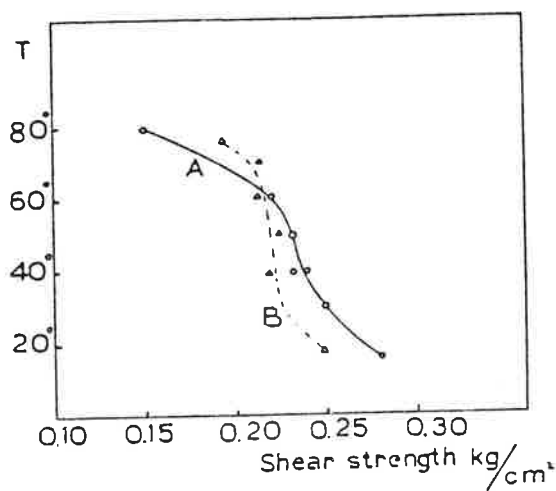


Fig. 4

Verband tussen de afschuifspanning (in  $\text{kg}/\text{cm}^2$ ) en de temperatuur  $T$  voor de vette klei A en de schrale klei B.

dat de afschuifspanning tussen 40° en 60° C niet noemenswaard veranderd is, m.a.w. tussen 40° en 60° C zullen we toch met dezelfde vervormingskracht moeten kneden in de voormaler.

De proeven op schrale klei zijn genomen met watergehalten variërend tussen 21,6 ..... 26,6% watergehalte bij temp. van 18°, 40°, 60°, 70° en 80° C.

De resultaten zijn weergegeven in fig. 5.

Alle monsters van de schrale klei zijn bij alle temperaturen na deformatie bezweken door opstuiking. De middelste drie blokjes tonen ons ook één der gunstige aspecten van de voorverwarming:

Blokje A is gevormd bij 45° C, en na een paar minuten direct gedroogd bij 100° C ..... geen scheuren.

Blokjes B en C zijn gevormd bij 18° C en na een paar minuten direct gedroogd bij 100° C ..... duidelijk geprononceerde scheuren.

Blokje A hoefde niet zo'n grote temp. sprong mee te maken als B en C.

Het verband tussen afschuifspanning en temperatuur in fig. 4 toont ons, dat we voor temp. tussen 40° C en 70° C bij schrale klei nagenoeg dezelfde afschuifspanning hebben, d.w.z. dat de mengers en de persen tussen de 40° C en 70° C een even-

grote kracht moeten uitoefenen om de specie te mengen resp. persen.

*Wij kunnen dus de conclusie trekken, dat de gunstige invloeden van de verhoogde temp. o.a. het plastischer maken van de specie des te sterker naar voren treedt, naarmate de klei meer deeltjes bevat < 2  $\mu$ , dus vetter is.*

V. *Interpretatie van de spanning-deformatiekrommen voor de praktijk.*

Nadat de steen uit de vorm is neergeslagen, kan ze onder omstandigheden uitzakken (taps worden van de steen). Wat de praktijk uitzakken noemt, zijn eigenlijk *kleine permanente deformaties*. Dit gebied van de kleine deformaties kan worden teruggevonden in de spanning-deformatiekrommen. Zie weer het voorbeeld in het art. van prof. Geuze (fig. 3, pag. 109). Een kleine drempelwaarde (arbitrair genomen als de spanning behoorde bij  $\frac{1}{2}$  mm deformatie) en steile helling duiden aan, dat het materiaal weinig bestand is tegen uitzakken, het materiaal is slap. Krijgt zo'n vormstuk nu een stootje, of ondergaat het trillingen, dan zal het gemakkelijk verder uitzakken. Het is dus voor de praktische toepassing van al dan niet verwarmde plastische klei van belang, dat de drempelwaarde zo groot en de beginhelling zo flauw mogelijk is.

Dit zouden we b.v. kunnen bereiken door over te gaan op kleinere watergehalten.

Voorbeeld voor een schrale klei bij 6% deformatiesnelheid. (droge basis)

Watergehalte	drempelwaarde	beginhelling
26,4%	0,07	1 : 2
24,2%	0,09	1 : 1 <sup>2</sup>
21,8%	0,12	1 : 1

Maar verlaging van het watergehalte betekent het toepassen van grotere krachten bij het deformereren, bijv. bij de schrale klei voor een watergehalteverlaging van 26,4 . . . . 21,8% zou de pers een kracht moeten opbrengen die 1,75  $\times$  zo groot is. Van 26,4 op 25,4% is het ongeveer 1,16  $\times$  zo groot. Bij eenzelfde capaciteit der motoren zou de productie per uur dus  $\frac{6}{7}$   $\times$  zo groot zijn als we overgingen van 26,4 op 25,4% watergehalte. *Maar door bij het verlaagd watergehalte de temp. te verhogen kunnen we de klei weer slapper maken.* Uit proeven is gebleken dat specie van 26,4% watergehalte bij 18° C *even goed verwerkbaar is als specie van 25,4% bij 40° C.*

N.B. Uit de praktijk is het be-

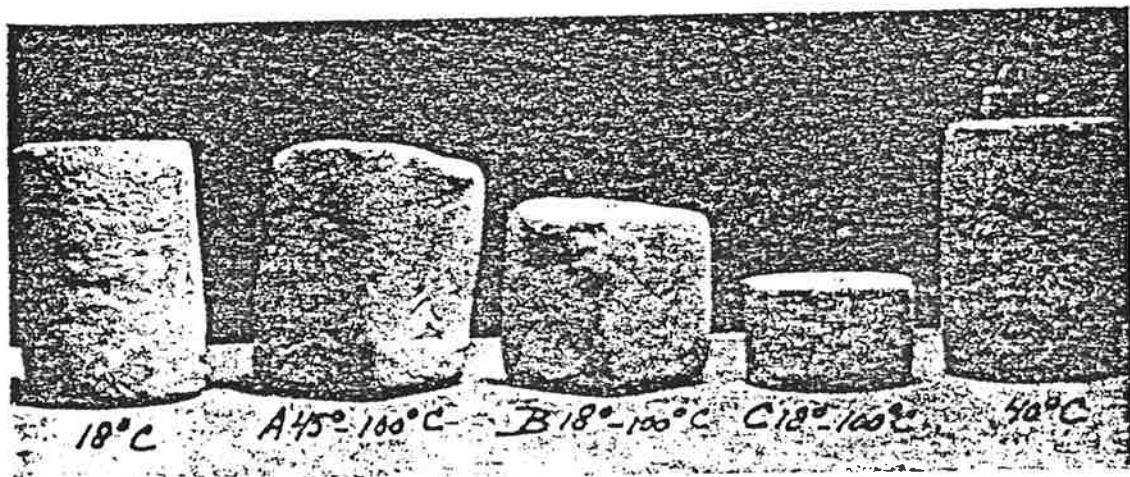


Fig. 5.

De toestand der cilindertjes van de SCHRALE klei na een deformatieproef.



kend, dat de klei in de voormaler en de pers in de zomermaanden veel gemakkelijker bewerkbaar is dan in het vroege voorjaar.

*Voor de vette klei is het resultaat veel frappanter:*

Vette specie van 50% bij 18° C is even goed verwerkbaar als die van 46% watergehalte bij 40° C, dus hier heeft de temperatuur veel meer invloed. Door verhoging van de temp. kunnen we dus het gunstige effect bereiken van gelijke verwerkbaarheid, terwijl we eigenlijk monsters kunnen verwerken van minder watergehalte, dus specie die bij kamertemperatuur veel stijver is.

*Invloed van de deformatiesnelheid.*

Bij vette kleisoorten zijn zowel beghelling als drempelwaarde tevens afhankelijk van de deformatiesnelheid, hoe groter deze snelheid des te flauwer wordt de helling en des te groter de drempelwaarde. Dit is dus een voor het uitzakken gunstige omstandigheid. Bij *grotere snelheden* wordt een *verhoogde elasticiteit* geconstateerd. Dit gunstige verschijnsel treedt des te *minder* op, naarmate de *klei schraler* is en het *watergehalte hoger* wordt; hoe schraler klei en hoe groter watergehalte hoe kleiner elasticiteit.

Maar vette kleisoorten hebben echter tengevolge van de snelheidsinvloed op de mechanische eigenschappen ook een nadeel, n.l. de klei wordt stijver, naarmate de snelheid van de machines groter wordt. (Verschijnsel van de thixotropie).

Dit nadeel is des te sterker naarmate het gehalte aan deeltjes  $< 2 \mu$ , hoger wordt.

*Samenvatting der resultaten en conclusies.*

1. Door verhoging van het watergehalte wordt de klei plastischer en minder stijf van consistentie. Om de monsters beter bestand te maken tegen uitzakken zouden we moeten

overgaan op kleinere watergehalten. Hierdoor zouden we echter veel sterkere machines moeten hebben voor een gelijke productiecapaciteit. Door verhoging der temperatuur echter kunnen we de specie veel plastischer maken, zodat we nu bij gelijke capaciteit der machines toch met veel geringer watergehalte kunnen werken. Vooral bij vormstukken, die snel kunnen afkoelen (bijv. holle buizen, dakpannen) dus waarbij het oppervlak groot is t.o.v. het volume, zal de specie zich gauw versterken.

2. Bovendien zal bij afkoeling een *korst* om het vormstuk komen, dus het wordt a.h.w. *gewapend* en is dus veel beter bestand tegen stoten. Bij het afkoelen verdampt er tevens water, zodat het watergehalte wéér verlaagd wordt.

3. *Temperatuurverhoging leidt tot vermindering van het kleven van de specie aan de vormen.*

4. Als gevolg van het kleinere watergehalte bij hogere temp. hoeft er bij het drogen minder water te worden verdampt.

5. We krijgen veel compacter stenen.

6. De scheurvorming neemt belangrijk af.

Al deze gunstige invloeden treden des te sterker op, naarmate de gebezigde specie meer kleideeltjes  $< 2 \mu$  bevat en naarmate de vormstukken gunstiger vormen hebben om af te koelen (kleine inhoud t.o.v. uitwendig oppervlak). De toegepaste temperatuur is afhankelijk van de kleisoort. Over het algemeen is de max.temp. 60° C.

Dit inleidend onderzoek toont ons dus inderdaad gunstige aspecten van de voorverwarming van de specie. De invloeden zijn gunstig tot een temp. van ca 60° C en zijn des te beter naarmate de klei vetter is en naarmate de vormstukken gunstiger geproportionneerd zijn voor de afkoeling.

LABORAT. VOOR GRONDMECHANICA.

Delft, Juni 1951.

# Voordrachten

## over het verwarmen van klei vóór de vormgeving

### Over het gebruik van laboratoriummethoden bij de bepaling van de plasticiteit en de vastheid van klei.

#### Summary.

As it is very important to study the rheological behaviour of plastic clay at higher temperatures, this article deals with the principles and methods of rheological measurements.

The ceramic literature comprises a great number of methods to determine the "plasticity" of clay, but most of these methods have little or no value for scientific interpretation which is necessary for an unambiguous comparison of clays of different origin.

For the measurement of changes in plasticity when warming plastic clay we had the choice between the torsion apparatus and the tri-axial apparatus (used as an uniaxial apparatus).

Making provisions for working at higher temperatures appeared very difficult with the torsion apparatus as with the tri-axial apparatus it was quite simple, consequently the latter was indicated for the investigation at issue. Therefore this apparatus is discussed in more detail.

#### DE TOEPASSING VAN KLEI

in de baksteenindustrie en het onderhavige onderzoek over de verwarming van plastische klei brengt ons in aanraking met vraagstukken op het gebied van het mechanisch onderzoek der materialen.

Begrippen zoals vastheid en veerkrachtigheid (elasticiteit) zijn ons vertrouwd. Zodra echter — behalve krachten en vervormingen — ook de factor *tijd* een belangrijke rol gaat spelen, komen we op een gebied van minder algemene bekendheid.

Een der gebruikelijke aanduidingen van een belangrijke eigenschap is de *kneedbaarheid* of *plasticiteit*. Dit is in feite niet één enkele eigenschap,

doch een complex van eigenschappen. De definitie van een *plastisch* materiaal: (*blijvende* vervorming onder invloed van een op het materiaal uitgeoefende kracht, zonder verlies van samenhang en met behoud van vorm na het opheffen van de kracht) is onvolledig, aangezien:

- a. de *vervorming*, meer of minder blijvend kan zijn. De tegenhanger, het niet blijvende of terugkerend gedeelte noemen we elastisch;
- b. de *grootte van de kracht* bepaalt of het materiaal zich min of meer plastisch gedraagt. Dezelfde klei kan zich onder invloed van geringe krachten volkomen elastisch gedragen; bij grote krachten plastisch;
- c. de *grootte van de bereikte vervorming*, afhankelijk van de tijd, waarover de kracht werkt. Toenemende tijd betekent in het algemeen, toenemende blijvende verandering;

d. de *snelheid van vervorming*.

Willen we over plasticiteit spreken, dan moet dus een *groot aantal gegevens* worden verzameld om elkaar te kunnen verstaan. Overdracht van ervaring en kennis is nodig om elkaar te kunnen verstaan. Nodig voor de ontwikkeling van ieder technisch proces.

Het grote probleem is op welke wijze deze gegevens moeten worden

door  
Prof. Ir. E. C. W. A. GEUZE

verstrekt. Historisch gezien twee stromingen:

1e. Waarneming van hetgeen zich bij het technisch proces afspeelt, ondersteund door beoordeling op het gevoel. Later eenvoudige technische methoden. Meestal: hoe eenvoudiger de methode, hoe ingewikkelder het complex van eigenschappen, dat men ermede bepaalt. Vaak concurrerende methoden.

Opsomming van enkele der methoden:

- a. weerstand tegen indringing of penetratie van een metalen stempel of naald in het materiaal;
- b. drukproeven, waarbij het materiaal tussen twee evenwijdige metalen platen wordt gedrukt;
- c. persproeven, door kleine cirkelvormige opening of capillaire-buis;
- d. torsieproeven (te behandelen door ir Tan);
- e. weerstand van stroming langs een kogel.

Grote verschillen tussen methoden onderling en de gebezigde criteria. Geen antwoord op de vraag, wat onder plasticiteit moet worden verstaan, noch getalwaarde voor deze grootheid.

Als technische methoden voor het bedrijf (contrôle) van belang. Overeenkomst met de betontechniek (slumpproef op plastisch betonmengsel, kubusvastheid). Vastheid geeft echter geen inlichting over het gedrag van een betonconstructie, waar het tenslotte om gaat.

2e. Stroming om laboratoriumproeven zo in te richten, dat de gemeten grootheden een *fundamentele* betekenis hebben. Vereist *methodisch* onderzoek. Resultaten in de vorm van een aantal coëfficiënten, die *karakteristiek* zijn voor het betrokken materiaal. Deze opzet heet een *rheologisch* onderzoek.

In Nederland is op dit gebied baanbrekend werk verricht door de Viscositeitscommissie der Kon. Academie van Wetenschappen. Prof. J. M. Burgers is de belangrijkste figuur

op dit gebied. In samenwerking met dr. Scott Blair een studie over het opstellen van wetenschappelijke regels, welke bij het geven van rheologische benamingen moeten worden aangehouden (de z.g. rheologische nomenclatuur). Deze beoogt:

1. een classificatie naar het type van het rheologisch gedrag;
2. een classificatie van de materialen naar hun rheologisch gedrag.

De grote betekenis van deze studie ligt in:

- a. Ondubbelzinnige definities van alle mechanische en natuurkundige grootheden, die voor de beschrijving van het rheologisch gedrag nodig zijn. Misverstand over de betekenis van deze grootheden is daardoor uitgesloten; overdracht van ervaringen wordt mogelijk.
- b. Door een analyse van het fundamentele verband tussen spanningen, vormveranderingen en vormveranderingssnelheden, worden de grondslagen der proefondervindelijke methoden gelegd.

Het verschil van de gebruikelijke technische methoden met de door b aangeduide gedragslijn wordt aan een voorbeeld toegelicht.

Bij de eenvoudige *drukproef* wordt een klei-cylindertje tussen twee evenwijdige platen gedrukt, b.v. tot de hoogte met 100% is verminderd. We meten de kracht  $P$ , die daarvoor nodig is.

Met behulp van deze methode heeft men b.v. de invloed van het *watergehalte* op de benodigde kracht onderzocht. Dit verband bleek ongeveer rechtlijnig te zijn. Met toenemend watergehalte neemt de benodigde kracht uiteraard af. Het verband kracht—watergehalte kan op die wijze worden vastgelegd voor een aantal kleisoorten. Daarmede is de betekenis van deze methode geschetst.

Wil men dit resultaat gebruiken om b.v. de invloed van de toevoeging van aanmaakwater te berekenen op de energie, die nodig is voor het uit-

persen van klei door een buis of opening, dan verschaffen deze resultaten ons *geen basis voor berekening*, aangezien dit een vraagstuk is, waarbij de weerstand in hoge mate afhankelijk is van de *snelheid van vormverandering*.

We zullen het verband tussen de benodigde kracht en de vormveranderingsnelheid dus *ondubbelzinnig* moeten bepalen.

Men kan daarvoor met voordeel gebruik maken van een z.g. *triaxiaal-apparaat*, wat o.a. ook door ir. Tan werd gebezigd voor zijn onderzoek naar het mechanisch gedrag van klei bij hogere temperaturen. (Fig. 1).

In beginsel vertoont het principe van dit apparaat een grote overeenkomst met dat van de technische drukproef. Er is echter verschil in de belastingen

van de kleicylinder en in de methode van uitvoering van de proef.

Voor het aanbrengen van de belasting is de kleicylinder omgeven door een rubber vlies, dat tevens waterdicht is verbonden met de beide drukplaten. Het aldus „ingepakte” klei-monster wordt in een cilindervormig reservoir geplaatst, dat geheel met water is gevuld. In het deksel van het reservoir is een plunjer aangebracht, die op de bovenste drukplaat rust. Het water in het reservoir wordt onder een bepaalde druk gebracht (drukreservoir) en gedurende de proef constant gehouden. (De alzijdige gelijke of hydrostatische drukspanning.) Door middel van de plunjer wordt de kleicylinder met een vooraf gekozen, constante snelheid samengedrukt. Het beste geschiedt

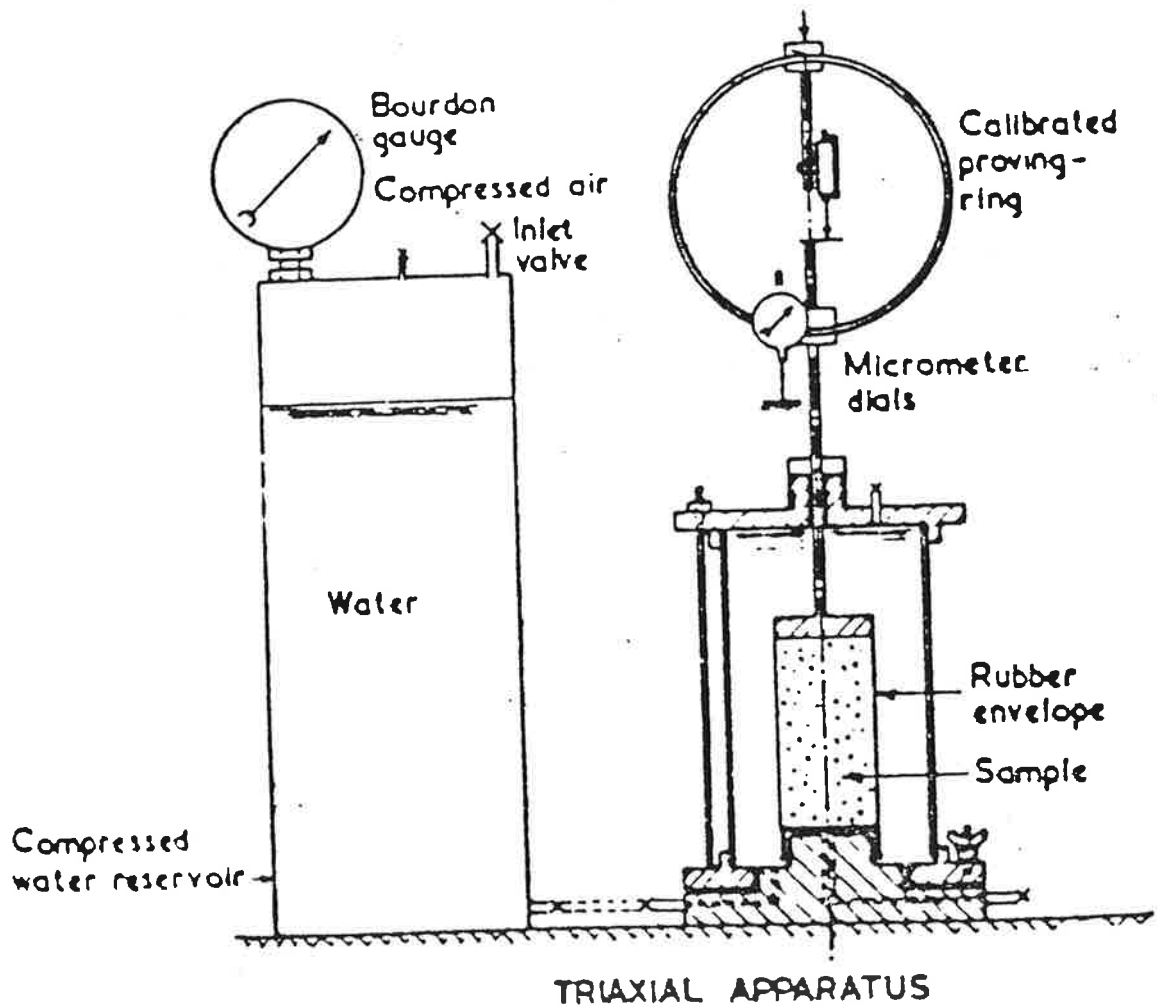


Fig. 1 Schema van het triaxiaalapparaat.

dit machinaal. Met behulp van een z.g. drukring wordt met regelmatige tussenpozen de voor samendrukking benodigde kracht gemeten. Het resultaat is een z.g. *spannings-deformatie diagram*.

Het blijkt, dat deze diagrammen vrijwel altijd een overeenkomstig verloop hebben. De kracht neemt aanvankelijk weinig en geleidelijk steeds meer toe. Tenslotte wordt hij vrijwel constant, terwijl de deformatie voortgaat met dezelfde snelheid toe te nemen. De maximale waarde van de loodrechte spanning, waarbij de cylinder bij deze *deformatie-snelheid* bezwijkt (bezwijken is dus: benodigde kracht neemt niet meer toe, terwijl de snelheid constant is) wordt samengesteld met de alzijdige gelijke spanning in een *diagram* volgens *Mohr*. Met behulp van dit diagram kan de schuifspanning in vlakken volgens een bepaalde richting worden berekend. In plaats van de deformaties in 2 onderling loodrechte richtingen door een combinatie van hoofdspansingen, kan de *vormverandering* van de kleicylinder worden uitgedrukt door een enkele grootte, de *hoekverdraaiing*  $\gamma$  als functie van de schuifspanning  $T$ .

Wij bepaalden dus proefondervin-

delijk een z.g.  $T-\gamma$  diagram voor een bepaalde deformatie-snelheid  $D = \frac{d\gamma}{dt}$  (hoekverdraaiing per tijdseen-

heid). Hiermede is het resultaat teruggebracht tot enkele *fundamentele mechanische* grootheden. Niets belet ons ditzelfde verband opnieuw te bepalen voor andere waarden van  $D$ .

De gevolgde methode lijkt ingewikkeld; men went echter spoedig aan het lezen van deze diagrammen. Het nut van het gebruik van internationaal gebruikelijke grootheden bleek bij een Congres over de schuifweerstand van grond in '50 te Londen. Het triaxiaal-apparaat is van Angel-Saksische origine. In het Laboratorium voor Grondmechanica te Delft was tot dusverre in gebruik een enigszins verschillend apparaat: het z.g. cel-apparaat. Bij de vergelijking van de uitkomsten verkregen met deze beide apparaten was een vruchtbare discussie slechts mogelijk door deze uit te drukken in het boven aangeduide fundamentele verband.

Een voorbeeld van fundamenteel verband, dat op het Congres aan de orde kwam, is het volgende resultaat. (Fig. 2, verband tussen watergehalte en afschuifspanning). Men kan hier onmiddellijk uit aflezen, dat voor de *desbetreffende klei* de ver-

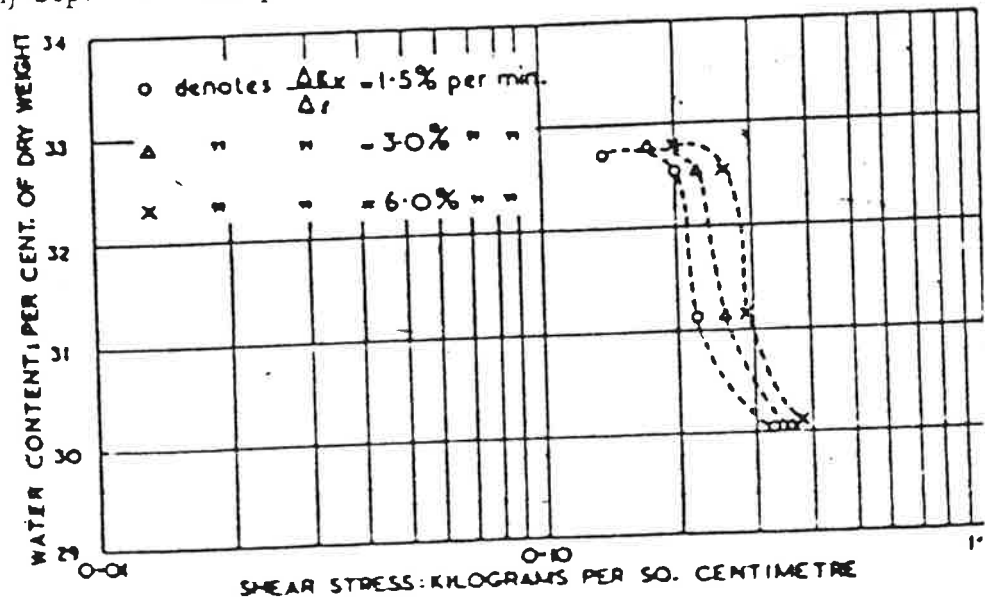


Fig. 2. Schuifweerstand van klei bij verschillende watergehalten en verschillende verschuivingsnelheden.

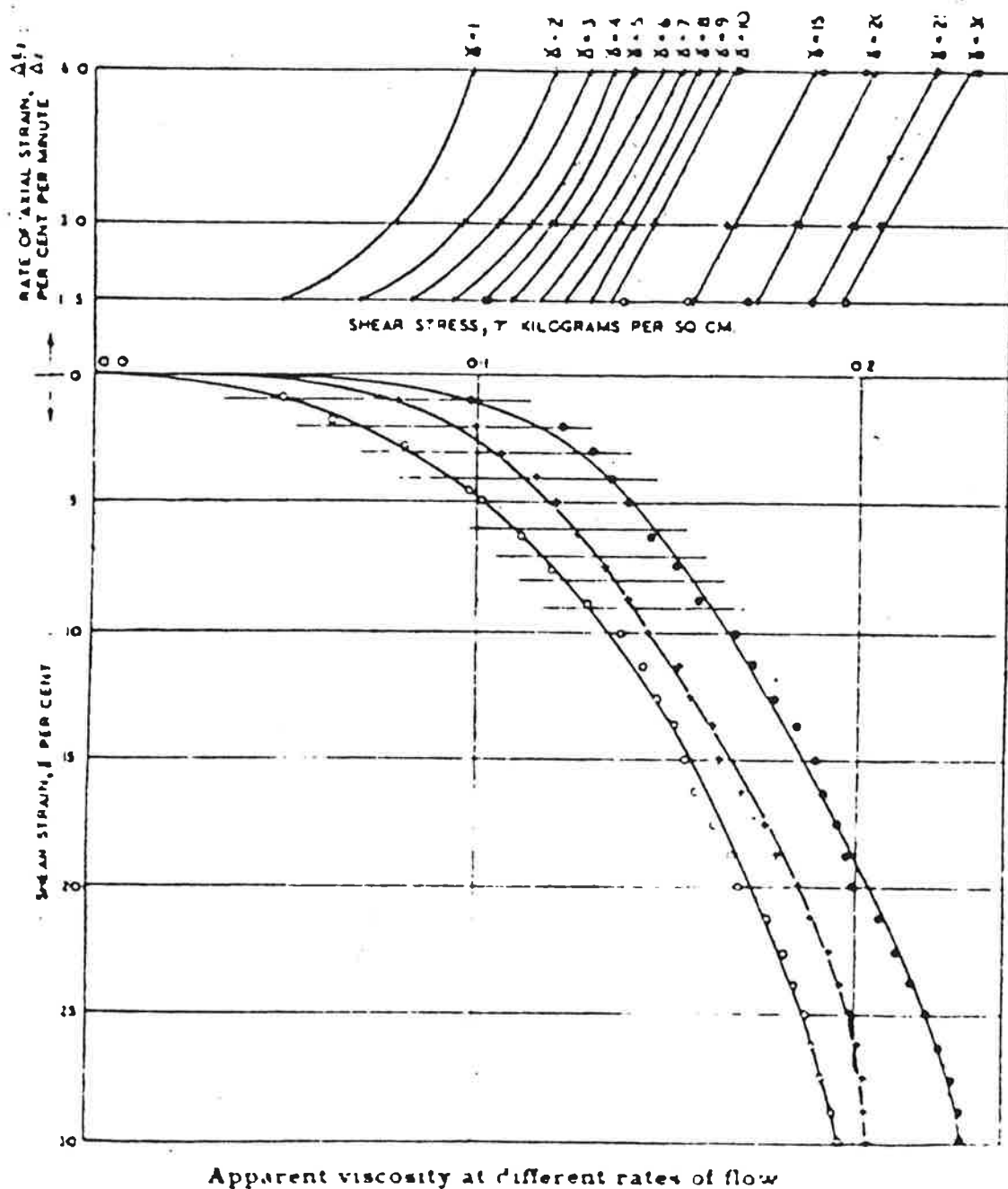


Fig. 3. Schijnbare viscositeit bij verschillende snelheid van vervorming.

andering van het watergehalte binnen bepaalde grenzen de schuifweerstand weinig beïnvloedt. Ook is duidelijk te zien, dat deze weerstand bij de onderzochte (lage) snelheden slechts weinig toeneemt.

Men kan uit dergelijke proeven echter ook een meer volledig beeld afleiden. Met behulp van  $T-\gamma$  diagrammen voor verschillende verschuivingsnelheden  $D$ , kunnen ook  $D-T$

diagrammen worden geconstrueerd voor toenemende verschuivingen  $\gamma$ . (Fig. 3). We kunnen daaruit voor het gebezigde type klei gevolgtrekkingen maken:

1. dat niet toenemende snelheid van vervorming, ook de weerstand tegen vervorming toeneemt;
2. dat de weerstand tegen vervorming toeneemt niet de grootte der vervorming;

3. dat deze toeneming bij kleine snelheden veel geleidelijker is dan bij grote snelheden;
4. dat bij de grote deformaties ( $\dot{\gamma} = 10$  en meer) zich een D—T verband ontwikkelt, dat bekend staat als de wet van Bingham:

$$T = T_e + \eta D$$

Vanaf een bepaalde waarde voor  $\dot{\gamma}$  neemt de snelheid van deformatie evenredig toe met de schuifspanning. Deze evenredigheid wordt uitgedrukt door de coëfficiënt  $\eta$ , de z.g. *viscositeits-coëfficiënt*, die één voor de kleisoort karakteristieke grootte is.

De grootte  $T_e$ , „yield value” of „drempelwaarde” kan wel *technisch* worden aangegeven, door de D—T lijn te snijden met de T—as. Over de *fysische* betekenis van deze grootte is daarmee nog niets gezegd. Er is overigens een zodanige tegenstelling tussen het verloop van de D—T diagrammen voor kleine en grote deformaties, dat er in ieder geval sprake is van een controverse.

De gebruikte klei was een „schrale” klei, zoals uit het diagram van de korrelverdeling blijkt. (Fig. 4). Ongeveer 33% van het drooggewicht

had geringere korrelafmetingen dan 0.01 mm.

Van belang is het zandgehalte, dat hier tamelijk hoog is, voor de verklaring der D—T diagrammen.

Een enkel woord over de mogelijkheid van de toepassing van deze resultaten op vraagstukken van de baksteenindustrie, zoals mij door ir. Voskuil werd medegedeeld.

- a. de gevolgen van een toevoeging van het aanmaakwater, waarover reeds werd gesproken;
- b. het verloop van de plasticiteit en de vastheid van klei tijdens het proces van droging;
- c. de invloed van het zandgehalte;
- d. de invloed van de verwarming van plastische klei.

#### LABORATORIUM VOOR GRONDMECHANICA.

DELFT, Juni 1951.

#### *Bibliographie.*

1. M. Reiner. „Deformation and Flow”, London 1949.
2. F. H. Norton. „An instrument for Measuring the Workability of Clays”. J. Am. Ceram. Soc. 21. 33 (1938).
3. R. Haefeli & Ch. Schaerer. „Der Triaxialapparat”. Mitt. der Versuchsanstalt für Wasserbau und Erdbau an der E.T.H. Zürich, Zürich 1946.

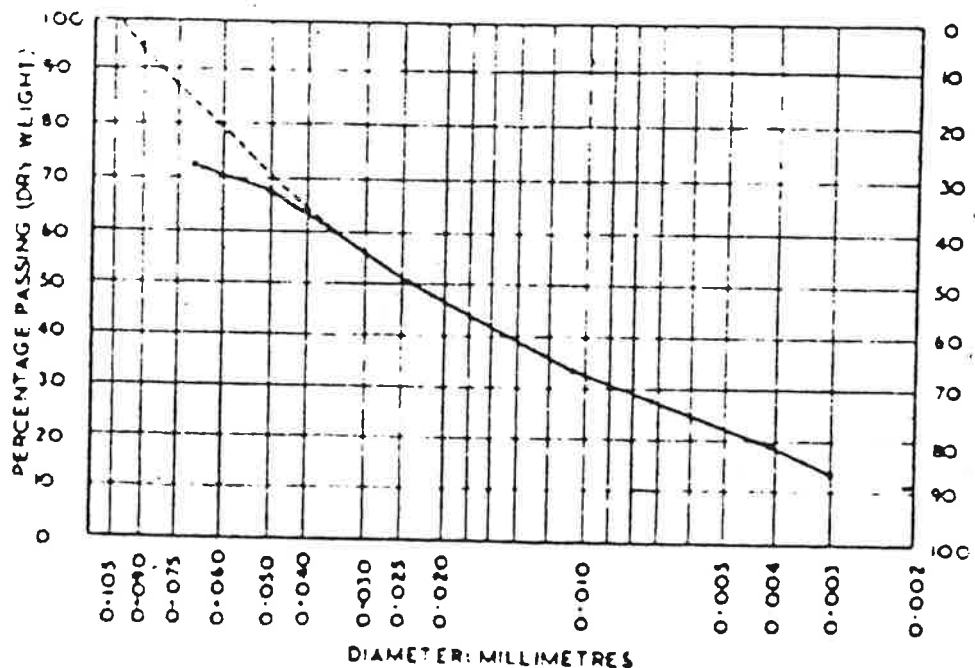


Fig. 4. Korrelverdelingsdiagram van een onderzochte schrale klei.

## DISCUSSIES

### Summary.

In the discussions, besides minor questions and explanations, there was an account about a second experiment in actual practice of Messrs. van Thiel de Vries and Voskuil.

Besides the mentioned favourable results in Dr Hisschemöller's article, in this case a marked improvement in the tendency to cracking was observed. Higher temperatures, up to 60° C (with an average of 45° C) were reached.

Paving bricks of warmed lean clay were directly placed on the hot floor of the kiln next to bricks, moulded at normal temperatures. All bricks therefore were exposed to very dry air of different temperatures.

Practically all the cold moulded bricks cracked severely; the percentage of cracked bricks, coming from the warm moulding process, being about 1.5%.

In another experiment blocks of 20 x 20 x 10 cm were pressed which all cracked in the prevailing drying conditions in the open air drying sheds. If however these blocks were pressed with warmed clay only 5% cracked.

*Vraag van prof. C. Schouten en ir W. van Lookeren Campagne Wzn.*

Heeft de verwarming van de klei niet in zekere mate hetzelfde effect als evacuatie, zodat dus verwarming zowel het droogproces bevordert als ten goede komt aan de kwaliteit. Men kan in een bepaalde ruimte in de voormaler eerst oververhitte stoom, invoeren, dan afkoelen tot onder de condensatietemperatuur. Er ontstaat dan vanzelf een vacuum.

*Antwoord:* Inderdaad is dit het geval. *Lundina* heeft bij zijn proeven opgemerkt, dat de kleimassa na invoering van de stoom enigszins *compacter* wordt, hetgeen hij verklaart door een vollediger zwelling der kleideeltjes *alsmede door een gedeeltelijke vacuumwerking* in de massa in verband met de stoomcondensatie. De technische uitvoering zal moeilijkheden opleveren, omdat wij het continue proces niet mogen onderbreken.

*Vraag van prof. Schouten:*

In de voordracht van dr Hisschemöller is medegedeeld, dat het voorverwarmen van de klei veel duurder is dan het evacueren en f 1,20— f 1,50 per 1000 k.k. kost. Maar is dit niet te pessimistisch geoordeeld? Men krijgt toch aan de andere kant een hoger percentage van de betere sortering en wellicht een eliminering van gescheurde stenen. De kans bestaat, dat de extra kosten hierdoor volledig teniet worden gedaan.

*Antwoord:* Dat is natuurlijk best mogelijk, maar zolang nog niet voldoende is bewezen, dat in dit opzicht een evacuatie van de klei achterstaat bij de kleiverwarming blijft het evacueren goedkoper.



*Vraag van ir J. Voskuil:*

In verband met het voorafgaande antwoord wordt dus verondersteld, dat bij evacuatie in de kleimineralen zich hetzelfde afspeelt als bij verwarming. Dit is moeilijk aan te nemen. Elke verhoging van temperatuur betekent een verhoging van de beweging der moleculen dus een versnelling in het bereiken van een evenwichtstoestand, i.c. de hydratatie. Bij het evacueren wordt lucht verwijderd en het water zal dus sneller naar de kleimineralen worden gevoerd, maar zou de binding aan deze mineralen, dus de eigenlijke hydratatie hierdoor ook worden versneld?

*Antwoord:* Inderdaad kan dit het geval zijn.

*Opmerking van Ir J. Voskuil:*

Toch vind ik dit nog niet bevredigend en ik kan naar aanleiding hiervan het volgende geval memoreren: Bij de bedrijfsproeven te Heesselt en ook uit dr Hisschemöller's proeven werd duidelijk geconstateerd, dat de vorming van „pitten” door de stoomverwarming geheel wordt geëlimineerd en dat ook scheurvorming afneemt. De ervaring heeft geleerd, dat dit niet het geval is bij geëvacueerde klei. De pittenvorming komt hierbij juist scherp naar voren. Lundina's proeven hebben verder aan het licht gebracht, dat de combinatie der twee processen zo gunstig is.

M.i. hebben de proeven met geëvacueerde klei op De Bijlandt en bij Quireins op de Havikkerwaard alleen bewezen, dat het percentage sort. I vermeerderd wordt. En dit is te begrijpen, omdat de porositeit door evacueren voor een groot deel verdwijnt en de kwaliteitsbeoordeling (wateropname) berust op een porositeitsbepaling.

*Vraag van prof. Schouten:*

Naar aanleiding van het evacueren van de klei lijkt het mij niet onmogelijk, dat de stroefheid van

de klinker terugloopt; dit zal bij het verwarmen niet het geval zijn. --

*Antwoord:* Dit werd in het begin van de lezing van dr Hisschemöller reeds aangestipt. Wij kunnen indien de stenen uit geëvacueerde klei gladder worden, maatregelen nemen om de stroefheid weer te verhogen.

*Vraag van Prof. Schouten:*

Naar aanleiding van het voorafgaande antwoord moet ik opmerken, dat evacueren en het daarna nemen van maatregelen om de stroefheid te vergroten samen zeker duurder zullen worden dan het verwarmen alleen. Ontstaan de scheurtjes in de stenen speciaal in het allereerste beginstadium of later? Hoe is dat bij vóórverwarming en hoe zonder voorverwarming?

*Antwoord:* Scheuren ontstaan meestal wel in de „constant rate” periode, dus wanneer de drogende steen nog sterk krimpt. Dit neemt bij voorverwarming van de klei af. Dit kwam sterk naar voren bij een bedrijfsproef te Heesselt. Op een sterk drogende dag werden blokken geperst van 20 x 20 x 10 cm. De ervaring was, dat met niet verwarmde klei dan vrijwel 100% van de blokken scheuren. Bij een voorverwarming van de klei tot 40° C bleek slechts 5% te scheuren.

*Vraag van ir W. van Lookeren Campagne Wzn.:*

Is de soortelijke warmte van natte klei = s.w. v/h water + s.w. v/d droge klei?

*Antwoord:* Volgens Lang (zie Baver: „Soil Physics” pg 295, uitgave 1948) mag men, zonder grote fouten te maken, de warmtecapaciteit en de soortelijke warmte van een grondsoort berekenen door de s.w. der samenstellende bestanddelen te adderen. B.v. de berekende

s.w. van een tuingrond was 0.262, terwijl de *gemeten* waarde 0.267 bedroeg.

Dus:

$$S = s_1 M_1 + s_2 M_2 + s_3 M_3 + \dots$$

waarin  $s_1, s_2, s_3$ , etc. de s.w. zijn der samenstellende bestanddelen met de massa  $M_1, M_2, M_3$ , etc.

*Vraag van Ir W. van Lookeren Campagne Wzn.:*

Is (over)verhitte stoom van lage druk niet te verkiezen boven verzadigde stoom van hoge druk?

*Antwoord:* (Zie de Vacantie-leergang voor Verwarmings Techniek 1943, pag. 60).

Het voordeel van hogedrukstoom wordt vaak gezien in de mogelijkheden van onbeperkte uitbouw en het feit, dat hier geen kelder nodig is. Overigens heeft hogedrukstoom *warmte-technisch* gesproken weinig zin. Verder is hogedruk stoken meestal meer naam dan daad, althans wat de pijpleidingen betreft. Want wel wordt de ketel hoog opgestookt, maar tegelijkertijd de hoofdafsluiter zover dichtgeknepen, dat de druk aan het einde van de leiding tot de atmosferische is gereduceerd. Vandaar, dat men dikwijls ziet, dat de condenspotten aan het einde der leiding ontbreken. Ze zijn weggenomen of er nooit geweest. Maar zo is de installatie feitelijk geworden een lagedruk verwarming. Toch heeft dat opvoeren van de druk een voordeel. Hierdoor wordt n.l. een soort warmte-reservoir gevormd.

Is de overdruk in een ketel met een waterinhoud van 4 m<sup>3</sup> gebracht tot 5 atm. (159° C) en in de leiding gereduceerd tot 0,4 atm., dan beschikt men over een warmtereserve van  $4000 \times (159 - 108.7) =$  ruim 200.000 Cal.

De ketel is tevens warmteaccumulator en de extra warmtehoeveelheid dient als buffer bij het stoken.

De bijzondere geschiktheid van

stoom als verwarmingsmiddel dankt zij aan de grote condensatiewarmte. En omdat deze warmte voor lage druk slechts weinig minder is dan voor hogedrukstoom en men met een lagedrukinstallatie niet valt onder wettelijke bepalingen, is lagedrukstoom bij het voorverwarmen van klei dus wel te verkiezen boven hogedrukstoom. De ketel moet dan wel lager opgesteld worden dan de voormaler, zoals dit ook bij warmwaterinstallaties het geval is.

*Oververhitte* stoom past men toe, wanneer men bij volledige condensatie vreest, dat de klei te slap zal worden. Zoals bekend is gedraagt een oververhitte damp zich in vele opzichten als een gas, zodat voor verwarmingsdoeleinden geen bijzondere voordelen t.o.v. een gas worden verkregen. Wanneer men 1 kg verzadigde stoom condenseert en afkoelt tot 50° C (de temperatuur, die men b.v. aan de plastische klei wil geven) dan komen  $539 + 50 = 589$  Cal. vrij. Zou men dezelfde warmte met oververhitte stoom willen bereiken, dan zou men (de s.w. van oververhitte stoom is ongeveer 0,5) voor elke kg stoom bij 1° C afkoeling slechts 0,5 Cal. krijgen. Bovendien is de warmteoverdracht van oververhitte stoom ook belangrijk minder dan van condenserende stoom. Er blijft in dit geval dus niets anders over dan de te slappe kleibrij te mengen met droge fijngemalen klei of de condenserende stoom te leiden door een mantel om de voormaler heen.

*Vraag van W. v. d. Pol:*

Bij schrale klei wordt een hogere temperatuur verdragen dan bij vette. Hoe is het nu te verklaren, dat juist kaolin weer een aanzienlijk hogere temperatuur verdraagt dan de schrale klei?

*Antwoord:* Kaolin gedraagt zich -- met dezelfde granulaire samenstelling als Nederlandse rivierklei -- „schraler” dan deze rivierklei. De gevoeligheid voor drogen, enz. hangt

ook voor een belangrijk deel af van de samenstelling der kleimineralen.

*Opmerking van Ir C. M. A. de Bruyn naar aanleiding van deze vraag:*

Het is zeer gevaarlijk de samenstelling van een klei door één of enkele getallen, zoals het gehalte aan fractie  $< 10 \mu$  of  $< 2 \mu$  te karakteriseren, daar men er, zoals gebleken is, in de practijk zeer gemakkelijk toe komt onverantwoord bepaalde regels tussen een volkomen onvoldoende karakterisering t.a.v. de samenstelling van een zo ingewikkeld materiaal als klei en zijn mechanische eigenschappen te poneren. Vele verschijnselen, die zich bij hogere temperaturen t.a.v. de mechanische eigenschappen van klei manifesteren, zijn ongetwijfeld voor een belangrijk gedeelte toe te schrijven aan de krachten tussen de electriche dubbellagen der kolloidale kleideeltjes.

*Vraag van W. v. d. Pol:*

Welke is de rol, die in het triaxiaalapparaat de alzijdige druk speelt?

*Antwoord:* Het toepassen van de alzijdige druk in het triaxiaalapparaat is bedoeld om na te gaan of de breukvastheid een functie is van deze druk. Uit proeven is gebleken dat voor met water verzadigde klei- en siltgronden, bij goede benadering, de breukvastheid onafhankelijk is van de alzijdige druk.

*Vraag van dr ir F. W. Hisschemöller:*

De toegepaste snelheden in het triaxiaalapparaat zijn zeer gering. In de practijk (kneden, persen) zijn deze snelheden van een andere orde van grootte (misschien wel  $1000 \times$  zo groot). Krijgt men dan geen andere verschijnselen?

*Antwoord:* Bij de proeven in het Laboratorium voor Grondmechanica is gebleken, dat de beginhelling, drempelwaarde en breukvastheid

toenemen met de deformatiesnelheid. Casagrande en Shannon hebben proeven gedaan op kleigronden van het Panamakanaal; daarbij is inderdaad gebleken, dat bovengenoemd verschijnsel bij zeer hoge snelheden (stoten) evengoed optreedt.

*Opmerking van ir C. M. A. de Bruyn:*

Wijst op het belang van een omrekening van de resultaten van mechanische proefnemingen — die zoals hier door Ir Tan bij verschillende deformatiesnelheden zijn bepaald — in *energiegrootheden* voor het verkrijgen van een beter inzicht inzake het verschil in gedrag tussen verschillende kleisoorten.

*Vraag van dr ir F. W. Hisschemöller:*

In de grafieken uit de lezing van Ir Tan (niet gepubliceerd) ziet men, dat de spannings-deformatielijnen boven een deformatie van 5—7% teruglopen. Op dit punt is de kracht dus maximum. Is dit het begin van breuk of heeft dit een andere oorzaak? Misschien thixotropie?

*Antwoord:* Dit is inderdaad een begin van breuk, op dit ogenblik zijn de eerste scheuren in het monster zichtbaar. De thixotropie speelt hier ook een rol, door de belasting is het monster „slapper” geworden.

*Vraag van dr ir F. W. Hisschemöller:*

In één der proeven van ir Tan is het watergehalte constant gehouden en de temperatuur gevarieerd. Bij hogere temperatuur wordt de klei slapper. In de practijk zal men dan met minder water gaan werken, omdat men werkt op constante consistentie. Hoe worden dan de lijnen? En hoe de drempelwaarden en de beginhellingen? Krijgt men bij hoge temperatuur met een lager watergehalte ongeveer dezelfde lijn als bij lage temperatuur met iets hoger watergehalte? En hoe is dat met magere klei?

*Antwoord:* Bij hogere temperatuur met lager watergehalte is het mogelijk ongeveer dezelfde lijn te krijgen als bij lagere temperatuur met hoger watergehalte. Uit proeven is gebleken, dat in het eerste geval de drempelwaarde hoger is, terwijl de breukvastheid dezelfde is.

Ook bij magere klei is dit te verwezenlijken; maar hierbij is men gebonden aan betrekkelijk nauwe grenzen.

*Opmerking van prof. C. Schouten:*

Naar aanleiding van de vorige vraag lijkt het wenselijk na te gaan, waarin de tegenstrijdigheid ligt tussen de verschillen in watergehalte bij verschillende temperaturen volgens de proeven van ir Tan en die van dr ir Hisschemöller.

*Antwoord:* Het is zeker gewenst om deze oorzaken na te gaan; waarschijnlijk ligt het aan de ontsluitingen, het gebezigde apparaat en de correcties, die voor hogere temperaturen zijn toegepast. Bij de proeven in Delft zijn de kleien zodanig bewerkt, dat onvoldoende ontsluiting — die voor de proeven met het triaxiaal-apparaat *ontoelaatbaar* is — niet voorkomt. Vandaar het „rotten” van de klei gedurende 24 uur. Het effect van een trapsgewijze ontsluiting is niet bestudeerd.

*Opmerking van ir Tan:*

Nederlandse baksteen- en straatklinkerlei bevat ook zand en silt (sloef), waardoor de deformaties worden *geremd* (geblokkeerd effect). Hierdoor wordt de bestudering der krachtwerking tussen de deeltjes sterk bemoeilijkt.

*Vraag van dr ir F. W. Hisschemöller en ir Van Thiel de Vries:*

Wat verstaat men onder „vrij” water en hoe wordt het bepaald?

*Antwoord:* Voor de bepaling van

de hoeveelheden (physisch) vrij en gebonden water in klei bestaat een zeer groot aantal methoden. Bij de in de praktijk het meest toegepaste tracht men het watergehalte aan een waterrijk monster door uitzakken, afzuigen met een vacuumpomp, centrifugeren, uitpersen tussen geperforeerde platen of drogen aan de lucht zover mogelijk te verlagen. Men bepaalt daarna het resterende watergehalte, meestal volgens de droogstoofmethode en merkt dit aan als gebonden water. Het verdreven water heet vrij water. Het resterende watergehalte na uitzakken, afzuigen of centrifugeren wordt in de Angelsaksische litteratuur aangeduid als „moisture equivalent”. In het algemeen zijn deze methoden vrij onnauwkeurig. Toch worden zij voor serie-onderzoek op grote schaal toegepast en zijn zij voor het gestelde doel meestal wel nauwkeurig genoeg. In ieder geval moeten de werkwijzen behoorlijk genormaliseerd zijn om voldoende vergelijkbare resultaten te verkrijgen.

Aangezien de grens tussen vrij- en gebonden water niet scherp is, wordt men veel vollediger betreffende de waterbinding van de klei ingelicht, wanneer men bij een aantal watergehalten van het betreffende kleimonster de energie tracht te bepalen, welke het kost (of zou kosten) om een relatief zeer kleine hoeveelheid water aan de klei te onttrekken. Indien dit proces bij constante temperatuur (isotherm) en zeer geleidelijk („quasi-statisch”) plaats vindt, komt dit neer op een bepaling van de thermodynamische potentiaal van het in de klei aanwezige water.

Deze potentiaal, in dit geval ook sorptiepotentiaal genoemd, is dus een maat voor het waterbindend vermogen van de klei. De sorptiepotentiaal kan volgens een formule uit de thermodynamica gemakkelijk berekend worden uit de dampspanning van het in de klei aanwezige water. Deze dampspanning bepaalt men als

functie van het watergehalte van de klei (de sorptie isotherm) het meest nauwkeurig met behulp van de z.g.n. sorptiebalans. Dit toestel maakt in een uitgebreid gebied zeer nauwkeurige gravimetrische watergehaltebepalingen en dampspanningsmetingen mogelijk.

De sorptiepotentiaal kan ook langs geheel andere weg gevonden worden, b.v. door bepaling van de zwellingsdruk van de klei als functie van het watergehalte, door bepaling van de warmteontwikkeling, die bij het opnemen van water plaats vindt en door vriespuntsmetingen van het gebonden water uit te voeren. Deze methoden zijn tamelijk onnauwkeurig.

De waterbinding van klei wordt door een groot aantal factoren beheerst: capillariteit (capillaire opzuiging en capillaire condensatie), adsorptievermogen van de kleimineralen en zoutgehalte. Ook het optreden van afstotende elektrische krachten tussen de elektrisch geladen deeltjes der kleimineralen (dubbel-laagwisselwerking) speelt waarschijnlijk een belangrijke rol.

*Opmerking van ir J. Voskuil:*

Het zou, naar aanleiding van deze uiteenzetting en mijn eerste vraag zeer gewenst zijn om het verloop van de sorptiepotentiaal bij verschillende temperaturen na te gaan.

*Schriftelijk antwoord van ir C. M. A. de Bruyn:*

Een dergelijk onderzoek is op het Laboratorium voor Grondmechanica op een vijftal kleimonsters (montmorilloniet, illiet, halloysiet) reeds uitgevoerd in het temperatuurgebied tussen 10° en 35° C. Hierbij bleek, dat in het genoemde temperatuurgebied de sorptie-isotherm (opgenomen hoeveelheid water als functie van de relatieve waterdampspanning  $p/p_0$ ) onafhankelijk van de temperatuur is.

De sorptiepotentiaal, d.i.  $\Delta\mu_{\text{w}} = RT \ln p/p_0 \dots\dots\dots (1)$

blijkt dus in dit temperatuurgebied alleen in zoverre van de temperatuur afhankelijk, dat de factor RT optreedt. Wegens de bekende formules uit de thermodynamica:

$$\Delta\mu = \Delta w - T\Delta s \dots\dots\dots (2)$$

$$\Delta s = - \left( \frac{d\Delta\mu}{dT} \right)_p \dots\dots\dots (3)$$

dus

$$\Delta w = \Delta\mu - T \left( \frac{d\Delta\mu}{dT} \right)_p \dots\dots (4)$$

(Gibbs-Helmholtz).

komt er met (1):  $\Delta w =$

$$- RT^2 \frac{d \ln p/p_0}{dT} = R \frac{d \ln p/p_0}{d(1/T)}$$

Daar de laatste term blijkbaar nul is, is  $\Delta w$ , d.i. de verandering van de enthalpie („differentiële sorptiewarmte”) blijkbaar nul, maar dan is volgens (2)

$$\Delta\mu = - T\Delta s.$$

m.a.w. de sorptie (afneming van  $\mu$ ) gaat uitsluitend gepaard met een toename van de partiële entropie van het water.

*Van het bestaan van sterke intermoleculaire krachten tussen klei en water is dus geen sprake.* De sorptie wordt geheel beheerst door het streven naar een toestand met grotere thermodynamische waarschijnlijkheid (minder ordening). Hetzelfde is het geval bij het verdunnen van ideale verdunde oplossingen. Het volkomen tegenovergestelde geval doet zich voor bij de menging van zwavelzuur en water.

Een andere uitdrukking voor het bovenstaande is nog, dat de condensatiewarmte bij condensatie van waterdamp op de waterhoudende klei gelijk is aan de condensatiewarmte bij condensatie van waterdamp op zuiver water. De (differentiële) sorptiewarmte is hierbij nul, doch wel treedt een toename van de partiële entropie van het water op ter grootte

$$\Delta s = - \frac{\Delta u}{T} = - R \ln p/p_0$$

Naar alle waarschijnlijkheid zullen wel de *eerste kleine hoeveelheden* water aan volkomen droge klei exotherm gebonden worden.

$\Delta w$  is dan kleiner dan nul en  $-\Delta w$  is waarschijnlijk groot t.o.v.  $T\Delta s$ . Vermoedelijk is hier ook  $T\Delta s < \text{nul}$  tengevolge van een sterk georiënteerde adsorptie.

Het zou zeker interessant zijn na te gaan bij welke dikte van de waterhuidjes de eerste phase van de sorptie in de tweede overgaat. Met de sorptiebalans heb ik tot nu toe alleen dus de tweede phase kunnen constateren, zodat de waterhuidjes in ieder geval zeer dun moeten zijn. Het is bekend, dat *Grim* en *Cuthbert* op grond van mechanische eigenschappen van zand-klei-water-mengsels tot een dikte van de waterhuidjes van enkele molecuuldikten (8—12 Å) hebben besloten.

#### *Opmerking van ir J. Voskuil:*

Voorlopig neem ik dan aan, dat de gunstige invloed van de kleiverwarming het gevolg is van de viscositeitsvermindering van het water. Dat de „viscositeit” van de kleipasta dan niet recht evenredig met de viscositeit van het aanmaakwater afneemt (zie fig. 4 in het artikel van ir Tan), doch een soort S kromme beschrijft zou ik dan als volgt willen verklaren:

1. Het bovenste verloop van de S curve is hoofdzakelijk het gevolg van de toename in dampspanning van het water. De afschuifspanning daalt snel met de temperatuursverhoging, omdat de klei onder een trekspanning komt te staan. Komt de temperatuur nog hoger dan treedt breuk (scheuren) op.

2. Het benedenste verloop van de S curve is waarschijnlijk in hoofdzaak het gevolg van de afname van de viscositeit van het aanmaakwater. Het is bekend, dat de relatieve afna-

me van de viscositeit van water het grootst is bij de lagere temperaturen (15—40° C).

3. Populair uitgedrukt neemt nu de z.g. „dikke film smering” tussen de deeltjes af, een verschijnsel, dat in hoofdzaak door de viscositeit van het smeermiddel i.c. het water wordt bewerkstelligd.

De deeltjes krijgen dus onderling meer contactpunten en er treedt een „droge wrijving” tussen de deeltjes op. Dit zal in hoofdzaak het geval zijn met de grovere delen (zand, sloef, etc.). Daar de droge wrijving onafhankelijk is van de temperatuur is het middelste gedeelte van de S kromme in hoofdzaak het gevolg van de wrijving der zand- en sloefkorrels. Daarom is dit gedeelte in de vette klei minder geprononceerd dan in de schrale klei en het zou de moeite waard zijn om de afhankelijkheid tussen de afschuifspanning en de temperatuur van een klei zonder verschrallingsdeeltjes nog eens na te gaan.

#### *Mededeling van ir J. van Thiel de Vries (ook namens ir J. Voskuil):*

Ik zou nog enkele slotopmerkingen willen maken naar aanleiding van de enige dagen geleden op de Heesseltse Steenfabriek genomen bedrijfsproeven.

Wij hebben de klei in de voormaler verwarmd met condenserende hogedrukstoom (ca 10 atm. V.O. ketel 28 m<sup>3</sup>) en bij continue bedrijf temperaturen der geperste stenen bereikt van gemiddeld 45° C.

Op de rekken koelden de stenen, zoals gedurende de proeven op De Bijlandt reeds werd opgemerkt, vrij snel af, zodat geen noemenswaardig effect op de snelheid van droging werd geconstateerd. Vervolgens werd de volgende proef genomen: warm geperste stenen werden naast gewoon koud geperste stenen op de vloer van de oven gelegd (op de plankjes), zodat alle stenen bij de begindroging blootgesteld waren aan volkomen droge lucht van verschillende tempe-

peraturen. Hieruit kon reeds vrij spoedig de conclusie getrokken worden, dat het scheurpercentage in de warm gevormde stenen *belangrijk lager lag* dan die in de koud geperste, die feitelijk alle waren gescheurd.

Ook was de volgende proef zeer treffend: gedurende een dag, die zeer droog was, werden „blokken” in warme toestand geperst (afmetingen  $20 \times 20 \times 10$  cm). Wanneer deze blokken koud geperst zouden zijn, dan zouden zij zeker bij de heersende droge luchttoestand voor 100% gescheurd zijn. Vandaar, dat wij met de blokkenfabricage altijd tot het late najaar wachten, wanneer de lucht niet meer zo sterk drogend werkt. Bij de warm geperste blokken *scheurde slechts 5%*.

Hetzelfde effect werd geconstateerd wanneer met de *koude klei* gewerkt werd, *die een hele nacht in de voormaler had gezeten*. Dit is een duidelijk bewijs, dat de verwarming de vochtvereffening in hoge mate versnelt. Ook de vorming van „pitten” werd praktisch geëlimineerd.

Een hogere temperatuur dan  $45^{\circ}$  C werd bereikt door de voormaler een tijdje af te sluiten dus geen klei af te tappen. Wij bereikten toen een temperatuur van de geperste steen van ca  $58^{\circ}$  C, zonder dat aan deze stenen iets bijzonders te bespeuren viel. Geen scheurtje werd opgemerkt. Wij hebben al deze stenen, gemerkt, in de oven gezet en zullen nu de structuur in het gebakken product nader in studie nemen.

Het behoeft geen nader commentaar, dat de kleiverwarming nieuwe perspectieven opent voor het kunstmatig drogen in het algemeen en in de straatklinkerindustrie in het bijzonder!

*Slotwoord van prof. C. Schouten bij de sluiting van het symposium:*

Ik kan niet anders zeggen dan dat dit symposium een succes is geweest en dat de sprekers erin geslaagd zijn de verschillende facetten van het

probleem der kleiverwarming duidelijk naar voren te brengen. Ook ziet men duidelijk hoe een harmoniërende samenwerking tussen de fabrieken en de wetenschappelijke werkers onderling in een zeer korte tijd reeds veel tot stand heeft gebracht. Toch zal zowel op wetenschappelijk als op technisch gebied nog zeer veel gewerkt moeten worden.

De rheologische eigenschappen van de klei moeten op grotere schaal grondiger onderzocht worden, waarbij men ook speciaal rekening dient te houden met de oplossende stoffen uit de klei of opgeloste bestanddelen in het vormwater. Want sporen van dispergerende of flocculerende stoffen en de pH hebben op de plasticiteit grote invloed.

Verder zal warmtetechnisch nagegaan moeten worden hoe groot de besparingen zullen worden in de drooginrichtingen en (of) de productie bij een bepaalde grootte van drooginrichting kan worden vergroot.

# HET KUNSTMATIG DROGEN

## *van vormlingen van gestoomde klei op laboratoriumschaal*

(Publicatie van het Keramisch Instituut T.N.O. te Gouda)

### *Samenvatting.*

In dit artikel worden droogproeven beschreven, die ten doel hadden na te gaan of bij kunstmatige droging van vormlingen, vervaardigd van gestoomde klei een scheurgevoeligheidsvermindering c.q. een droogtijdverkorting zou kunnen worden bereikt in vergelijking met vormlingen van koud verwerkte klei.

Het onderzoek, dat werd verricht aan twee Nederlandse kleisoorten met waal- en keiformaatvormlingen, leidde inderdaad tot de conclusie, dat bij de kunstmatige droging van vormlingen van gestoomde klei een scheurgevoeligheidsvermindering optreedt en bovenbedoelde droogtijdverkorting daardoor mogelijk wordt.

### *I. Doel en methode van onderzoek.*

Het hieronder beschreven droogonderzoek had ten doel de scheurgevoeligheid bij het kunstmatig droogproces te onderzoeken van vormlingen van gestoomde klei en wel door vergelijking van deze scheurgevoeligheid met die van vormlingen van koud verwerkte klei.

Daartoe werd gebruik gemaakt van de op ons instituut aanwezige proefdrooginstallatie.

Als maatstaf voor de scheurgevoeligheid van vormlingen werd ingevoerd het begrip „maximaal toelaatbare droogsnelheid”, waaronder wij zullen verstaan die droogsnelheid van de vormlingen, waarbij nog juist geen scheurvorming optreedt, bij een droogproces dat verloopt onder gelijkblijvende droogcondities van de lucht.

Deze droogsnelheid werd uitgedrukt in grammen verdampt water per vormling en per uur. De getalwaarde er van werd ontleend aan het gemeten gewichtsverlies van de vormlingen gedurende de eerste drie uren van het droogproces (de opwarmperiode niet meegerekend). Op deze wijze konden vergelijkbare cijfers worden verkregen.

Ter vaststelling van deze maximum toelaatbare droogsnelheid was het nodig een aantal droogproeven uit te voeren, waarbij de droogsnelheid van de vormlingen c.q. het droogregiem van de lucht van proef tot proef werd gevarieerd.

### *II. Uitvoering van het onderzoek.*

#### *a. De grondstoffen.*

Het onderzoek werd verricht aan twee Nederlandse kleisoorten uit het district „grote Rivieren”. De kleisoorten hadden de in tabel I op pag. 438 vermelde samenstelling.

#### *II. b. De voorbereiding en vormgeving van de klei.*

De kleisoorten werden met water respectievelijk met stoom en water op vormbakconsistentie gebracht. De stoombewerking vond plaats in de valkamer van onze strengpers. De vormgeving geschiedde met een kleine vormbakhandpers.

Er werden zowel proeven verricht met waalformaat- als met keiformaatvormlingen.

De stoombewerking geschiedde zodanig, dat de kerntemperatuur van de vormlingen bij de vervaardiging steeds ca 50 à 55° C bedroeg.



		kleisoort 1 mager	kleisoort 2 vet
<i>Granulometrische analyse</i>			
grofzand	> 300 $\mu$		
grofzand	200 — 300 $\mu$	0,6%	2,3%
fijnzand	60 — 200 $\mu$	22,9%	17,2%
fijnzand	45 — 60 $\mu$	14,1%	10,6%
stuifzand	25 — 45 $\mu$	14,2%	11,0%
sloef	10 — 25 $\mu$	17,1%	16,6%
leem	2 — 10 $\mu$	14,9%	19,9%
lutum	< 2 $\mu$	16,2%	22,4%
leem + lutum	< 10 $\mu$	31,1%	42,3%
<i>Chemische analyse</i>			
gehalte $\text{Fe}_2\text{O}_3$		3,3%	4,0%
kalkgehalte uit Carb. CaO		6,5%	6,1%
totaal kalkgehalte		7,3%	6,9%
$\frac{\text{Fe}_2\text{O}_3}{\text{CaO}}$		0,45	0,58

Tabel I

## II. c. Het experimenteel droogonderzoek.

De stapelingswijze van de vormlingen in de droogruimte van de proefdrooginstallatie werd zoveel mogelijk overeenkomstig de praktijk gekozen. De stroming van de drooglucht was horizontaal en evenwijdig aan de lengterichting van de vormlingen. De lichtsnelheid werd bij de verschillende proeven constant gehouden. Het natteboltemperatuurniveau van de lucht werd voor nagenoeg alle proeven op ca 35° C ingesteld, dit naar analogie van de praktijk, waar in kunstmatige drooginrichtingen in het algemeen natteboltemperaturen tussen 25° en 40° C worden aangetroffen. Slechts de drogeboltemperatuur van de lucht werd van proef tot proef gevarieerd. Het gewichtsverlies van de drogende vormlingen werd als functie van de tijd gevolgd, totdat de vormlingen een gemiddeld vochtgehalte van 6%, op de droge stof berekend, hadden bereikt.

Tijdens en na afloop van elke proef werd visueel vastgesteld of de vormlingen scheurvrij waren.

## Opmerkingen betreffende vormlingen van koud verwerkte klei.

Bij het opwarmen van de koude vormlingen in de drooginrichting trad aan het oppervlak steeds een geringe condensatie op. Dit verschijnsel komt doorgaans ook in de praktijk bij het kunstmatig drogen voor.

## Opmerkingen betreffende vormlingen van gestoomde klei.

Aan de vormlingen van gestoomde klei werd, alvorens deze in de droogruimte te plaatsen, gelegenheid gegeven in een omgeving zonder extra luchtbeweging af te koelen tot een gemiddelde vormlingtemperatuur gelijk aan de natteboltemperatuur van de drooglucht.

Deze maatregel werd in hoofdzaak genomen om de invloed van de droogsnelheid op het gedrag van de vormlingen van gestoomde klei te kunnen bestuderen in de stationnaire toestand. Een hogere vormlingtemperatuur dan de natteboltemperatuur van de lucht zou n.l. in het allereerste droogstadium een extreem hoge en niet constant blijvende droogsnelheid

kunnen veroorzaken waardoor de vormlingen direct al zouden kunnen scheuren. Op deze wijze werkend zou dan geen juist beeld van de maximum toelaatbare droogsnelheid van de vormlingen worden verkregen.

Het gewichtsverlies van de vormlingen uit gestoomde klei tijdens de afkoeling van 50 à 55° C tot ca 35° C bedroeg voor waalformaat ca 23 gram (ruim 1% op droge stof) bij een koeltijd van 35 minuten, hetgeen een gemiddelde droogsnelheid van ca 39 gram per uur per vormling betekent.

Voor keiformaatvormlingen was dit gewichtsverlies ca 47 gram (eveneens ruim 1% op droge stof) bij een koeltijd van 53 min., overeenkomende met een gemiddelde droogsnelheid van ca 53 gram per uur per vormling. De vormlingen konden deze vrij grote droogsnelheid gedurende de

slechts korte koelperiode verdragen, zonder dat scheuren optraden.

### III. De resultaten van het onderzoek.

In tabel II zijn de resultaten van het onderzoek tezamen met enkele correlatieve gegevens systematisch gerangschikt.

Tabel II

	waalformaatvormlingen				keiformaatvormlingen	
	magere klei 1		vette klei 2.		vette klei 2.	
	koud verwerkt	warm verwerkt	koud verwerkt	warm verwerkt	koud verwerkt	warm verwerkt
1. Gehalte aan deeltjes < 10 $\mu$ van de klei in %.	31.1	31.1	42.3	42.3	42.3	42.3
2. Consistentie van de verse vormlingen in mm Pfefferkornstuike hoogte.	4.5 à 5	4.5 à 5	4.5 à 5	4.5 à 5	4.5 à 5	4.5 à 5
3. Begin vochtgehalte van de vormlingen in % v. d. droge stof.	30	30	35	35	35	35
4. Eind vochtgehalte van de vormlingen in % v. d. droge stof.	6	6	6	6	6	6
5. Gewicht van een geheel droge vormling in gram.	2161	2187	2003	1986	4363	4356
6. Aantal per proef onderzochte vormlingen.	12	12	12	12	6	6
7. Gemiddelde lichtsnelheid t.o.v. de vormlingen in m/sec.	1.35	1.35	1.35	1.35	1.2	1.2
8. Natteboltemperatuur van de droogvlucht tijdens de proef in ° C.	35.3	28.8	35.3	35.3	34.8	35.1
9. Drogeboltemperatuur van de lucht behorende bij de max. toelaatbare droogsnelheid in ° C.	53.8	58.5	45.9	53.7	43.8	49.5
10. Maximum toelaatbare droogsnelheid in gram per uur per vormling.	35	49	20	34	24	34
11. Maximum toelaatbare droogsnelheid in gram per uur per cm. <sup>2</sup> aan verdamping blootgesteld oppervlak.	0,05	0,07	0,03	0,05	0,02	0,03
12. Droogtijd in uren onder bovengenoemd droogregiem.	25	18,5	47	31	95	54

*IV. Bespreking van de resultaten en conclusies.*

Vergelijken wij de maximum toelaatbare droogsnelheid van vormlingen van gestoomde klei met vormlingen van koude klei dan zien we, dat deze bij de eerstgenoemde vormlingen belangrijk hoger ligt dan bij de laatstgenoemde. (zie punt 10). Dit maakt een kortere droogtijd mogelijk (zie punt 12).

Wanneer vormlingen van gestoomde klei direct in een kunstmatige drooginrichting worden geplaatst is verder geen opwarmperiode nodig zoals bij de inzet van koude vormlingen. Deze omstandigheid kan nog een extra droogtijdwinst opleveren. Er dient echter rekening gehouden te worden met de mogelijkheid, dat wanneer de vormlingen hoger in temperatuur zijn dan het natteboltemperatuurniveau van de drooglucht, de droogsnelheid tijdelijk dermate hoog oploopt, dat scheurvorming ontstaat.

Beschouwen we de maximum toe-

laatbare droogsnelheden volgens punt 10 van kei- en waalformaatvormlingen van dezelfde klei, dan zien we, dat deze van dezelfde grootte-orde zijn, zodat de conclusie getrokken zou kunnen worden, dat het formaat van de vormling in deze geen rol speelt. Wanneer we echter de maximum toelaatbare droogsnelheid uitdrukken in gram per uur per cm<sup>2</sup> volgens punt 11, dan blijkt wel de invloed van het formaat.

Het droogproces in drooginrichtingen op technische schaal zal in het algemeen niet verlopen onder constant blijvende condities van de drooglucht. Verder zijn warmte-economische factoren en plaatselijke ongelijkmatigheden in de droogcondities van de lucht, van grote invloed op de uiteindelijke praktische veilige droogtijd.

Desalniettemin blijven de gegeven cijfers voor de droogtijd als vergelijkingsmateriaal zeer belangrijk.

Dr M. J. SINGER

## Invloed van stomen op de Nederlandse grofkeramische kleien

Mededeling No 18 van het  
KERAMISCH INSTITUUT  
T.N.O. TE GOUDA  
(Voorlopige mededeling)

**H**ET STOMEN VAN KLEI, waarmede men verschillende doelstellingen beoogt, staat zowel in Nederland als in het buitenland reeds geruime tijd in het middelpunt van de belangstelling. Uit de buitenlandse publicaties, die reeds in vrij groot aantal over dit onderwerp zijn verschenen, is echter niet duidelijk op te maken in hoeverre het stomen nu eigenlijk aan de verwachtingen voldoet en wij hebben op het Keramisch Instituut T.N.O. dan ook, gedeeltelijk in opdracht van de steenindustrie en gedeeltelijk als vrij onderzoek, dit onderwerp ter hand genomen om ons, onafhankelijk van de opinie van buitenlanders, over het stomen van de Nederlandse kleisoorten een objectief oordeel te vormen.

Het probleem van het stomen van klei valt uiteen in een aantal vraagstukken, die ieder voor zich een vrij bewerkelijk onderzoek nodig maken en het zal dus nog geruime tijd duren, voordat wij tot definitieve conclusies zullen kunnen komen.

Gezien echter de grote belangstelling, die dit onderwerp van industriële zijde heeft, menen wij er goed aan te doen reeds nu enkele voorlopige resultaten, waaruit de in-

vloed van het stomen blijkt, bekend te maken. Deze bekendmaking betreft een onderzoek, dat ten doel had na te gaan hoe de eigenschappen van de op een strengpers gemaakte vormlingen van een bepaalde vette klei veranderen, als de benadeling van deze klei gewijzigd wordt.

Vergeliken met elkaar werden vormlingen van onontluchte ongestoomde klei, van ontluchte gestoomde klei, van ontluchte ongestoomde klei en van ontluchte gestoomde klei. Verder werden ook nog variaties aangebracht in het initiaal-vochtgehalte van de klei.

Als criterium voor de mechanische eigenschappen van de vormlingen werd genomen de buigvastheid, die bij elk van de testseries aan proefstukken van eenzelfde model werd gemeten. Daar de buigvastheid sterk afhankelijk is van het vochtpercentage werd er nauwlettend voor gezorgd, dat ieder teststuk altijd tot op 0% vocht gedroogd was. Om de invloed van het watergehalte te demonstren, is in onderstaande tabel ook gegeven de buigvastheid bij een vochtpercentage van 7,2%, berekend op droge basis; terwijl de buigvastheidscijfers van de op diverse wijzen voorbehandelde proefstukken bij 0% zeer grote verschillen vertonen, blijken deze bij 7,2% vocht bij nagenoeg alle monsters practisch gelijk te zijn.

Ook werd van iedere vormling bepaald de hoeveelheid lucht, die na de persing nog in de klei aanwezig was. Door onvolkomenheden in het hiervoor geconstrueerde meetappa-

raat kon dit luchtgehalte niet in een exacte maat gegeven worden. De in de tabel hierover gegeven cijfers hebben dus alleen vergelijkende waarde.

Als maat voor de consistentie van de klei werd genomen de stuikhoogte, die gemeten wordt volgens de desbetreffende proef van Pfefferkorn. Hoe groter deze stuikhoogte is, des te minder „plastisch” is de klei.

### Conclusies.

Door het betrekkelijk kleine aantal gegevens is het trekken van verantwoorde conclusies natuurlijk onmogelijk, maar dit is dan ook niet het doel van deze mededeling. Willen wij toch aan de in de tabel gegeven cijfers een bepaalde interpretatie geven, dan zouden, behalve het reeds vermelde feit, dat de buigvastheid

Serie No.	Initiaal vochtgehalte in gewichtsprocenten berekend op droge klei	Stuikhoogte volgens Pfefferkorn in mm.	Luchtgehalte van de vormling per 100 g.	Vacuüm aan strengpers	Buigvastheid bij 7,2% vocht berekend op droge basis	Buigvastheid bij 0% vocht
a	31,9	34,5	4,0	65 cm Hg	25 kg/cm <sup>2</sup>	96 kg/cm <sup>2</sup>
b	35,7	26,9	7,1	65 cm Hg	22 kg/cm <sup>2</sup>	75 kg/cm <sup>2</sup>
c	37,8	22,4	4,4	65 cm Hg	22 kg/cm <sup>2</sup>	78 kg/cm <sup>2</sup>
d	35,7	27,6	12,5	0 cm Hg	23 kg/cm <sup>2</sup>	62 kg/cm <sup>2</sup>
e	35,7	25,8	4,9	70 cm Hg	22 kg/cm <sup>2</sup>	69 kg/cm <sup>2</sup>
f <sub>1</sub>	35,7	25,8	2,7	68 cm Hg	24 kg/cm <sup>2</sup>	103 kg/cm <sup>2</sup>
f <sub>2</sub>	35,7	24,9	13,0	0 cm Hg	20 kg/cm <sup>2</sup>	76 kg/cm <sup>2</sup>
g	35,7	25,4	8,9	0 cm Hg	23 kg/cm <sup>2</sup>	58 kg/cm <sup>2</sup>

- a = geëvacueerde klei met relatief weinig vocht;  
 b = geëvacueerde klei met een normaal vochtpercentage;  
 c = geëvacueerde klei met relatief veel vocht;  
 d = ongeëvacueerde klei met een normaal vochtpercentage;  
 e = klei met een normaal vochtpercentage, waarbij het evacueren niet in de strengpers, doch in een aparte ontluchtingskast heeft plaats gevonden;  
 f<sub>1</sub> = klei als van proef b, doch gestoomd en geëvacueerd;  
 f<sub>2</sub> = klei als van proef b, doch gestoomd en niet geëvacueerd;  
 g = niet geëvacueerde klei met een normaal vochtgehalte, waarbij de uit de strengpers komende streng met perslucht gesmeerd werd.

bij de vormlingen met 7,2% vocht in alle gevallen nagenoeg dezelfde is, de volgende opmerkingen te maken zijn:

- 1° Bij het geringer worden van het initiaal-vochtgehalte van de klei wordt de mechanische vastheid van de vormling groter. Vooropgesteld, dat de streng homogeen van vochtgehalte en samenstelling is, verdient het om een mechanisch sterke vormling te krijgen dus aanbeveling de klei zo droog mogelijk in de vacuumstrengpers te verwerken.
- 2° Het evacueren van de klei komt aan de mechanische sterkte van de vormling ten goede.
- 3° Het „smeren” van het mondstuk met lucht heeft ten aanzien van de drukvastheid van de vormling geen voordeel boven het smeren met water.

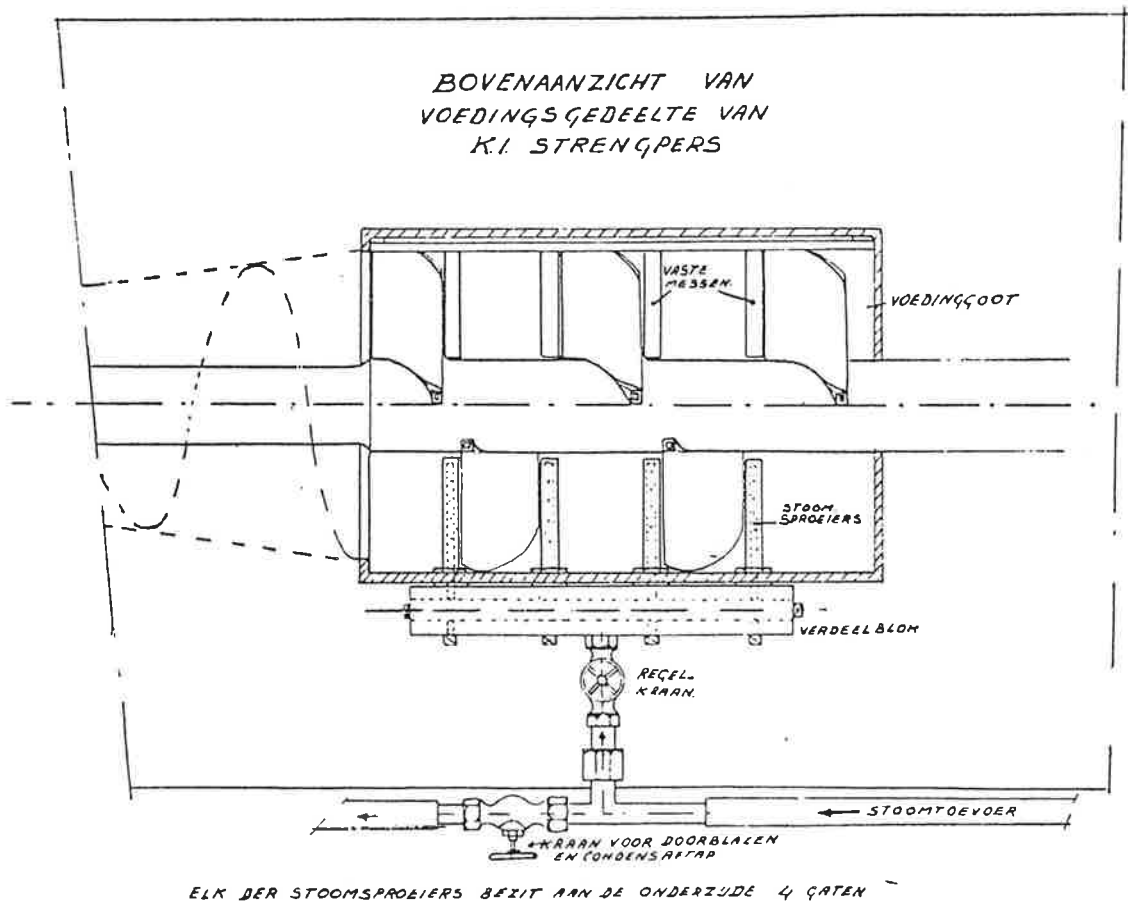
4° De buigvastheid van de vormlingen uit gestoomde klei blijkt groter te zijn dan die van niet gestoomde doch overigens op dezelfde wijze bewerkte proefstukken.

In het kader van deze voorlopige mededeling is het belangrijkste resultaat de waarneming, dat de mechanische eigenschappen van de vormling door stomen practisch in gelijke mate verbeterd worden als door ontluichten. Dit resultaat is ongetwijfeld merkwaardig, omdat het luchtgehalte van de gestoomde klei nagenoeg gelijk blijkt te zijn aan dat van de niet ontluichte ongestoomde klei en tegenstelling tot wat in sommige buitenlandse publicaties beweerd wordt, kon hier dus zeker niet worden aangetoond, dat door stomen evacuatie van de klei plaats vindt. Wel blijkt bevestigd te worden de

in „Die Ziegelindustrie“ 4.1951.135 door W. Schoch gegeven mening, dat door stomen het kittend vermogen van de kleideeltjes vergroot wordt, wat tot uiting komt in een verbetering van de mechanische eigenschappen van de vormling.

Op onderstaande tekening is te zien op welke wijze de stoom bij bovenvermelde proeven in de voedingsgoot van de strengpers werd ingelaten. Door deze constructie kon bereikt worden, dat alle ingevoerde stoom in de klei opgenomen en homogeen verdeeld werd.

Vanzelfsprekend zullen de onderzoekingen nog worden voortgezet, speciaal ook om na te gaan hoe het drooggedrag van de vormlingen door het stomen beïnvloed wordt en binnen korte tijd hopen wij dan ook nadere publicaties over dit onderwerp te doen volgen.



# Enige aspecten van de warme verwerking van klei in verband met het kunstmatig drogen van grofkeramische produkten\*

door L. J. A. R. VAN DER KLUGT

Keramisch Instituut T.N.O.

De stof voor deze voordracht werd geput uit een onderzoek naar de invloed van de vormgevingstemperatuur op het drooggedrag van grofkeramische produkten.

In het bijzonder werd hierbij aandacht besteed aan de natte-boltemperatuur van de drooglucht.

Merkwaardig genoeg bleek het gedrag van vormbakprodukten geheel in tegenstelling te zijn tot dat van strengpersprodukten. Bij de laatste bleek de invloed van de vormgevingstemperatuur voor de vermindering van de scheurgevoeligheid van minder belang dan de toepassing van een hogere natte-boltemperatuur, terwijl deze faktor bij vormbakprodukten in het geheel geen rol speelt, maar juist de vormgevingstemperatuur uiterst belangrijk is.

De vermindering van de scheurgevoeligheid van strengpersprodukten bij droging bij hogere natte-boltemperatuur bleek gecorreleerd te kunnen worden met de viscositeit van het water in de klei.

**Some aspects of hot extrusion or moulding of clay in connection with the artificial drying of heavy clay products.**

The theme of this lecture was formed by the insights obtained by an investigation into the influence of the green brick temperature on the drying behaviour.

Much attention was paid to the wet bulb temperature of the drying air.

Remarkably enough the behaviour of soft moulded products proved to be quite opposite to the behaviour of extruded products. The last ones show a weak influence of the temperature of extrusion, but a strong influence of the wet bulb temperature. This influence on the cracking sensitivity could be correlated with the viscosity of the water in the drying clay. Soft moulded products did not show any influence at all of the wet bulb temperature, while the moulding temperature appeared to be of utmost importance.

Een van de meest opvallende kenmerken van de warme vormgeving is uiteraard de hogere temperatuur van de verse vormling. Behalve dat een reeks van factoren het toepassen van steeds hogere temperaturen echter belet, is er naast de hogere vormgevingstemperatuur nog een faktor die van groot belang kan zijn bij het verkorten van de droogtijd en dus de nodige aandacht verdient. Dit is de natte-boltemperatuur van de drooglucht. Deze is o.a. daarom een kenmerkende grootheid van het droogproces, omdat de temperatuur van de drogende vormling erdoor bepaald wordt. Zoals bekend, is de temperatuur van de drogende vormling namelijk in de eerste droogperiode bij grote benadering gelijk aan de natte-boltemperatuur van de drooglucht.

Bij hogere temperaturen bezit water een geringere viscositeit. Wanneer het water in de klei nu in hoofdzaak in de vloeistof-fase naar het verdampend oppervlak stroomt, zal zich bij hogere temperatuur bij een bepaalde droogsnelheid dus een geringere vochtgradiënt instellen om de gewenste stroomsnelheid te verkrijgen. Wanneer een bepaalde gradiënt in verband met de hierdoor ontstane spanningen nog juist wordt verdragen, kan de droogsnelheid bij lagere viscositeit dus zover worden opgevoerd, tot juist weer de kritische gradiënt wordt bereikt. Dat het de moeite waard is te trachten van dit effect gebruik te maken, blijkt wel uit het feit, dat de viscositeit van zuiver water bij 45° C 1,5 maal zo laag is als bij 25° C en bij 70° C zelfs ruim 2 maal zo laag.

\* Voordracht gehouden voor de Vereniging Klei Industrie op 1 oktober 1964 te Maastricht.

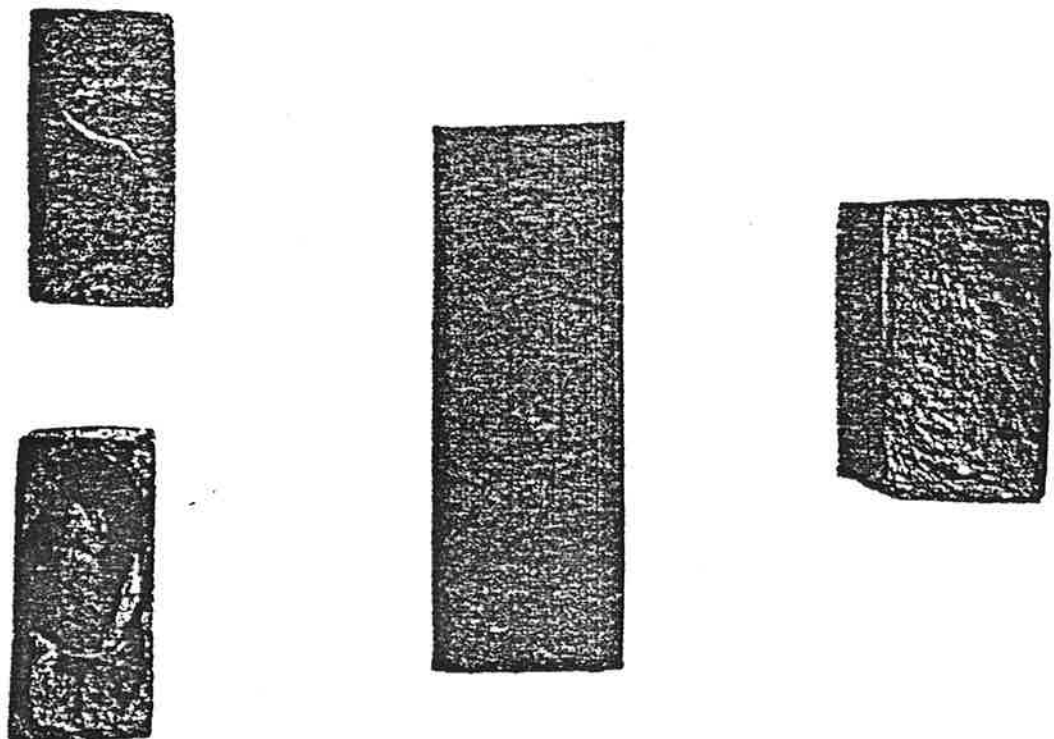
Reeds vroeger was door het Keramisch Instituut T.N.O. een onderzoek ingesteld naar de invloed van de natte-boltemperatuur op het drooggedrag van bij lage temperatuur vervaardigde vormlingen. Bij dat onderzoek werd een reeks van factoren gevonden die bepalend waren voor de grootte en de aard van het effect. Zo komt bij het opwarmen van de koude vormling de in het water opgeloste lucht vrij, die evenals de reeds in vrije toestand in de klei aanwezige lucht expandeert. Tezamen met de uitzetting van het water veroorzaakt dit een zwelling die voldoende hoge spanningen kan veroorzaken om bij de verminderde treksterkte scheurvorming te doen ontstaan, nog voor er van enig gewichtsverlies sprake is.

Van groot belang hierbij is de textuur van de vormling. Dit blijkt bijvoorbeeld uit het feit, dat bij holle strengpersprodukten het eerst scheuren optreden op de plaats waar de kleistreng werd gespleten door de beugel van de kernhouder.

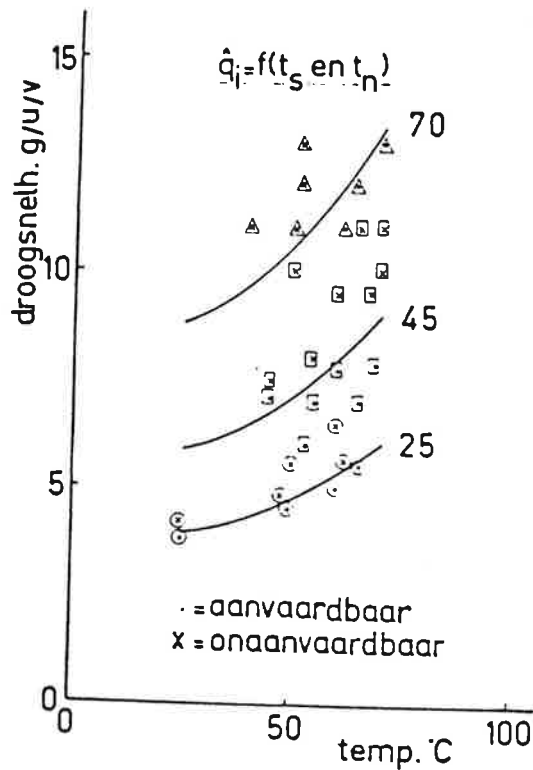
Meestal vindt de opwarming plaats door condensatie. Wanneer dit overmatig gebeurt en het condensaat tamelijk warm is, kan de klei verweken. Dit veroorzaakt bijvoorbeeld het „wanrond” worden van draineerbuizen. Verder zal ook vrijwel altijd een ongelijkmatige begindroging optreden. De hele zaak wordt nog meer gecompliceerd, doordat hierbij tevens de kleisoort, de aard van het produkt en de mate van uitdroging van de vormling van belang zijn.

Bij het in het volgende beschreven onderzoek werd in hoofdzaak gebruik gemaakt van op een laboratorium-vacuumstrengpers vervaardigde vormlingen van het type „end cut” met afmetingen van  $2,5 \times 4 \times 12$  cm. De hierbij ge-

*Figuur 1 — Diverse mogelijkheden van scheurvorming bij een vette kleisoort. Midden: Snelle droging; scheur wordt naar buiten zichtbaar. Linksboven: Minder snelle droging; scheur uitwendig niet waarneembaar. Linksonder: Nog langzamer droging; ongunstige structuur breukvlak. Rechts: Langzame droging; homogene structuur breukvlak.*







Figuur 2 — De resultaten van het onderzoek. De getallen bij de lijnen zijn natte-boltemperaturen waarbij de betreffende proevenseries werden uitgevoerd.

bruikte klei was een vette Groningse zeelei. Alle droogproeven werden uitgevoerd bij constante condities. Zij werden voortgezet tot nagenoeg constant gewicht was bereikt tenzij reeds eerder scheurvorming was ontstaan. Bij de beoordeling van het droogresultaat werd als eis gesteld, dat de vormling geheel scheurvrij moest zijn en zelfs bij doorbreken een homogene structuur moest vertonen. Bij deze vette klei bleek n.l. dat wanneer de vormlingen bij constante condities werden gedroogd, behalve scheurvorming aan het

begin van de droging — dus in de nog plastische klei — ook aan het eind van de droging nog scheurvorming van een geheel ander type kon optreden. Uiteindelijk bleek zelfs, dat om deze scheurvorming te vermijden, de condities nog aanzienlijk minder streng moesten worden gekozen. Dit wil zeggen, dat deze scheuren, die verder voor het gemak „eindscheuren” genoemd zullen worden, nog kunnen optreden bij condities waarbij er al geen gevaar meer is voor het optreden van beginscheuren. De eindscheuren nu ontstaan van binnenuit en zijn het gevolg van een te groot verschil in watergehalte tussen de kern en het oppervlak. Hierdoor moet de kern nog te veel krimpen als de buitenste lagen al star zijn geworden.

In het ergste geval wordt de scheur naar buiten zichtbaar; in de meest milde vorm ontstaat een minder gunstige structuur van het breukvlak als de vormling wordt doorgeslagen. Bij de beoordeling van het droogresultaat werd dit dus slechts dan aanvaardbaar bevonden als bij doorbreken een homogeen breukvlak ontstond. Figuur 1 toont de diverse mogelijkheden. In figuur 2 zijn de resultaten van het uitgevoerde onderzoek samengevat.

Bij de vormgeving werden strengtemperaturen tot 70° C toegepast, terwijl de droogproeven werden uitgevoerd bij natte-boltemperaturen van 25, 45 en 70° C. Op de verticale as is uitgezet de droogsnelheid die onder invloed van de in de drogerij heersende condities ontstond bij het initiale watergehalte. Deze grootte is dus een maat voor de toegepaste condities gedurende de droging. Een aanvaardbaar resultaat is aangegeven met een punt, een onaanvaardbaar met een kruisje.

Uit de ligging van de punten van  $T_n = 25^\circ \text{C}$  blijkt duidelijk, dat de hogere vormgevingstemperatuur in principe hogere droogsnelheden en dus kortere droogtijden mogelijk maakt. Beneden een vormgevingstemperatuur van 50° C is het effect echter niet groot, terwijl het daarboven snel belangrijker wordt. Zou men dus bij dezelfde lage natte-boltemperatuur blijven drogen als voorheen, terwijl men bijvoorbeeld in verband met de te hoge beginvochtigheid van de klei geen hogere vormgevingstemperatuur kan bereiken dan 50° C, dan zullen

de bijkomende voordelen van de warme verwerking wel erg groot moeten zijn, wil deze uitbreiding van de technologie economisch verantwoord zijn. De hogere vormgevingstemperatuur blijkt het echter mogelijk te maken bij het drogen een hogere natte-boltemperatuur toe te pasen. Zoals reeds gezegd verdragen bij lage temperatuur vervaardigde vormlingen geen snelle opwarming. Wil men dus bijvoorbeeld om redenen van lucht- en warmteverbruik toch gedurende het grootste deel van het droogproces een hoge natte-boltemperatuur toepassen, dan zal de opwarming veel tijd vergen. In dat geval kan de opwarming namelijk het best worden uitgevoerd naarmate de vormling verder uitdroogt. De warme vormlingen kunnen echter direkt aan de hogere natte-boltemperatuur worden blootgesteld, waarbij zelfs nog eens extra strenge condities kunnen worden toegepast. Een belangrijk gegeven is hierbij, dat de verbetering van de droogeigenschappen in principe behouden blijft wanneer de vormling — alvorens in droging te worden genomen — eerst afkoelt. Zelfs biedt zij dan bij niet al te hevige condensatie nog voldoende weerstand hiertegen om de snelle opwarming met aansluitende droging onder condities, die ook voor de warm ingezette vormling kritisch zouden zijn, te kunnen verdragen. Zo konden de bij dit deel van het onderzoek gebruikte vormlingen na afkoeling zonder bezwaar in lucht met een natte-boltemperatuur van  $45^{\circ}\text{C}$  worden geplaatst, terwijl de koud vervaardigde vormlingen dit beslist niet verdroegen. De hierbij optredende condensatie was dus niet nadelig voor de toelaatbare condities.

Dit was wel het geval wanneer de afgekoelde vormlingen in lucht met een natte-boltemperatuur van  $70^{\circ}\text{C}$  werden geplaatst. Hierbij sloeg echter ook zoveel condensaat neer, dat het in grote druppels uitzakte. De in dit geval toelaatbare initiale droogsnelheid bedroeg echter altijd nog 175% van de droogsnelheid die bij koude vormgeving en droging bij lage natte-boltemperatuur kon worden toegepast. Nadat het condensaat onder deze condities was verdampt, kon de droogsnelheid echter worden opgevoerd tot het voor de warm ingezette vormlingen toelaatbare niveau.

Figuur 2 toont, dat inderdaad bij hogere natte-boltemperatuur hogere initiale droogsnelheden kunnen worden toegepast. Dat er in de figuur geen punten zijn aangegeven voor vormgevingstemperaturen die teveel liggen beneden de natte-boltemperatuur zal duidelijk zijn na hetgeen reeds werd opgemerkt over condensatie en opwarmspanningen. De punten liggen niet zo mooi als bij  $25^{\circ}\text{C}$ .

De lijnen, die door de punten zijn getrokken, zijn nu als volgt verkregen:

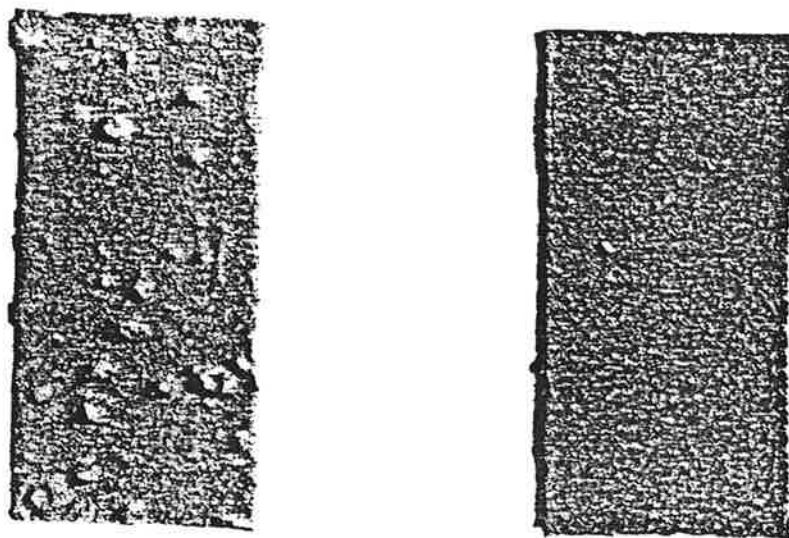
Voor  $45^{\circ}\text{C}$  zijn de waarden voor de lijn van  $25^{\circ}\text{C}$  natte-boltemperatuur vermenigvuldigd met 1,5 en voor  $70^{\circ}\text{C}$  met 2,25 namelijk het quotiënt van de viscositeit van zuiver water bij  $25^{\circ}\text{C}$  0,90 en bij 45 en  $70^{\circ}\text{C}$  resp. 0,60 en 0,40 cP. De lijnen voldoen goed, gezien de ligging van de punten. Hoewel dit academisch gezien natuurlijk geen bewijs is voor de juistheid van de gehanteerde veronderstelling betreffende de invloed van de viscositeit, is het toch wel prettig, dat de gevolgde werkwijze ook in andere gevallen bleek op te gaan. Hierbij werd weliswaar ook met kleinformat vormlingen gewerkt, maar deze verschilden zowel in afmetingen als in type en kleisoort, terwijl eveneens verschillende soorten scheuren bij het onderzoek werden betrokken (zowel begin- als eindscheuren). Op grond van deze resultaten kunnen de verkregen inzichten met meer zekerheid naar de praktijk worden overgedragen. Bij de betreffende controleproeven werden bij  $50^{\circ}\text{C}$  vervaardigde en bij  $T_n = 45^{\circ}\text{C}$  gedroogde vormlingen vergeleken met koud vervaardigde en bij  $T_n = 25^{\circ}\text{C}$  gedroogde vormlingen. Hierbij bleek de vermindering van de scheurgevoeligheid dus inderdaad verklaard te kunnen worden met een geringe toename van de sterkte als gevolg van de hogere vormgevingstemperatuur en een grote verbetering van het vochtgeleidingsvermogen als gevolg van de droging bij hogere natte-boltemperatuur. Nemen we als voorbeeld het optreden van een scheur in de scheidingswand van de 2 kanalen van

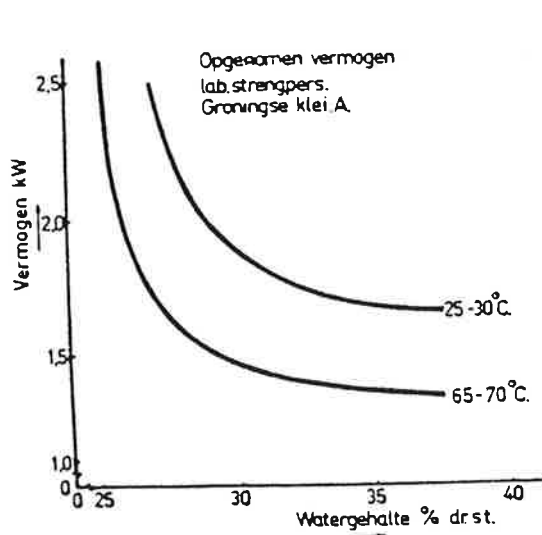
zogenaamde „Langloch“-vormlingen (type Nehobo holle bouwsteen), dan ontstond deze bij koude vormgeving en droging bij  $T_n = 25^\circ \text{C}$  bij een initiale droogsnelheid van 10 gram/uur per vormling, en bij vormgeving bij  $50^\circ \text{C}$  en droging bij  $T_n = 45^\circ \text{C}$  bij 16,5 g/u/v. Delen we deze laatste waarde door 1,5 dan vinden we volgens de hypothese de toelaatbare initiale droogsnelheid van de warm vervaardigde vormling die bij lage  $T_n$  wordt gedroogd. Deze wordt dus 11 g/u/v, zodat er een verbetering van 10% overblijft als gevolg van de warme vormgeving. Dit is geheel in overeenstemming met de resultaten van figuur 2.

Het ziet er dus naar uit, dat de voor de onderzochte gevallen gevonden regels in overeenkomstige situaties toegepast zullen kunnen worden. Nadrukkelijk zij vastgesteld, dat het hier strengpersprodukten betrof waarbij ontfluchting werd toegepast, en waarbij de klei ook bij koude verwerking goed gehomogeniseerd werd. Zoals nog zal blijken gelden de regels namelijk per sé niet voor vormbakprodukten, terwijl ook de laatste beperking van belang kan zijn. Er kunnen zich in de praktijk namelijk gevallen voordoen, waarbij — bij koude verwerking — veel onverweekte pitten overblijven. Deze kunnen gemakkelijk scheurvorming veroorzaken wanneer ze toevallig in een ribbe van een vormling liggen. Wanneer nu deze pitten bij warme verwerking worden opgelost, zal het effect voor de toelaatbare initiale droogsnelheid aanzienlijk groter kunnen zijn dan bij dit onderzoek gevonden werd.

Afbeelding 3 toont twee vormlingen die uit dezelfde portie klei werden vervaardigd. De linkse is afkomstig uit een deel van de portie die bij  $50^\circ \text{C}$ , de andere uit klei die bij ca.  $20^\circ \text{C}$  werd aangemaakt. Uiteraard waren beide bewerkingen zoveel mogelijk aan elkaar gelijk.

*Figuur 3 — Invloed van de verwerkingstemperatuur op de homogenisatie van de klei. De pitten in de ribben kunnen gemakkelijk beginscheuren veroorzaken. Links: koude verwerking. Rechts: warme verwerking.*





Figuur 4 — Invloed van de temperatuur op de plasticiteit van klei. Opgenomen vermogen bij vollast 2,5 kw, bij nullast 0,95 kw. Normaal watergehalte bij verwerking ca. 31% op droge stof berekend.

Het is duidelijk dat in een dergelijk geval zelfs een temperatuur van 50° C een niet te versmaden effect sorteert.

Afbeelding 4 geeft het verband weer tussen het opgenomen vermogen van een laboratoriumstrengpers en het watergehalte van de betreffende Groningse kleisoort bij warme en koude verwerking.

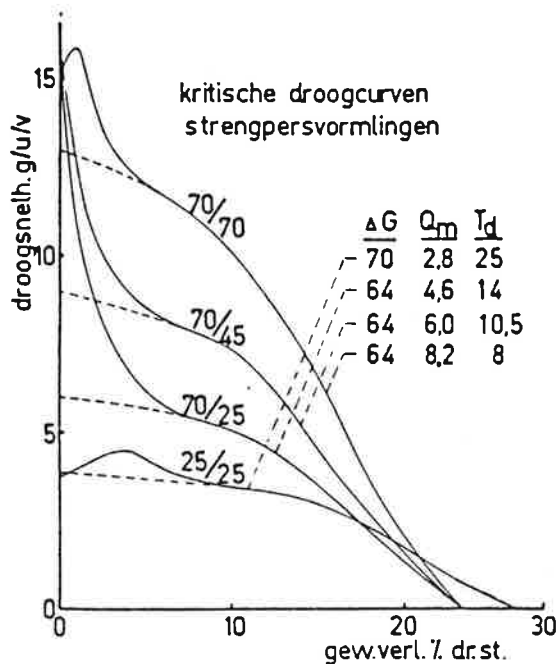
Aan de hand van de grafiek zou men nu kunnen besluiten om een eenmaal aanvaard krachtverbruik te handhaven en met minder water te gaan werken. Als dit zonder bezwaar zou kunnen, zou er om redenen van droogtijdverkorting alles voor te zeggen zijn. Afhankelijk van de aard van de klei zijn er echter enkele factoren, die het watergehalte-traject waar binnen de klei zonder al te veel narigheid te verwerken is, tamelijk scherp bepalen. Bij verhoging van het watergehalte gaat de klei namelijk sterker kleven, terwijl de afschuifvastheid en de treksterkte afnemen. Tot een zeker watergehalte vertoont de klei echter ook een sterkere samenhang. Gaat men daarentegen steeds stijver werken, dan komt er een punt waarbij twee op elkaar gedrukte vlakken niet best meer willen hechten. Bij verhoging van de temperatuur verminderen zowel het kleven als de afschuifvastheid en de treksterkte. Het zogenaamd spontaan scheuren van verse vormlingen ontstaat nu, omdat de geringere samenhang de spanningen, die tengevolge van sterke verdamping direct na de vormgeving ontstaan, niet kan opnemen. Wanneer dit zich voordoet, is de remedie het versterken van de samenhang door verhoging van het watergehalte of het verlagen van de temperatuur. Dit laatste zal men echter om begrijpelijke redenen zo lang mogelijk willen uitstellen. Dat wil zeggen dat men liever nog wat slapper zal werken dan de temperatuur verlagen. Hierbij kan men dan echter last krijgen van afschuiven of van het stuiken van de streng. In dat geval dienen dus zowel de temperatuur als het watergehalte verlaagd te worden. In extreme gevallen kan het nu zo zijn, dat de temperatuur zelfs zover omlaag moet, dat nog nauwelijks van warme verwerking gesproken kan worden. Dit doet zich voor bij kleisoorten die ook in koude toestand bij strengpersverwerking moeilijkheden geven omdat ze te kort zijn. Dit zijn bijvoorbeeld de jonge rivierkleien.

De Groningse klei kan over een groot watergehalte-traject tot zeer stijf toe en bij hoge temperaturen worden verperst. De klei uit West-Noord-Brabant is een mooi voorbeeld van klei die het goed doet als men voor de juiste condities zorgt, maar ook veel last kan geven als men er naast zit. Een goede illustratie hiervoor is het volgende geval.

Bij verwerking bij een watergehalte van 19%, berekend op droge stof, bleek de toelaatbare initiale droogsnelheid nog geen 2 g/u/v te bedragen. Bij verhoging van het watergehalte tot 23-24% verminderde de scheurgevoeligheid zodanig, dat

een initiale droogsnelheid van 7 g/u/v kon worden toegepast. Bij verwerking bij 50° C werd het beste resultaat verkregen bij een watergehalte van 21-22%. Bij direkt plaatsens in lucht met  $T_n = 45^\circ \text{C}$  kon een initiale droogsnelheid van 11 g/u/v worden toegepast. Het zal duidelijk zijn, dat het hier beginscheuren betrof.

Hoewel in de praktijk zelden onder constante condities zal worden gedroogd, is het toch wel interessant de invloed van de diverse factoren te demonstrenen aan de hand van de droogtijden van de onder constante, kritische condities gedroogde vormlingen van  $2,5 \times 4 \times 12 \text{ cm}$  van de eerder genoemde Groningse klei.



Figuur 5 — Effect van de diverse factoren op de veilige droogtijd.

$\Delta G$  = totaal te verdampen hoeveelheid water in grammen

$Q_m$  = gemiddelde droogsnelheid over het gehele droogproces in gram/uur/vormling

$T_d$  = droogtijd in uren.

Bij droogsnelheid nul wordt het evenwichtswatergehalte bij de betreffende condities bereikt.

In figuur 5 zijn curven weergegeven voor vormlingen die koud werden vervaardigd en bij lage natte-boltemperatuur gedroogd (onderste curve) en voor vormlingen die bij 70° C werden vervaardigd en gedroogd bij 25, 45 en 70° C natte-boltemperatuur. Uit de figuur is de invloed van enkele factoren duidelijk af te lezen.

Als gevolg van de hogere vormgevingstemperatuur kon 3%, berekend op droge stof, van het aanmaakwatergehalte worden bespaard (het verschil in gewichtsverlies voor de onderste en de 3 bovenste curven bedraagt 3,5%. Echter ligt het evenwichtswatergehalte van de warm vervaardigde vormlingen 0,5% lager). Bij toepassing van de oorspronkelijk toelaatbare condities zou dit een besparing op de droogtijd van 1 tot 1,5 uur geven.

Handhaving van dezelfde natte-boltemperatuur, doch toepassing van een vormgevingstemperatuur van 70° C, maakt het toepassen van strengere condities mogelijk, waardoor — mede door de hoge beginverdamping — de gemiddelde droogsnelheid wordt verhoogd van 2,8 tot 4,6 g/u/v en de droogtijd dienovereenkomstig wordt verkort van 25 tot 14 uur.

Handhaving van dezelfde vormgevingstemperatuur doch verdere verhoging van de natte-boltemperatuur tot 45 en 70° C maakt een verdere verhoging van de gemiddelde droogsnelheid tot respectievelijk 6,0 en 8,2 g/u/v mogelijk, waardoor de droogtijd verder wordt verkort tot respectievelijk 10,5 en 8 uur. Aangezien het toepassen van een natte-boltemperatuur van 70° C niet altijd realiseerbaar is, maar een vormgevingstemperatuur van 70° C en een natte-boltemperatuur

van 45° C wel binnen de mogelijkheden kunnen liggen, kunnen we de voor dit geval mogelijke verkorting van de droogtijd voorzichtigshalve wel stellen op 40% van de oorspronkelijk nodige tijd. Een dergelijk resultaat maakt het toch wel de moeite waard de mogelijkheden voor het eigen bedrijf nader te onderzoeken.

Drooggedrag van Vormbakproducten				
Formaat	Klei-soort <2 $\mu$ <10 $\mu$	T <sub>n</sub> °C	T <sub>v</sub> °C	Q <sub>i</sub> toel.b. g/u/v
Wf	16,5/31	35	15-20	35
			50-55	49
	22,5/42,5		15-20	20
			50-55	34
KK	22,5/42,5	13	15-20	20-24
			50-55	30-35
		35	15-20	24
			50-55	34
Df	22,5/42,5	25	ca. 20	15
		45		17
		25	ca. 50W	33
		45		33
		25	ca. 50A	25
		45		25

*Tabel — Resultaten van vroeger en recent onderzoek. Een hoger gehalte aan deeltjes kleiner dan 2  $\mu$  duidt op een slechte vochtgeleiding, maar grote sterkte van het materiaal; het gehalte aan deeltjes kleiner dan 10  $\mu$  is in hoofdzaak bepalend voor de hoeveelheid aanmaakwater die bij een bepaalde consistentie nodig is.*

Merkwaardig genoeg bleek het gedrag van de strengpersvormlingen zoals dat in het voorgaande werd beschreven, in het geheel niet in overeenstemming te zijn met de ervaringen die reeds eerder waren opgedaan bij onderzoek aan vormbakproducten. In de tabel zijn deze vroegere resultaten samengevat. Men ziet daarop de grote invloed die de vormgevingstemperatuur zowel bij de magere als de matig vette klei van de Waalformaat-vormlingen, als ook bij de kei-klinkervormlingen heeft. Bij de laatste blijkt ook dat de natte-boltemperatuur in het geheel niet van belang is. Aangezien de reden van dit afwijkend gedrag niet voor de hand lag, is de zaak in het kader van dit onderzoek nog eens nagegaan. Hierbij werden vormgevingstemperaturen van ca. 20 en 50° C toegepast, terwijl gebruik gemaakt werd van dikformaat-vormlingen. Deze werden zowel bij de vormgevingstemperatuur als na voorafgaande afkoeling in droging genomen. De resultaten zijn in dezelfde tabel opgenomen. Ook nu weer werd eenzelfde gedrag gevonden als vroeger, terwijl als volgend verschilpunt met de strengpersvormlingen bleek, dat bij de afkoeling een deel van het verkregen voordeel wat betreft de toelaatbare droogsnelheid verloren ging. Dit betekent dus, dat men reeds afgekoelde vormlingen voorzichtiger dient aan te pakken dan vormlingen die direkt met een temperatuur van bijvoorbeeld 50° C in de drogerij worden geplaatst. Het buiten de drogerij opgetreden gewichtsverlies helpt echter om de hierdoor verloren tijd weer gedeeltelijk in te halen. Het is trouwens ook waarschijnlijk dat de condities na verloop van tijd voor de afgekoelde vormlingen tot eenzelfde niveau opgevoerd zullen kunnen worden als voor de bij hoge temperatuur in droging genomen vormlingen bij het betreffende watergehalte toelaatbaar zou zijn. Dit is echter nog niet onderzocht.

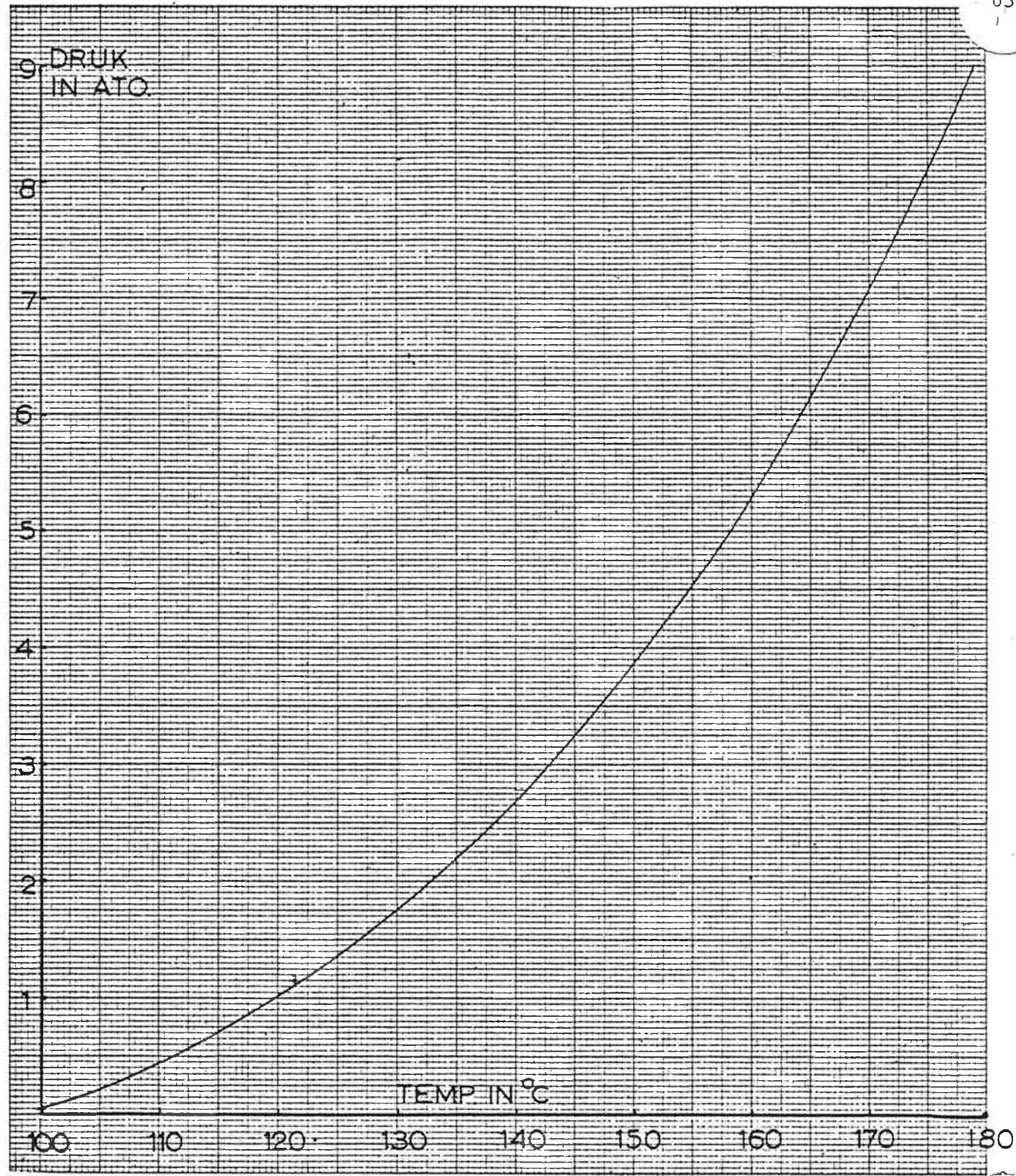
Bij droging onder constante, kritische condities bleek bij deze dikformaatvormlingen de droogtijd, nodig om een gewichtsverlies van 10% van het drooggewicht te doen ontstaan, voor de warm vervaardigde vormlingen ca. een halve dag korter te zijn dan voor de koud vervaardigde. Het zal geheel van de bedrijfsinterne omstandigheden afhangen of deze droogtijdverkorting gerealiseerd zal kunnen worden of misschien zelfs nog groter zal zijn.

Deze drie typen vormlingen vervaardigd uit magere en matig vette klei hebben gemeen, dat de scheurvorming in het begin van de droging optreedt. Bij een vette vormbakklei ontstaat als gevolg van het hoge watergehalte een grote krimp. Aangezien de vetheid de klei ook een grote sterkte geeft, is deze klei bij het

begin van de droging niet gevoelig, doch wordt de hoogte van de toelaatbare droogsnelheid bepaald door het optreden van eindscheuren. Bij de warme verwerking van dergelijke klei doet zich nu een complicatie voor. Bij de verdamping die bij de afkoeling optreedt, ontstaat namelijk een stevige korst. Deze belet verder het krimpen van de kern en de droogcondities moeten zover verminderd worden, dat er niet veel voordeel overblijft.

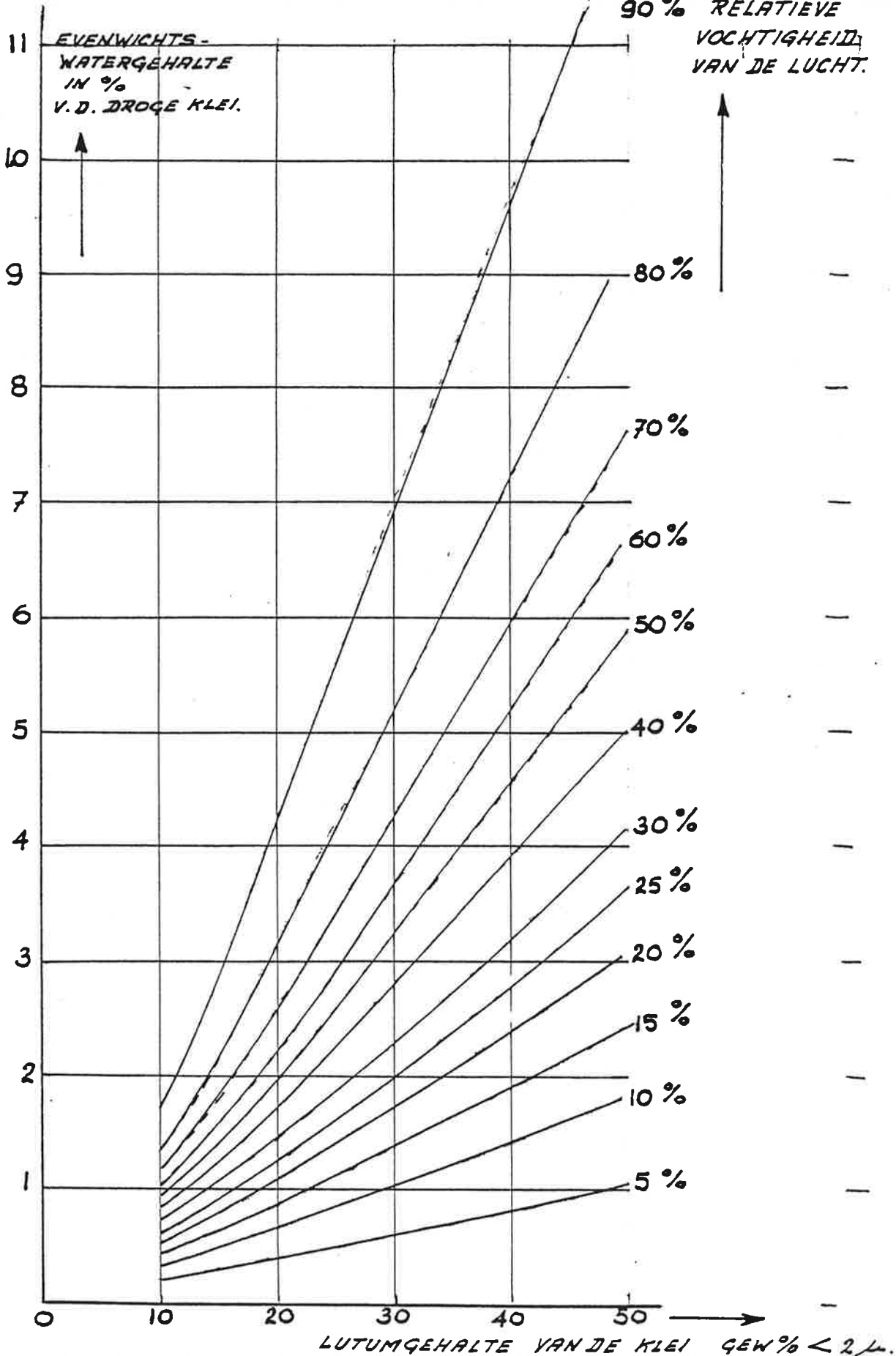
Bij direkt plaatsen in drooglucht met een hoge natte-boltemperatuur zal een minder sterke beginverdamping en dus geen korstvorming optreden. In dat geval moet men dus hogere droogsnelheden kunnen toepassen. Droogproeven hebben de juistheid van deze redenering inderdaad aangetoond. De winst in toelaatbare droogsnelheid, die in dit geval wordt verkregen, wordt dus indirekt mogelijk gemaakt doordat bij hogere natte-boltemperatuur wordt gedroogd, maar is uiteindelijk een direkt gevolg van de vormgeving bij hogere temperatuur. Bij al deze gunstige aspecten doet zich in de praktijk echter het droevige feit voor, dat de klei doorgaans al te nat is om nog enige stoomtoevoeging te kunnen verdragen. In dat geval kan indirekte verwarming — waaraan bij juiste toepassing voorlopig nog evenveel waarde gehecht dient te worden als aan het direkte contact tussen klei en stoom — nog uitkomst bieden. Dan heeft men echter nog niet geprofiteerd van de eventuele mogelijkheid tot het verpersen bij lager watergehalte. Men zou ook vóórgedroogde klei of liever nog vorgebrande of zogenaamde gecalcineerde klei kunnen toevoegen. De gecalcineerde klei is droog en poreus en stijft hierdoor de klei enorm op. Voegt men de toeslag bovendien nog warm en wel toe, dan heeft men dus twee vliegen in één klap geslagen. Bedenkt men hierbij dan nog, dat de toevoeging van gecalcineerde klei behalve een verbetering van het bakgedrag ook een aanzienlijke verbetering van de droogeigenschappen kan geven, dan wordt het toch wel de moeite waard ook aan dit onderwerp de nodige aandacht te besteden.

Nijverheidsorganisatie T.N.O. Keramisch Instituut



Temperaturen en drukken van verzadigde stoom





ONTLEEND AAN SPEURWERK KER. INST. T.N.O. 1958 - 1960

HET EVENWICHTSWATERGEHALTE VAN NEDERLANDSE KLEISOORTEN BIJ VERSCHILLENDE RELATIEVE VOCHTIGHEDEN VAN DE LUCHT

FIG 2