

Een empirisch model van Nederlandse klei

door J. H. VAN DER VELDEN

Centraal Technisch Instituut TNO, Apeldoorn

Op de grondslag van de dikwijls duidelijke en soms vage relatie, die er tussen de korrelgrootteverdeling en enige belangrijke eigenschappen van Nederlandse kleien blijkt te bestaan, wordt een empirisch kleimodel ontwikkeld. Het is samengesteld uit rond zestig vuistregels en richtgetallen. Deze hebben betrekking op de mineralogische, chemische en granulometrische samenstelling van de klei, alsmede op de eigenschappen bij een vormgeving in plastische toestand, op het drooggedrag en op enige eigenschappen van de gebakken klei. Het model is voornamelijk representatief voor natuurlijke jonge rivierkleien, jonge zeekleien en magere lösslemen. Het kleimodel kan onder meer worden gebruikt voor de expertise van kleien, voor de kwaliteitszorg in de grofkeramische industrie en voor verschillende technisch-economische studies.

AN EMPIRICAL MODEL OF DUTCH CLAY

On the basis of the relationship between the particle size distribution and some important properties of Dutch clays, which may often be a specific one, but which sometimes is rather vague, an empirical clay model has been developed. This comprises about sixty rules of thumb and standard values. These refer to the mineralogical and chemical composition of the clay, to the particle size distribution, as well as to the characteristics at moulding in plastic condition, to the drying behaviour and to some properties of the fired clay. The model is primarily representative for younger fluvial, younger marine and poor aeolian clay deposits. The clay model can be used for, among other things, clay assessment, quality control in the heavy clay industry and different technical economic studies.

1. INLEIDING

Grondstofanalyses en onderkeningsproeven zijn in de keramische industrie van niet te onderschatten betekenis. Ze dienen voor de beoordeling van de industriële bruikbaarheid van kleien, zijn zinvol bij het specificeren van de verschillende bewerkingen en kunnen niet worden gemist bij het opsporen van oorzaken van kwaliteitsdefecten en bij de kwaliteitsbewaking van grondstoffen, halffabrikaten en eindprodukten.

In een concreet geval zijn er meestal verschillende analyses nodig om een verantwoorde conclusie te kunnen trekken. Het is dan in het algemeen bijzonder nuttig, wanneer men de verkregen proefresultaten kan vergelijken met uitkomsten die in doorsnee worden gevonden.

Dit artikel biedt een compact overzicht van gegevens die onder meer voor de bedoelde vergelijking kunnen worden gebruikt. Het zijn richtgetallen en vuistregels, die betrekking hebben op de samenstelling en op andere in technologisch opzicht van belang zijnde eigenschappen van in de grofkeramische industrie veel gebruikte Nederlandse kleien. Tezamen vormen zij een empirisch kleimodel.

Het pakket gegevens is vooral van toepassing op natuurlijke jonge rivier- en zeekleien, terwijl er naar gestreefd is ook het gedrag van de magere Limburgse en Brabantse lösslemen in het model op te nemen. De invloed van bijzondere toeslagstoffen op de eigenschappen van de klei blijft buiten beschouwing.

De vuistregels zijn voor een groot deel gebaseerd op de dikwijls duidelijke, soms echter ook vage relatie, die er tussen de korrelgrootteverdeling en enige belangrijke eigenschappen van Nederlandse kleien blijkt te bestaan. De gegevens die aan het modelontwerp ten grondslag liggen zijn ontleend aan de vakliteratuur, alsmede aan onderzoekresultaten van het voormalige Keramisch Instituut TNO en de huidige werkgroep Grofkeramiek van het Centraal Technisch Instituut TNO. Ze zijn weergegeven in diagrammen en tabellen en voor het merendeel van volgnummers voorzien. De met [...] gemarkeerde symbolen vertegenwoordigen de getalwaarde van de aangeduide grootheid. Zo wordt met [< 20] de getalwaarde van de korrelfractie kleiner dan 20 μm bedoeld.

KLEI EN KERAMIEK

MAANDBLAD VAN DE VERENIGING KLEI INDUSTRIE
EN VAN DE NEDERLANDSE KERAMISCHE VERENIGING

Redactiecommissie: Prof. Dr. J. M. Stevels, voorzitter; Ir. H. J. Timmers, vice-voorzitter; Mr. W. J. Bollen, secretaris; Ir. J. L. H. H. Bloemen; Drs. H. J. van Buren; Dr. Ir. M. E. A. Hermans; Ir. A. J. Rijken; Prof. Ir. A. L. Stuijts; J. de Vast; H. Verberkmoes. Redacteur Ir. L. L. van Breukelen. Adres voor redactionele aangelegenheden en abonnementen: Postbus 1057, Rijswijk Z.H., telefoon (070) 99 20 66 / Voor advertenties: A. T. Verschoor & Zoon B.V., telefoon (03450) 20 45, Postbus 27, Culemborg, Postgiro 847922. Bankgiro Amrobank N.V., Culemborg, nr. 47.01.86.380 / Abonnementen voor de Benelux f 40,— per jaar, exclusief B.T.W.

Geen code meer

Op grond van een initiatief van de PRE, dat in 1956 te Wenen in de openbaarheid kwam, heeft de AEC een eigen classificatiesysteem voor de keramische vakliteratuur ontwikkeld. De bestaande universele systemen, met name ook de UDC, achtte men voor de indeling van de kolossale verscheidenheid aan keramiekdocumentatie erg onhandig, zo niet onbruikbaar. In het bijtschaven van iets dat al bestond zag men geen heil. Het zelf ontwerpen van een beknopt systeem dat perfect op het vakgebied zou worden afgestemd, hield men voor de beste oplossing. Vooral van Franse zijde is het goede voorbeeld van hard werken gegeven. Het trok de anderen mee. In 1961 kon de Documentation Européenne Céramique gepubliceerd worden.

De DEC presenteerde zich wat lyrisch als 'een bibliografische classificatie, speciaal voor de keramiek, die dóór en vóór keramici is ontworpen om de gedachtenwisseling tussen de verschillende landen te vergemakkelijken en de fabricagetechniek door het beter doorgeven van inlichtingen vooruit te helpen'. In concreto geeft de DEC aan, hoe in een code van enkele letters en cijfers het onderwerp van een verhandeling of document kan worden vastgelegd. Het inrichten van archieven of het opmaken van verzamelstaten met vakliteratuur wordt door de code erg eenvoudig. Mits goed gecodeerd, gaat elk artikel naar de juiste map of lijst. Bovendien komt alles over één onderwerp vanzelf bij elkaar. Zonder veel moeite is alle verzamelde documentatie over dat onderwerp dus te raadplegen.

De Europese keramiek hebben ijverig naar een algemeen gebruik van de DEC gestreefd. Vertalingen zijn gemaakt om niet-franstalige documentalisten voor het DEC-idee te winnen en in verscheidene vakorganen wordt de DEC-codering bij de artikelen aangegeven, wat de lezer het vaak moeilijke code-zoeken bespaart. Ook in ons land is actief propaganda gevoerd. In 1964 hebben VKI en NKV voor een Europese Keramische Dokumentatie in de Nederlandse taal gezorgd en sindsdien vindt men bij elke publicatie in Klei en Keramiek rechts boven de titel de DEC-codering.

Toch heeft de DEC minder opgang gemaakt dan verwacht was, momenteel lijkt het systeem zelfs op de terugweg te zijn. De oorzaak is wat duister; vermoedelijk is documentatie op trefwoorden toch aantrekkelijker dan op letters en cijfers, vooral als in steeds meer gevallen geen bevredigende letters en cijfers voorhanden blijken.

Gezien deze situatie zal Klei en Keramiek in navolging van grotere tijdschriften in andere landen de DEC-code loslaten. Dit nummer is het laatste waarin ze nog is afgedrukt. Zouden de lezers de wijziging een verarming vinden, dan komt de redactie graag op haar beslissing terug.

De eigenschappen van het kleimodel mogen uiteraard niet beschouwd worden als een gedrag dat voor de fabricage van grofkeramische produkten de voorkeur zou genieten. Het gebruik van grondstoffen met gunstigere eigenschappen dan die van de in het model vertegenwoordigde kleien, verdient juist sterk aanbeveling.

2. UITLEVERING VAN GRONDEN

Een massa-eenheid droge grondstof neemt in de groeve, tijdens het transport, in het depôt en in de opeenvolgende bewerkingsstadia telkens een ander volume in. Ook het vochtgehalte van de grondstoffen is geen constante grootheid. Het is

tabel 1: UITLEVERING VAN GRONDEN							
grondsoort		zand		klei			
watergehalte, % ($^m/m_d$)		circa 10		circa 20		circa 30	
nr.	eigenschap	volumieke massa kg/m ³	kg droog zand per m ³	volumieke massa kg/m ³	kg droge klei per m ³	volumieke massa kg/m ³	kg droge klei per m ³
1	ongeroerd op de vindplaats	1600	1455	2000	1665	1900	1460
2	los gestort in vervoermiddel	1250	1135	1200	1000	1150	885
3	ten dele ingeklonken op gronddepôt	1450	1320	1650	1375	1600	1230

tabel 2: GLOBALE CHEMISCHE SAMENSTELLING VAN NEDERLANDSE KLEIEN

nr.	component	gehalte, % ($^m/m_d$)	nr.	component	gehalte, % ($^m/m_d$)
4	SiO ₂	98 - [5 t/m 12]	14	CO ₂	< 5
5	Al ₂ O ₃	0,20. [< 20]	15	CaO (uit carb.)	1,274. [CO ₂]
6	TiO ₂	0,8	16	org.koolst.,C	0,58. [humus]
7	Fe ₂ O ₃	0,075. [< 20]	17	humus	0,025. [< 20]
8	MnO ₂	< 0,1	18	P ₂ O ₅	< 0,05
9	CaO	1,274. [CO ₂] + 0,8	19	F ⁻	< 0,05
10	MgO	1,1	20	Cl ⁻	< 0,10
11	Na ₂ O + K ₂ O	2,4	21	S (totaal)	< 0,05
12	gloeiverlies	[CO ₂] + 0,085. [<20]	22	SO ₄ ²⁻ , (op1.)	< 0,10
13	H ₂ O (chem.)	0,06. [<20]	23	FeS ₂	< 0,10.

opmerkingen: ($^m/m_d$) = massadelen per massadeel droge klei

[<20] = korrelfractie kleiner dan 20 μ m in % ($^m/m_d$)

[5 t/m 12] = som van de uitkomsten van de gehalten 5 t/m 12

uiteraard van belang, dat elk bedrijf ten aanzien van deze punten over betrouwbare gegevens beschikt. Voor meer globale berekeningen inzake ontgraving, transport en opslag van zand en klei kunnen de in tabel 1 gegroepede richtgetallen worden gebruikt. De gegevens voor watergehalten van 20 en 30% zullen in het algemeen van toepassing zijn op respectievelijk magere en vette kleien.

3. GRONDSTOFSAMENSTELLING VAN HET KLEIMODEL

3.1 Mineralogische samenstelling

Figuur 1 geeft een globale indruk van de mineralogische samenstelling van de in Nederland veel gebruikte kleien. In de rivier- en zeekleien bevindt zich in doorsnee meer dan 90% van het totale gehalte aan 'kleimineralen' in de korrelfractie kleiner dan 20 μm . Rond 70% van de kleimineralen wordt in de fractie kleiner dan 2 μm aangetroffen. In lössleem zijn deze percentages veel lager. Karakteristiek voor veel Nederlandse kleien is de aanwezigheid van kleimineralen, die door wateradsorptie zwellen. Ze bezitten een roosterafstand in de C-richting tussen 1,0 en 1,4 nm en zijn aangeduid met de naam 'intermediaten'. Hun aanwezigheid verklaart de minder gunstige droogeigenschappen van de kleien.

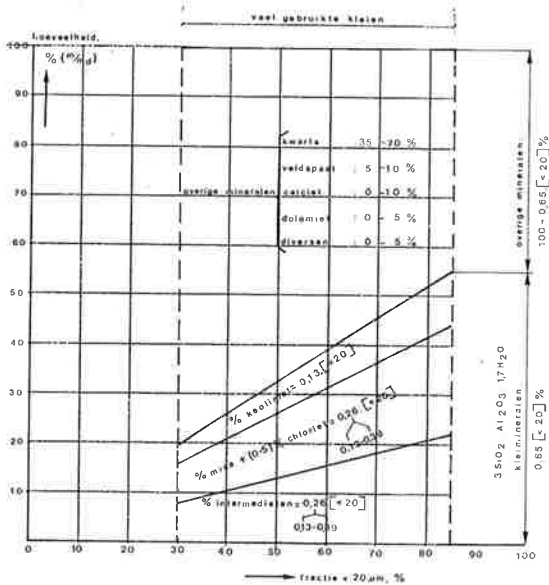


Fig. 1 — Mineralogische samenstelling van in de grofkeramische industrie veel gebruikte Nederlandse kleisoorten.

3.2 Chemische samenstelling

De chemische samenstelling heeft vaak veel overeenkomst met die uit tabel 2. De gehalten aan TiO_2 (nr. 6), MgO (nr. 10) en $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ (nr. 11) variëren gewoonlijk tussen 80 en 120% van de aangegeven waarde. Van een aantal componenten (nrs. 8, 14, 18, 19, 20, 21, 22, 23) is met het teken < aangegeven, dat meestal kleinere percentages worden aangetroffen. In lössleem zal het Al_2O_3 -gehalte hoger uitvallen dan de tabel aangeeft. Dit is verklaarbaar uit de aanwezigheid van een belangrijk deel van de kleimineralen in de korrelfractie groter dan 20 μm .

3.3 Granulometrische samenstelling

In figuur 2 zijn de relaties weergegeven tussen de korrelfracties kleiner dan $2 \mu\text{m}$, $10 \mu\text{m}$ en $20 \mu\text{m}$ in natuurlijke jonge rivier- en zeekleien en in natuurlijke lössleem (14). De relaties hebben betrekking op uitkomsten van sedimentatie-analyses volgens de pipetmethode van Köhn (beweegbare pipet). Het monster wordt hierbij in vochtige toestand in onderzoek genomen dan wel voorafgaand aan de analyse bij een temperatuur lager dan 40°C gedroogd. Kalk en humus worden niet verwijderd. De linweeg wordt in water gedurende 15 minuten gekookt met natriumoxalaat als peptisator.

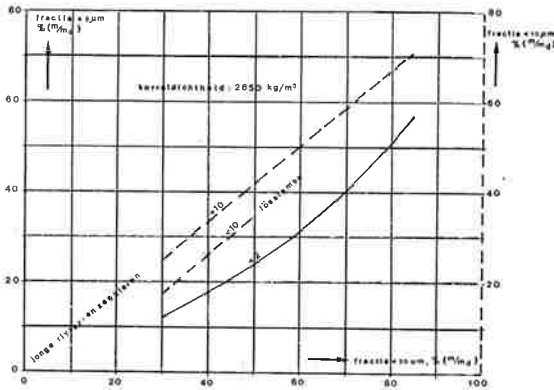


Fig. 2 — Korrelgrootteverdeling van enige Nederlandse kleien.

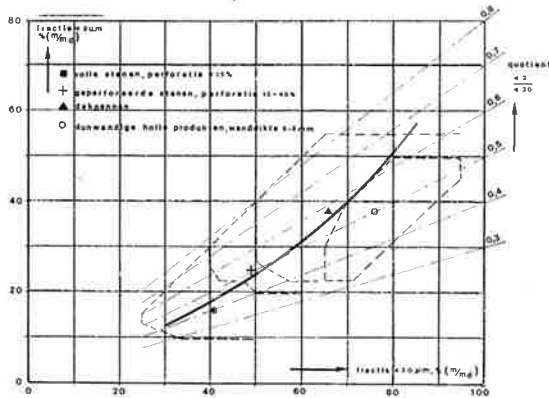


Fig. 3 — Korrelgrootteverdeling van enkele produkten (1).

Het verband tussen de fractie kleiner dan $2 \mu\text{m}$ en de fractie kleiner dan $20 \mu\text{m}$ is in figuur 3 nogmaals uitgezet (ononderbroken lijn). De streep-stiplijnen in deze figuur vertegenwoordigen samenstellingen met constante verhoudingen tussen de fracties kleiner dan $2 \mu\text{m}$ en kleiner dan $20 \mu\text{m}$. Bij het mageren van natuurlijke kleien met zand, dat meestal een te verwaarlozen hoeveelheid korrels kleiner dan $20 \mu\text{m}$ bevat, blijft de bedoelde verhouding constant. Uit de grafiek blijkt, dat men in dergelijke gemagerde grondstoffen een grotere fractie kleiner dan $2 \mu\text{m}$ kan verwachten, dan de voor natuurlijke kleien gekozen modelwaarde.

4. AAN DE KORRELGROOTTEVERDELING TE STELLEN EISEN

Sinds het begin van de dertiger jaren is de korrelgrootteverdeling en in het bijzonder de fractie kleiner dan $10 \mu\text{m}$ (het leemgehalte) in Nederland een belangrijk gegeven voor de technologische beoordeling van kleien. Voor de fabricage van vormbakmetselstenen uit rivierkleien en lössleem worden meestal leemgehalten gekozen liggend tussen 17% en 45%. Een karakteristiek leemgehalte voor straatsteen is circa 38% en voor dakpannen circa 57%.

H. G. F. Winkler (1) heeft tussen 1950 en 1955 eisen geformuleerd voor de korrelgrootteverdeling van een klei voor de vervaardiging van strengpersprodukten. In figuur 3 zijn met onderbroken lijnen gebieden begrensd van korrelgrootteverdelingen die Winkler aanbeveelt. De gebieden zijn herkenbaar aan de daarin geplaatste merktekens. De positie van een merkteken geeft de gemiddelde korrelgrootteverdeling aan van alle kleien die bij het onderzoek waren betrokken en voor de vervaardiging van het betreffende produkttype werden gebruikt. De hier gekozen voorstellingswijze in een rechthoekig coördinatensysteem wijkt af van die van Winkler. Winkler coördineerde de fracties $< 2 \mu\text{m}$, $2-20 \mu\text{m}$ en $> 20 \mu\text{m}$ in een driehoeksdiagram, dat in brede kring nog steeds als leidraad bij geschiktheidsbeoordelingen van kleien wordt gebruikt.

P. H. Dal (2) trok de universele bruikbaarheid van het diagram in twijfel door onder meer te wijzen op de invloed van de mineralogische samenstelling van de verschillende korrelfracties op het gedrag bij vormgeving en droging. Dal wees tevens op de verschillen tussen de bepalingswijze van de korrelgrootteverdeling in Nederland en de door Winkler toegepaste analysemethodiek.

Sindsdien opgedane ervaringen met betrekking tot de geschiktheid van Nederlandse jonge rivier- en zeeleien voor de vervaardiging van strengpersprodukten hebben geleid tot de in tabel 3 weergegeven voorlopige aanbevelingen voor de korrelgrootteverdeling.

Tabel 3 — Aanbevelingen met betrekking tot de korrelgrootteverdeling voor strengpersprodukten en dakpannen.

type produkt	hoeveelheid in %			
	$> 63 \mu\text{m}$	$< 20 \mu\text{m}$	$< 10 \mu\text{m}$	$< 2 \mu\text{m}$
volle stenen, $< 15\%$ perforatie	< 31	> 42	> 36	> 19
geperforeerde stenen, 15—20% perforatie	< 25	> 48	> 40	> 22
geperforeerde stenen, 20—40% perforatie nederlandse holle bouwstenen	< 20	> 56	> 47	> 28
dakpannen	< 16	> 63	> 53	> 34

Opgemerkt wordt, dat de droogeigenschappen van deze uit Nederlandse rivier- en zeeleien vervaardigde produkten in het algemeen minder gunstig zijn dan die van overeenkomstige produkten elders in Europa (5, 10).

5. DIVERSE EIGENSCHAPPEN VAN HET KLEIMODEL

5.1 Inleiding

De tabellen 4 en 5 bieden een overzicht van in technologisch opzicht belangrijke eigenschappen van het kleimodel. Tabel 4 heeft betrekking op het gedrag bij vormgeving in plastische toestand en op enkele eigenschappen van het gedroogde halffabrikaat. Tabel 5 bevat enige vuistregels betreffende het bakproces en de gebakken klei. De complexe werkelijkheid wordt sterk vereenvoudigd weergegeven.

Tabel 4 — Enkele eigenschappen van jonge rivierkleien, jonge zeekleien en lösslemen.

nr.	EIGENSCHAP	EENHEID	SYM-BOOL	GETALMAARDE
24	gemiddelde korrelrijchheid van natuurlijke klei:	kg/m^3	d_k	2650 (2620 tot 2680)
25	gehalte aan vrije lucht in luchthoudende klei, betrokken op het luchtvrĳe volume:	$\%$ (v/v)	=	4,5 (4 tot 5)
26	gehalte aan vrije lucht in ontluchte klei, betrokken op het luchtvrĳe volume:	$\%$ (v/v)	=	0,15 (0,12 tot 0,18)
27	korrelfractie kleiner dan 20 μm :	$\%$ (m/m_d)	$[\times 20]$	(30 tot 85)
28	korrelfractie kleiner dan 2 μm :	$\%$ (m/m_d)	$[\times 2]$	$0,38 \cdot [\times 20] + 40 \cdot 10^{-6} \cdot [\times 20]^3$
29	korrelfractie kleiner dan 10 μm van natuurlijke jonge rivier- en zeekleien:	$\%$ (m/m_d)	$[\times 10]$	$0,84 \cdot [\times 20]$
30	korrelfractie kleiner dan 10 μm van natuurlijke magere lösslemen:	$\%$ (m/m_d)	$[\times 10]$	$0,84 \cdot [\times 20] - 7,5$
31	evenwichtswatergehalte van bij maximaal 40°C gedroogde klei, na adsorptie in lucht van 20°C met een relatieve vochtigheid van 75%:	$\%$ (w/m_d)	w_e	$0,135 \cdot [\times 2]$
32	adsorptie-dilatatie van een bij 100°C gedroogd proefstuk, na adsorptie in lucht van 20°C met een relatieve vochtigheid van 75%:	$d^{100}(L/L_d)$	D_a	$0,093 \cdot [\times 2]$
33	totaal-specifiek oppervlak, ($d_{m,v}$ glycoladsorptie)	m^2/g	O_s	$23 \cdot w_e$
34	uitrolgrens volgens Atterberg:	$\%$ (w/m_d)	w_u	$14,5 + 0,12 \cdot [\times 10]$
35	vloeigrens volgens Atterberg:	$\%$ (w/m_d)	w_L	$14,5 + 0,72 \cdot [\times 10]$
36	consistentie volgens Pfefferkorn, uitgedrukt als resthoogte van de proefcilinder:	mm	P_F	(4 tot 35)
37	consistentiestabiliteit, uitgedrukt als verschil in vormgevingswatergehalte per mm Pfefferkorn - resthoogteverandering:	$\%/mm$	S_c	$0,15 + 0,0075 \cdot [\times 10]$
38	vormgevingswatergehalte bij een gegeven consistentie:	$\%$ (w/m_d)	w_p	$19 + S_c \cdot (15 - P_c) + 5,3 \cdot 10^{-3} \cdot [\times 10]^2$
39	normale volumekrimp bij het drogen, betrokken op het oorspronkelijk volume van het proefstuk:	$\%$ (v/v)	v_d	$100 - \frac{(5850 - 16 \cdot [\times 10])}{(37,7 + w_e)}$
40	normale lineaire krimp bij het drogen, betrokken op de oorspronkelijke lengte van het proefstuk:	$\%$ (L/L)	λ_d	$50 - \sqrt{2500 - 33,3 \cdot v_d}$
41	volumieke massa van de gedroogde scherf:	kg/m^3	ρ_d	$\frac{107}{\sqrt{(5850 - 16 \cdot [\times 10])}}$
42	factor bij verwerking van luchthoudende klei:	--	f	1,045
43	factor bij verwerking van ontluchte klei:	--	f	1,0015
44	buigsterkte van gedroogde proefstaven van ontluchte klei in geheel droge toestand:	N/mm^2	$\sigma_{b,d+}$	$3,5 \cdot 10^{-3} \cdot [\times 10]^2$
45	buigsterkte van gedroogde proefstaven van luchthoudende klei in geheel droge toestand:	N/mm^2	$\sigma_{b,d+}$	$2,6 \cdot 10^{-3} \cdot [\times 10]^2$
46	buigsterkte van gedroogde proefstaven na adsorptie in lucht van 20°C met een relatieve vochtigheid van 75%	N/mm^2	σ	$0,4 \cdot \sigma_{b,d}$

5.2 Bespreking van tabel 4

nr. 24: De gemiddelde korrelrijchheid van de doorsneeklei wordt ongeacht

mogelijke verschillen in mineralogische samenstelling en humusgehalte constant verondersteld.

nrs. 25 en 26: Voor het gehalte aan vrije lucht in luchthoudende gevormde kleimassa's wordt een constante waarde aangehouden, die onafhankelijk is van de vormgevingstemperatuur (3). Hetzelfde geldt voor op een vacuumstrengpers ontluchte klei. Verondersteld wordt verder, dat de klei koolzuurvrij is, dat de vrije lucht verzadigd is met waterdamp, dat de druk van de lucht in de klei gelijk is aan de atmosferische druk en dat het water in de klei verzadigd is met lucht.

nrs. 27, 28, 29 en 30: De empirische relaties tussen de verschillende korrelfracties (figuur 2) zijn hier met vuistregels aangegeven. Kleien met minder dan 30% van de fractie kleiner dan 20 μm leveren in het algemeen een gedroogd halffabrikaat op dat niet sterk genoeg is, terwijl kleien met meer dan 85% van die korrelfractie zeer moeilijk scheurvrij te drogen zijn.

nrs. 31, 32 en 33: (7, 8, 9). Het evengewichtswatergehalte, de adsorptiedilatatie en het totale specifiek oppervlak zijn van belang voor de schatting van de droogtijd van vormlingen en voor de beslissing over een al dan niet geconditioneerd transport en verblijf van gedroogd halffabrikaat buiten de oven. Verschillen, tussen proef- en vuistregeluitkomsten zijn meestal toe te schrijven aan een van het model afwijkend gehalte aan zwellende kleimineralen in het onderzochte monster.

De correlatie tussen het totale specifiek oppervlak, bepaald door middel van glycoladsorptie en het evengewichtswatergehalte bij adsorptie in lucht van 20°C met een relatieve vochtigheid van 75% is zeer goed. Het totale specifiek oppervlak mag daarom uit de uitkomst van de eenvoudiger uitvoerbare bepaling van het evengewichtswatergehalte worden berekend. Het te onderzoeken monster wordt daarbij tezamen met een standaardmonster, waarvan het totale specifiek oppervlak bekend is, aan de adsorptieproef onderworpen.

nrs. 34 en 35: De uitrolgrens en de vloeigrens bepalen het watergehaltetraject waarbinnen de klei plastisch vervormbaar is. De praktijk leert, dat de kans op het ontstaan van scheuren in een kleimassa die wordt vervormd toeneemt, naarmate het watergehalte de uitrolgrens dichter nadert.

nr. 36: De consistentie van de klei, uitgedrukt als resthoogte van een proefcilinder na een stuikproef volgens Pfefferkorn, blijkt in de industriële praktijk goed bruikbaar voor het specificeren van de plastische toestand waarin een klei bij toepassing van een bepaalde vormgevingstechniek dient te verkeren.

Normale waarden zijn in dit verband:

- voor het vormbakprocédé, 5 mm;
- voor een vormgeving met de Deense draaitafelpers, 10 mm;
- voor het handdraaien, 15 mm;
- voor het strengpersprocédé, 20—35 mm.

Een vervorming bij resthoogten groter dan 35 mm veroorzaakt een te groot krachtverbruik en een te grote slijtage van kneedinrichtingen en vormgevingsmachines. De Nederlandse kleien zijn in natuurlijke toestand bovendien meestal reeds minder stijf. Bij resthoogten kleiner dan 4 mm nadert het watergehalte de vloeigrens. De klei is dan te slap en meestal ook te kleverig om te worden verwerkt.

Opgemerkt wordt, dat men zich voor de consistentiecontrôle bij het vormbakprocédé wel bedient van een stuikproef die, door een andere keuze van de vervormingsarbeid, hogere resthoogten oplevert dan de stuikproef volgens Pfefferkorn. Dit soort meetwaarden dient uiteraard duidelijk te worden onderscheiden van de meetwaarden die met het internationaal bekende Pfefferkorn-apparaat worden verkregen.

nr. 37: Onder de consistentiestabiliteit wordt verstaan de hoeveelheid water,

uitgedrukt in massaprocenten van de droge klei, die nodig is voor het bewerkstelligen van een consistentieverandering van 1 mm Pfefferkornresthoogte. De consistentiestabiliteit van een klei blijkt in een groot consistentietraject bij benadering constant. De bepaling ervan is onder meer van belang voor het vaststellen van de toelaatbare spreiding van het vormgevingswatergehalte.

nr. 38: Het vormgevingswatergehalte van het kleimodel wordt door de korrelfractie kleiner dan $10\ \mu\text{m}$ en de vormgevingsconsistentie bepaald. De vuistregel is van toepassing op luchthoudende klei van 15°C met een normaal humusgehalte (nr. 17).

nrs. 39, 40 en 41: De relatie tussen de volumieke massa van de gedroogde scherf en het leemgehalte heeft betrekking op kleien met een normaal humusgehalte (nr. 17), op vormgeving bij 15°C en op droging in stilstaande lucht van 15 à 20°C met een relatieve vochtigheid van 75% . Voorts wordt aangenomen, dat de procentuele volumekrimp onafhankelijk is van het luchtgehalte van de klei.

nrs. 42 en 43: Vuistregel nr. 39 is onder handhaving van de betreffende modelvoorwaarden als uitgangspunt gekozen voor het ontwerp van de vuistregel voor de volumekrimp. De vuistregel voor de lineaire droogkrimp is bovendien gebaseerd op de veronderstelling, dat de klei zich voor wat betreft de krimp isotroop gedraagt. De mogelijke invloed van variaties in het humusgehalte, in de vormgevingstemperatuur, in de textuur van de klei en in de wijze van drogen op de eigenschappen van het model komen in deze vuistregels derhalve niet tot uitdrukking. Het zal duidelijk zijn, dat alleen onder laboratoriumomstandigheden, door metingen aan proefplaatjes, getalwaarden verkregen kunnen worden, die met de modelwaarden mogen worden vergeleken. De meetwaarde van de droogkrimp van proefplaatjes is van belang bij de beoordeling van het drooggedrag. Een lineaire droogkrimp groter dan 11% is in het algemeen onaanvaardbaar.

nrs. 44, 45 en 46: De mechanische sterkte van de gedroogde scherf is tot uitdrukking gebracht in de buigsterkte van proefstaven bij een driepuntsbuigproef. De sterkte is van belang bij de groepering en het intern transport van het gedroogde halffabrikaat.

5.3 Bespreking van tabel 5

De eigenschappen van gebakken klei worden in sterke mate beheerst door betrekkelijk kleine variaties in de grondstofsamenstelling, door de aan het bakproces voorafgaande bewerkingen en door de warmtebehandeling in de oven. Zij lenen zich minder goed voor opnemings- en droogmodellen. Er is daarom volstaan met het memoreren van enkele vuistregels betreffende de volumieke massa, de poreusheid, de baktemperatuur en de bakkleur.

nrs. 47 tot en met 55: De vuistregels hebben betrekking op de volumieke massa van de gebakken scherf en de maximale wateropneming bij een gegeven bak- en droogkrimp. Vuistregel 54 wordt vooral gebruikt bij onderzoek inzake de waterhuishouding in en de vorstbestandheid van gebakken keramische materialen.

nr. 56: De vuistregel geldt voor een opwarmingssnelheid van $20^\circ\text{C}/\text{h}$, een oxiderende atmosfeer en een rijpingstijd van 10 uren. Het temperatuurniveau dat dan nodig is voor het verkrijgen van een lineaire bak- en droogkrimp van 1% kan afhankelijk van de soort en de hoeveelheid smeltstoffen ongeveer 25°C afwijken van de vuistregelwaarde.

nrs. 57 en 58: Voor wat betreft de bakkleur zijn de bekende vuistregels van H. A. Seger gememoreerd. In alle Nederlandse lössleem, jonge rivierkleien en jonge zeekleien is de ijzer-aluminium-verhouding groter dan 0,20.

6. VORMGEVINGSDIAGRAM

De vuistregels voor een vormgeving van plastische klei in tabel 4 en het gestelde in de toelichting daarop zijn verwerkt in een diagram (figuur 4). Dit geeft voor luchthoudende klei de relaties weer, die in doorsnee aanwezig zijn tussen het leemgehalte, het vormgevingswatergehalte, de consistentie, de normale lineaire droogkrimp en de volumieke massa van de gedroogde scherf. Voor ontluchte klei is de Pfefferkornreshoogte steeds 2 mm hoger dan aangegeven in het diagram. In hoofdstuk 7.4 wordt hierop nader ingegaan. Het van praktisch belang zijnde diagramgebied wordt omsloten door gebiedsdelen waarin de klei te slap of te stijf is, een te grote droogkrimp vertoont, te weinig plastisch is, of in gedroogde toestand een te geringe mechanische sterkte bezit.

Tabel 5 — Enkele eigenschappen van gebakken klei.

nr.	EIGENSCHAP	EENHEID	SYM- HOOFD	GETALWAARDE
47	volumieke massa van de gedroogde scherf	kg/m^3	ρ_d	(zie nr. 41)
48	gloeiverlies	$\%$ ($^{100}/m_d$)	G	(zie nr. 12)
49	volumieke massa van de gebakken scherf bij een lineaire bakkrimp van 0%	kg/m^3	$\rho_{R,0}$	$\rho_d \cdot (1 - 0,01 \cdot G)$
50	volumieke massa van de gebakken scherf bij een lineaire bakkrimp van $A_B \%$ ($^{100}/L$):	kg/m^3	ρ_R	$\frac{\rho_{R,0}}{(1 - 0,03 \cdot A_B + 0,3 \cdot 10^{-3} \cdot A_B^2)}$
51	volumebakkrimp:	$\%$ ($^{100}/v$)	V_B	$100 - \left\{ 1 - \frac{\rho_{R,0}}{\rho_R} \right\}$
52	lineaire bakkrimp:	$\%$ ($^{100}/L$)	A_B	$50 - \sqrt{(2500 - 33,3V_B^2)}$
53	gemiddelde dichtheid van de gebakken vaste stof met de ingesloten, niet voor water toegankelijke poriën:	kg/m^3	d_B	$2680 - 20 \cdot A_B$
54	maximale wateropneming van de gebakken scherf, berekend uit ρ_B en A_B :	m^3/m^3	\bar{w}_0	$1 - \frac{\rho_R}{(2680 - 20 \cdot A_B)}$
55	maximale wateropneming van de gebakken scherf, berekend uit $\rho_{R,0}$ en A_B :	m^3/m^3	\bar{w}_0	$1 - \frac{\rho_{R,0}}{(2680 - 100 \cdot A_B + 1,4 \cdot A_B^2)}$
56	baktemperatuur, (+/- 25°C):	°C	B	1200 - 3,5 \cdot [< 20]
57	ijzer-aluminiumverhouding, vereist voor het ontstaan van:	--	$\frac{\text{Fe}_2\text{O}_3}{\text{Al}_2\text{O}_3}$	
	een witte scherf:	--		< 0,05
	een crème scherf:	--	#	0,063 tot 0,10
	een gele scherf:	--	#	0,125 tot 0,20
58	ijzer-kalkverhouding, die bij kleien met een ijzer-aluminiumverhouding groter dan 0,20 vereist is voor het ontstaan van:	--	$\frac{\text{Fe}_2\text{O}_3}{\text{CaO}}$	
	een gele scherf:	--		< 0,5
	een rode scherf:	--	#	> 0,8

Het werkgebied is verdeeld in zones, die elk voor een bepaalde vormgevings-techniek in aanmerking komen. In die zones is een aantal karakteristieke met cijfers gemerkte posities geprojecteerd van kleien, die geschikt zijn voor de fabricage van vormbakstenen, straatstenen, volle strengpersstenen, holle en geperforeerde stenen, dakpannen, bloempotten, steengaas en handgedraaide produkten. Het diagram geeft verder een inzicht in de mogelijkheden tot vermindering van het warmteverbruik bij de droging door een vormgeving bij een lager watergehalte en verschaft informatie over de consistentiestabiliteit. Ook is een taxatie mogelijk van de invloed van watergehalte, consistentie en grondstofsamenstelling op de maatvastheid van het produkt.

- 1 metselbakstenen, vol,
- 2 straatstenen,
- 3 metselbakstenen, vol, <15% perforatie,
- 4 metselbakstenen, 15-20% perforatie,
- 5 holle en sterk geperforeerde stenen,
- 6 dakpannen,
- 7 bloempotten,
- 8 steengas,
- 9 handgedraaide producten.

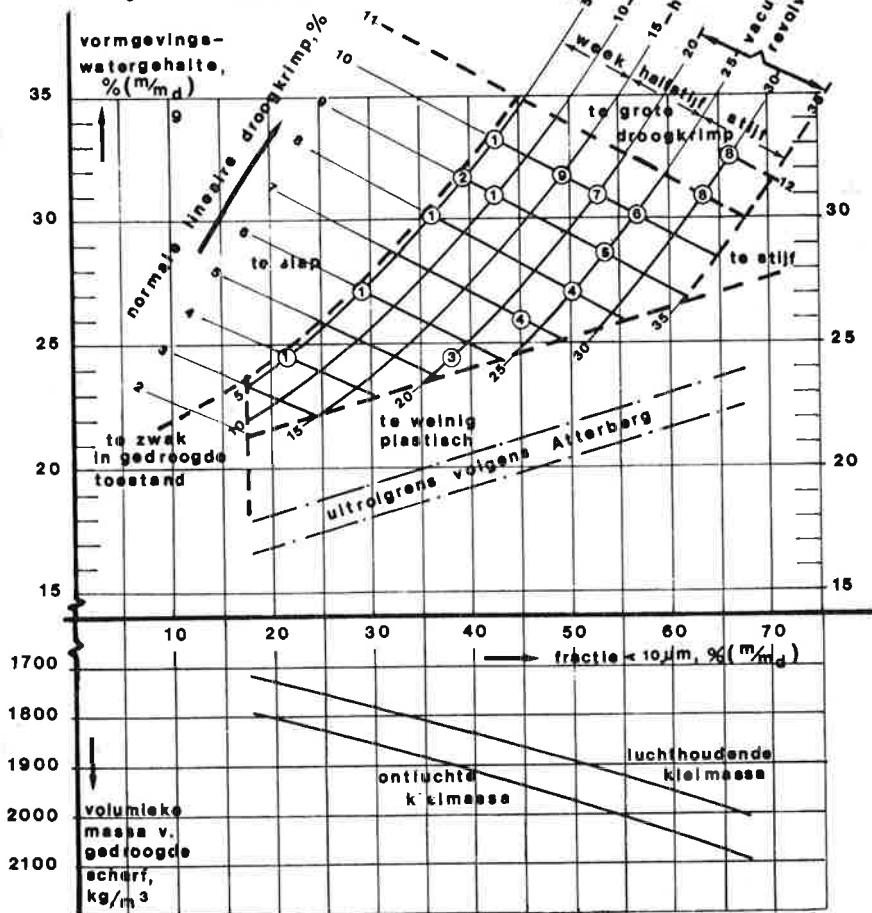


Fig. 4 — Vormgevingsdiagram.

7. AANPASSING VAN HET MODEL AAN DE WERKELIJKHEID

7.1 Inleiding

Het ontworpen model geeft een geïdealiseerd beeld van de werkelijkheid. De mineralogische, chemische en granulometrische samenstelling van een grondstof

zal meestal op verscheidene punten verschillen van die van het model. Ook de in het model veronderstelde verwerkingswijze van de grondstof zal in werkelijkheid vaak anders zijn. De daaruit voortvloeiende afwijkingen in het technologisch gedrag zijn meestal, althans wat hun aard betreft, wel voorspelbaar. Soms kunnen ze ook kwantitatief worden aangegeven. Enkele voorbeelden hiervan worden in het navolgende besproken.

7.2 Modelaanpassing voor pyriethoudende klei

De invloed van pyriet op de uitkomst van de humusbepaling, op het ijzergehalte en op het gloeiverlies blijft in het model buiten beschouwing. Bij aanwezigheid van $[\text{FeS}_2]$ % pyriet zal echter voor het volgens de kaliumbichromaat-methode bepaalde humusgehalte een waarde worden gevonden, die 0,19. $[\text{FeS}_2]$ % te hoog is. Bij de interpretatie van ijzeranalyses dient er bij aanwezigheid van $[\text{FeS}_2]$ % pyriet verder aan gedacht te worden, dat het experimenteel gevonden Fe_2O_3 -gehalte circa 0,66 $[\text{FeS}_2]$ % hoger uitvalt dan in een overigens gelijk monster zonder pyriet. Het gloeiverlies van een monster met $[\text{FeS}_2]$ % pyriet zal 0,33. $[\text{FeS}_2]$ % hoger geraamd moeten worden dan vuistregel nr. 12 aangeeft.

7.3 Betekenis van het humusgehalte van de klei

De vuistregel voor het humusgehalte (nr. 17) heeft betrekking op de klei onder de wortelrijke bovengrond en kan uiteraard slechts een ruwe benadering van de werkelijkheid zijn.

Humus beïnvloedt in sterke mate het vormgevingswatergehalte bij een gegeven consistentie. Het wordt hoger bij toenemend en lager bij afnemend humusgehalte. Voor een humusgehalte dat n% (absoluut) afwijkt van de normale waarde (nr. 17), bedraagt de correctie ΔW_v in % (m/ m_d) bij iedere consistentie globaal: $\Delta W_v = 4.n$.

Het effect op de volumieke massa van de gedroogde scherf kan worden berekend als men eenvoudigheidshalve aanneemt, dat een van het model afwijkend humusgehalte geen invloed heeft op de modelwaarde van de volumekrimp. Als materiedichtheid van de humus kieze men bij die berekening 1350 kg/m^3 .

7.4 Invloed van het luchtgehalte van de klei

Het gehalte aan vrije lucht in bewerkte luchthoudende klei en het luchtgehalte in klei, die in een vacuumstrengpers naar behoren is ontlucht, blijken elk in de praktijk betrekkelijk weinig te variëren (3). Luchtgehalteverschillen hebben in het algemeen nauwelijks invloed op de procentuele volumekrimp bij de droging. De invloed op de volumieke massa van de scherf kan door een juiste keuze van de factor f. van formule 39 in rekening worden gebracht.

De relatie tussen de consistentie en het watergehalte (nr. 38) geldt voor luchthoudende klei. Wanneer men de consistentie van een luchthoudende klei bij eenzelfde watergehalte vergelijkt met die van ontluchte klei, blijkt vooral magere ontluchte klei iets stijver te zijn. Een duidelijk inzicht in dit verschijnsel ontbreekt vooraansnog. Ruw geschat kan men bij elke klei en elk watergehalte als gevolg van het ontluchten een opstijving verwachten van 2 mm Pfefferkornresthoogte. Voor de raming van het watergehalte van een op een vacuumstrengpers verwerkte klei dient men op grond van dit gegeven in formule nr. 38 een consistentiewaarde in te vullen die 2 mm lager is dan de gewenste consistentie van de ontluchte streng.

7.5 Invloed van verwarming van de klei na de vormgeving

Door verwarming van de gevormde klei aan het begin van het droogproces tot de natteboltemperatuur van de drooglucht blijkt het kleivolume toe te nemen (6). Wanneer men aanneemt dat de expansie bij constante druk van de lucht in de klei plaats vindt kan de volumevergroting worden berekend uit:

- de uitzetting van tijdens de opwarming met waterdamp verzadigd blijvende lucht
- het vrij komen van aanvankelijk in het water opgeloste lucht
- de uitzetting van klei en water (van relatief geringe invloed).

Bij verwarming van luchthoudende klei met aanvankelijk 4,5% vrije lucht van 15° tot 35°C neemt het volume toe met 0,9%. Voor ontluchte klei met aanvankelijk 0,15% vrije lucht bedraagt die volumevergroting 0,3%. De percentages zijn betrokken op het luchtvrije kleivolume. Experimenteel konden bij weke kleien inderdaad expansies van deze orde van grootte worden aangetoond. De volumevergrotingen gelden voor koolzuurvrije klei. Indien natuurlijke klei zonder luchtige tussenopslag direct wordt verwerkt, kan deze koolzuurhoudend zijn. De expansie is in dat geval groter.

De effecten van een verwarming van verse vormlingen op de afmetingen en de volumieke massa van het gedroogde halffabrikaat kunnen aan de hand van vorenstaande gegevens worden berekend wanneer men aanneemt, dat de procentuele droogkrimp geen wijziging ondergaat. Het drooggedrag van de vormlingen kan door de bedoelde expansie in ongunstige zin worden beïnvloed. Door de klei vóór de vormgeving te verwarmen elimineert men dit effect.

7.6 Modelaanpassing bij verwarming van de klei vóór de vormgeving

Een vormgeving bij een hogere temperatuur dan 15°C levert bij een gegeven vormgevingswatergehalte een lagere Pfefferkornresthoogte op dan die van het kleimodel. De correctie ΔPr in mm bedraagt voor een verwarming van 15°C tot θ °C voor alle consistenties ten naaste bij: $\Delta Pr = 0,1 \cdot (\theta - 15)$.

Het gehalte aan vrije lucht in de klei blijft bij die verwarming meestal ongeveer gelijk. De hoeveelheid in het aanmaakwater opgeloste gassen neemt echter af. Onder handhaving van een gegeven consistentie kan een lager vormgevingswatergehalte worden gekozen. De correctie is gelijk aan het product van ΔPr en de consistentiestabiliteit S_c (nr. 37). De invloed van de kleiverwarming op de droogkrimp kan vervolgens met vuistregels 39 en 40 worden getaxeerd.

7.7 Invloed van de droogsnelheid op de droogkrimp

In het kleimodel wordt verondersteld, dat de vormlingen langzaam drogen (hoofdstuk 5, nrs. 39 tot en met 43). Snelle droging leidt tot schaalvorming, waardoor de krimp ten koste van in- of uitwendige scheurtjes en vervormingen kleiner uitvalt dan het model aangeeft. De droogkrimpvermindering die door snelle droging in de praktijk kan optreden hangt in sterke mate af van de bedrijfsinterne normen betreffende gaafheid van vorm en structuur, die voor het gedroogde halffabrikaat worden gehanteerd. Die normen bepalen immers mede de droogtijd. In de praktijk treft men droogkrimpverminderingen aan tot 90—95% van de lineaire droogkrimp als bedoeld in het model. Het effect is vaak niet in de drie hoofdrichtingen van de vormlingen gelijk. Het verschijnsel kan maatverschillen opleveren tussen in de werkweek en in het weekeinde gedroogde vormlingen.

7.8 Anisotroop krimpgedrag

In het kleimodel wordt verondersteld, dat de droogkrimp in de drie hoofdrichtingen gelijk is. Vooral strengpersprodukten en dakpannen gedragen zich

echter op dit punt in sterke mate anisotroop. Ook bij langzame droging kunnen zich in de drie hoofdrichtingen van dit soort vormlingen droogkrimpen voordoen, die bijvoorbeeld variëren tussen 80% en 120% van de met formule 43 uit de volumekrimp berekende waarde.

8. GEBRUIKSWAARDE VAN HET KLEIMODEL

Over de gebruikswaarde van het hier ontwikkelde kleimodel kan tot slot het volgende worden opgemerkt:

- a. Het model biedt de mogelijkheid op efficiënte wijze een globale indruk te verkrijgen van een aantal belangrijke eigenschappen van de in de Nederlandse grofkeramische industrie overwegend gebruikte grondstof.
- b. Het model geeft een inzicht in de gebruiksmogelijkheden van de doorsneeklei voor de fabricage van verschillende produkten. Het vormgevingsdiagram maakt een snelle oriëntatie mogelijk.
- c. Het model is een nuttige vergelijkingsmaatstaf bij de expertise van kleien. In feite wordt al geruime tijd een deel van de richtgetallen en vuistregels zij het niet in de hier gepresenteerde vorm, als zodanig gebruikt. Duidelijke verschillen tussen proefuitkomsten en modelwaarden (bijvoorbeeld afwijkingen groter dan acht procent) attenderen de onderzoeker op de mogelijkheid, dat het technologisch gedrag afwijkt van het hem uit ervaring bekende doorsneegedrag.
- d. Het model verschaft een groot aantal basisgegevens ten behoeve van de kwaliteitszorg op grofkeramische bedrijven.
- e. Het model kan als grondslag dienen voor allerlei technisch-economische studies, waarbij de aard van de grondstof een belangrijke rol speelt. Men denke hier bijvoorbeeld aan het ontwikkelen van energiebesparende fabricage-technieken.
- f. Het model is van belang bij de evaluatie van binnen- of buitenlandse kleisoorten en fabricagesystemen en kan een stimulans zijn voor het opsporen en gebruiken van grondstoffen met gunstigere technologische eigenschappen.

LITERATUUR

1. Winkler, H. G. F.; Ziegelindustrie (1955), nr. 8, p. 307—311.
2. Dal, P. H.; Klei (1957), nr. 1, p. 3—31.
3. Seters, A. W. van; Dal, P. H.; Klei (1954), nr. 9, p. 305—322.
4. Velden, J. H. van der; Ziegelindustrie (1963), nr. 4, p. 109—114.
5. Velden, J. H. van der; Klei en Keramiek (1961), nr. 4, p. 67—74.
6. Klugt, L. J. A. R. van der; Klei en Keramiek (1961), nr. 1, p. 3—13.
7. Amerongen, H. van; Klei en Keramiek (1967), nr. 3, p. 66—80.
8. Douma, G. H.; Klei en Keramiek (1969), nr. 5, p. 114—120.
9. Douma, G. H.; Klei en Keramiek (1969), nr. 9, p. 226—233.
10. Klugt, L. J. A. R. van der; Klei en Keramiek (1964), nr. 1, p. 3—13.

Nieuws uit het bedrijfsleven

Weer winst bij Koninklijke Sphinx

De omzet van NV Koninklijke Sphinx te Maastricht, onderdeel van het Britse Reed-concern, is vorig jaar ten opzichte van 1975 gestegen van f 148,8 mln tot f 166,2 mln. Er werd een nettowinst behaald van f 4,4 mln. tegen een verlies van f 6,8 mln. in 1975. De winst over 1976 is afgeboekt op het verlies over 1975, zo blijkt uit 'Sphinx', het nieuwsblad voor het personeel.

De uitvoer bedroeg vorig jaar 50 pct van de omzet tegen 53 pct in 1975. Doordat de afzet de productie overtrof namen de voorraden af. Deze hebben over het geheel genomen eind 1976 een normaal niveau bereikt.