

Oriënterend onderzoek naar het droogpersen van bakstenen

J. van der Zwan
C. A. M. Siskens

Werkgroep Fijnkeramiek, TH Eindhoven

1. Samenvatting

Onderzocht zijn de perseigenschappen van een grote rivierenklei bij een vijftal verschillende drukken.

De kleimassa was bereid door droogmalen en zeven, en haar vochtgehalte was in evenwicht met de omringende atmosfeer.

Na het karakteriseren van de massa, heeft het onderzoek zich gericht op het vastleggen van de samenhang tussen de persdruk enerzijds, en de resulterende eigenschappen zoals dichtheid en sterkte anderzijds.

summary

Compaction of a typical Dutch clay was investigated at 5 different compaction pressures.

The clay presently used was milled and sieved, and had a moisture content in equilibrium with ambient-air. The study was aimed at the relation between compaction pressure and resulting properties as density and strength.

2. Inleiding

Nu de laatste jaren de energieprijzen enorm stijgen, is de aandacht voor het droogpersen weer toegenomen, voornamelijk omdat (zoals de naam reeds aangeeft) bij lage percentages vocht wordt gewerkt. Er zou dus geen energie nodig zijn voor het drogen van de vormlingen, of slechts zeer weinig voor een eventueel nadrogen.

Tevens zouden met het droogpersproces de zeer vette kleien geperst kunnen worden die door middel van het vormbak of strengpersprocédé niet of nauwelijks verwerkt kunnen worden.

Het droogpersprocédé wordt toegepast bij de vervaardiging van keramische produkten zoals tegels, (vlak) serviesgoed, vuurvast en elektrokeramiek. De toegepaste drukken lopen tot ca. 20 MPa voor tegels, 60 (eventueel 100) MPa voor vuurvast en tot 100 MPa voor elektrokeramiek.

Droogpersmassa's bevatten meestal tussen 1 en 7% vocht (althans bij de bovengenoemde categorieën keramiek) waardoor de massa's droog aanvoelen en, na het persen, geen droogkrimp hebben. Belangrijke controlegrootheden van de massa's zijn: vochtgehalte, korrelgrootteverdeling (van de persmassa zelf, wel te verstaan) en de zg. stort- en trildichtheid. Deze laatste twee getallen geven de volumieke massa aan van de persmassa wanneer deze zonder enige verdere voorzorg in een vat gestort wordt, resp. wanneer de massa in een vat getrild wordt tot geen verdere volumevermindering (d.i. verdichting) optreedt.

Het persen vindt in het algemeen plaats in stalen matrijzen met stempels in hydraulische of mechanische persen. Het vullen van de matrijs (of matrijzen) wordt verzorgd door een over de matrijsopening schuivende vulschoen. De dosering is dus op volumebasis, vandaar dat een goede controle van stort- en trildichtheid nodig is om tot een constant gewicht van het produkt te komen.

Bij het persen moet men zich voorstellen dat eerst de deeltjes (de kleikorreltjes) naar elkaar toe worden geschoven. Dit gebeurt reeds bij de allerlaagste drukken. Bij toenemende druk gaan dan de kleikorreltjes breken of vervormen en neemt het volume verder af.

Bij nog hogere drukken worden de kleideeltjes in de korrels (althans wat daar

nog van over is) naar elkaar toe gedrukt. Hierbij is het dat, ondanks de naam van het procédé, toch het geringe vochtgehalte een zeer belangrijke rol speelt. Het is nl. dit vocht dat de kleideeltjes aan elkaar doet hechten wanneer ze tegen elkaar gedrukt zijn.

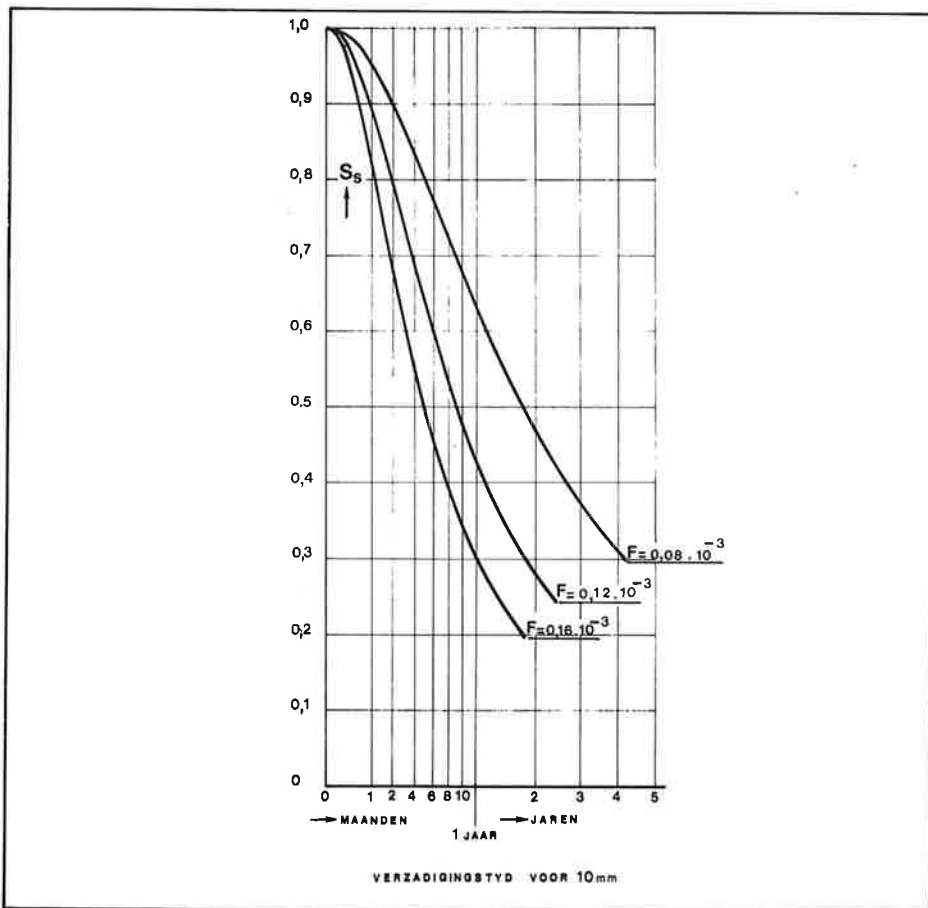
Ook de lucht tussen de kleideeltjes is echter samengeperst geworden. Deze samengeperste lucht kan het voorwerp doen breken wanneer ze, bij het teruggaan van de persstempel, te plotseling de kans krijgt te ontsnappen. Om deze reden wordt vaak in twee of meer trappen geperst waarbij de persdruk pas bij de laatste persslag zijn volle waarde bereikt.

Tussen de perslagen in gaat de stempel zover omhoog dat de ingesloten lucht kans krijgt te ontsnappen. Als vuistregel kan men aanhouden dat het volume van de oorspronkelijke onverdichte massa ongeveer gehalveerd wordt tijdens het persen.

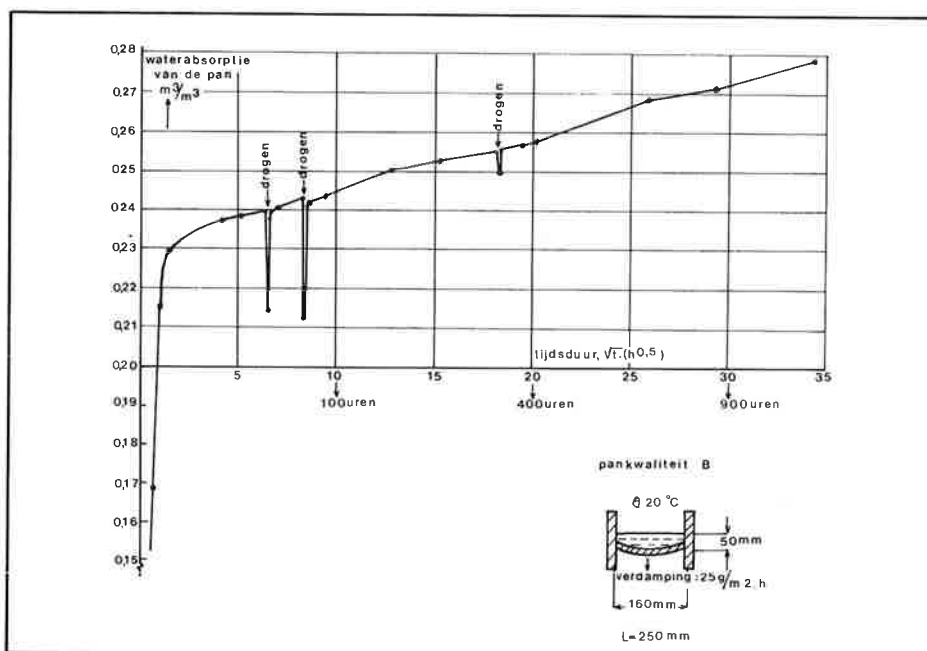
Een ander aspect bij het droogpersen is de wrijving tussen de persmassa en de wanden van de matrijs waardoor de drukverdeling in de persmassa niet gelijkmatig is. Wanneer de onderstempel stilstaat (ten opzichte van de matrijswand) betekent dit dat aan deze onderstempel de massa het minst verdicht wordt. Deze onvoldoende verdichting leidt tot een, voor één zijde van het voorwerp, onaanvaardbare lage sterkte en hoge bakkrimp. Om dit te vermijden worden meestal de stempels naar elkaar toe bewogen.

Het droogpersproces voor grofkeramische produkten, zoals in het verleden toegepast voor onder andere de Vlamovic-straatsteen, is in de 20-jaren ontwikkeld, en na het overwinnen van de nodige aanvangsmoeilijkheden en kinderziektes in apparatuur en procesvoering in het begin van de jaren 30 operationeel geworden. Problemen deden zich voor tijdens het persen (ontluchting, verdichting), het drogen (!) en het bakken. De drooggeperste klinkers, met 1-3 w% water, moesten bijvoorbeeld uiterst zorgvuldig gedroogd worden voor ze de oven ingingen, om scheurvorming bij het bakken te voorkomen.

De schaarse publikaties (1, 2) die in het verleden zijn verschenen over dit proces handelden voornamelijk over deze moeilijkheden tijdens de procesvoering



Figuur 8: Verzadiging van een scherf over een diepte van 10 mm, in relatie tot de spontane verzadigingsgraad.



Figuur 9: Verloop van de waterabsorptie van een dakpan.

terabsorptie bereikte watergehalte gehandhaafd. Een en ander werpt een nieuw licht op de factoren die de vorstbestandheid van een bouw materiaal bepalen.

3. Een verzadiging van de scherf via diffusie blijkt principieel anders te verlopen dan een verzadiging via absorptie onder gereduceerde luchtdruk die bij laboratoriumonderzoekingen naar de vorstbestandheid wel wordt toegepast. De diffusiemethode verdient voor vorstbestandheidsbeproevingen de voorkeur.

4. Uit het onderzoek blijkt dat de scherf structuur een belangrijke invloed heeft op de snelheid, waarmee de verzadiging zich voltrekt.

In een scherf met relatief grove poriën, die lucht kunnen vangen, verloopt het verzadigingsproces veel trager dan in fijne poreuze scherven. Ook het vaak anisotrope karakter van een scherf bepaalt mede het verzadigingsgedrag. Gezien de relatie tussen vorstbestandheid en actuele verzadigingsgraad, kan de vorstbestandheid van een product voor zover nodig door een passende modificatie van het hygrisch gedrag worden verbeterd. De studie geeft daartoe aanwijzingen.

5. Ventilatie van dak- en muurspouwen vertraagt bij gelijktijdig aanbod van water aan de zichtzijde van de constructie, in principe de verzadiging. Dit effect zal echter alleen merkbaar zijn, indien de bedoelde ventilatie een sterke waterverdamping tot gevolg heeft.

Afwisselende berekening en kortstondige beperkte droging van bouwconstructies kan toch een langzaam oplopende verzadiging van de bouwmaterialen tot gevolg hebben.

8. Literatuur

1. Stichting Bouwresearch, mededeling 21 'Vochttransport in en droging van bouwmaterialen, fundamentele grondslagen'.
2. Velden, J. H. van der, Isotherme waterabsorptie van grove bouwkeraamiek. Rapport 80-011068 van MT-TNO, Apeldoorn.
3. Klugt, L. J. A. R. van der, 'Hygrische eigenschappen van bouwmaterialen' Rapport BI-72-75 van IBBC-TNO, Rijswijk.
4. Hodgman, C. D. 'Handbook of chemistry and Physics' C.R.C.-Press, Inc. U.S.A.

geperst bij 50 MPa. Daar de eigenschappen van de geperste produkten van II en III nagenoeg gelijk waren, worden de gemiddelden van de twee series in tabel 4 weergegeven.

De verbanden tussen de meetgegevens/resultaten zijn weergegeven in figuur 1, met hun onderlinge samenhang:

persdruk - buigsterkte (rechtsboven)
persdruk - volumieke massa (rechts-onder)

volumieke massa - porositeit (links-onder)

porositeit - buigsterkte (linksboven).

1 figuur zijn de droge buigsterkten (σ_{3pb}) uit tabel 5 gebruikt).

De volumieke massa bij een persdruk van 50 MPa bedraagt 1,95 kg/dm³.

Deze waarde komt overeen met de dichtheid van de vroegere Vlamovicklinker geperst bij ca. 500-600 kgf/cm² (= 50-60 MPa). De persomstandigheden voor beide massa's zijn echter totaal verschillend. De Velper klei wordt langzaam en in één slag verdicht. De Vlamovic-massa werd in de praktijk verdicht door achtereenvolgens:

vullen, voorverdichting, eerste ont-luchting, voordruk van ca. 13 MPa, tweede ont-luchting, definitieve persing bij ca. 50 MPa, uitstoten (en reiniging van de matrijs).

De volumieke massa van de gedroogde Velper klei, bereid langs klassieke weg edraagt ongeveer 1,9 kg/dm³ (3).

van belang voor de hanteerbaarheid en verder transport in de fabriek is de mechanische sterkte van de geperste steen. Van de monsters is daarom de sterkte gemeten van de ongedroogde monsters die in evenwicht waren met de omringende atmosfeer. Het watergehalte bedroeg 1,4% (m/m_d).

De gemeten treksterkten σ_{3pb} zijn voor een aantal drukken in tabel 5 vermeld.

In de andere kolommen van de tabel zijn, aan de hand van vuistregels die aan de literatuur over Nederlandse kleien werden ontleend (3, 5), schattingen vermeld van de bijbehorende waarden van de trek- en buigsterkten in droge toestand, en van de druksterkten in vochtige en droge toestand.

Onder in de tabel zijn de met behulp van vuistregels (3) geschatte buigsterkten opgenomen van een tot vormbaksteen verwerkte klei met een leemgehalte van 47%. Bender geeft in zijn 'Planung von

Ziegelwerken' (4) de volgende beoordeling van de buigsterkten in geheel droge toestand:

buigsterkte in MN/m ²	beoordeling
< 1,5	onvoldoende
1,6 - 3	zwak
3,1 - 4,5	volgende
4,6 - 6	goed
> 6	zeer goed

De Nederlandse ervaring is, dat vormlingen, die in geheel droge toestand een buigsterkte bezitten $\geq 2,5$ MN/m² goed bestand zijn tegen mechanische verwerking.

Op grond hiervan is bij verwerking van proefmassa I tenminste een persdruk van 50 MN/m² noodzakelijk. De belasting van de onderste vormlingen in normale ovencharges zal geen aanleiding geven tot overschreiding van de druksterkte van de drooggeperste vormlingen.

Uit bovenstaande tabel blijkt wel, dat de drooggeperste proeflichamen zwakker zijn dan de natgeperste en/of gestrengperste monsters berekend volgens (3).

Uit de oriënterende proeven, de gegeven resultaten, en figuur 1 kan in eerste benadering een lineair verband worden afgeleid tussen persdruk en sterkte. Bij hogere drukken evenwel gaat deze benadering niet meer op, en nadert de sterkte evenals de massadichtheid (volumieke massa) asymptotisch naar een maximum eindwaarde. Een enkel punt gemeten bij een druk van 200 MN/m² bevestigt dit. Men kan dus niet door ongelimiteerde drukverhoging elke gewenste massadichtheid, porositeit en/of sterkte bereiken.

5. Conclusies

1. De klei is ondanks haar lage vochtgehalte (2% m/m_d) tot hanteerbare vormlingen te persen.

Tabel 4: Resultaten van droogpersproeven op een jonge rivierenklei.

massa	persdruk MPa	volumieke massa kg/dm ³	porositeit %	buigsterkte MN/m ²
I	10	1,70	35,6	0,23
	30	1,87	29,4	0,66
	50	1,95	26,4	1,10
	70	2,01	24,3	1,47
	100	2,06	22,3	1,92
II en III	50	1,79	32,5	0,16

Tabel 5: Droge en vochtige sterkten van drooggeperste klei (proefmassa I).

persdruk in MPa	treksterkte σ_{dc} MN/m ²		buigsterkte σ_{3pb} MN/m ²		druksterkte σ_d MN/m ²	
	vochtig	droog	vochtig	droog	vochtig	droog
30	0,3	0,8	0,7	1,7	1,1	2,8
50	0,5	1,2	1,1	2,8	1,9	4,7
70	0,7	1,7	1,5	3,7	2,5	6,2
100	0,9	2,2	1,9	4,8	3,2	8,1
Uit (3)			2,3	5,7		

en de gevonden oplossingen. Over de massa, haar gedrag tijdens het persen en de produkteigenschappen zijn nagevraagd geen gegevens bekend. Al met al is met het verdwijnen van dit persproces ook specifieke deskundigheid verloren gegaan.

De TNO Werkgroep Fijnkeramiek heeft in de afgelopen jaren het persgedrag onderzocht van, en ervaring opgedaan met het onderzoek aan verschillende keramische, gesproeidroogde, granulaten (muurtegelgranulaten en ferrieten). Het is uit deze onderzoeken gebleken, dat het droogpersen van keramische massa's goed beschreven wordt door de samenhang tussen persdruk, dichtheid, porositeit en sterkte vast te leggen (6).

3. Materialen en werkwijze

3.1. Karakterisering van de te persen klei

Ter beschikking stond een jonge rivierklei uit de omgeving van Velp, die na droging bij 40°C werd gemalen in een kruisslagmolen met een zeef van 4 mm. De verkregen korrelmassa werd vervolgens geconditioneerd bij 15 °C en een relatieve vochtigheid van 70%.

Daar er voor twee opeenvolgende proefmassa's verschillende molens werden gebruikt, kwamen er twee in persgedrag verschillende massa's ter beschikking (I en II). Door een gedeeltelijk verwijderen van de fracties < 100 µm uit massa II, is nog een derde persmassa bereid (III).

De analyse resultaten van het kleimonster zijn in onderstaande tabel 1 vermeld.

Tabel 1: Analyse resultaten.

O_s	, m ² /g	84
W_E (circa)	, % (m/m _d)	3,5
fractie < 2 µm	, % (m/m _d)	27
< 10 µm	, ..	47
< 20 µm	, ..	62
Al ₂ O ₃	, ..	10,3
Fe ₂ O ₃	, ..	3,9
CaO (uit carb)	, ..	5,7
humus	, ..	1,4

In bovenstaande tabel is O_s = totaal specifiek oppervlak door middel van glycoladsorptie, en W_E = evenwichts-watergehalte na adsorptie bij 20°C en 75% R.V.

De klei werd verder onderzocht op korrelgrootteverdeling door middel van droge zeefanalyse, vochtgehalte tijdens persen, losstortgewicht en trilstortgewicht. De beide stortgewichten worden berekend op 0% vocht.

De resultaten van bovengenoemde bepalingen worden vermeld in onderstaande tabellen.

Tabel 2: Zeefanalyse.

zeef	massa I Σ % (m/m _d)	II Σ % (m/m _d)	III Σ % (m/m _d)
> 1000 µm	2	1	1
< 1000	98	99	99
< 200	67	76	65
< 160	57	71	59
< 100	35	64	50
< 63	12	41	37
< 45	4	9	13

Tabel 3: Vochtgehalten en volumieke massa

eigenschap	I	II	III
vochtgehalte, % (m/m _d)	2,04	1,78	1,75
stortdichtheid, kg/dm ³	1,07	1,15	1,16
trildichtheid, kg/dm ³	1,44	1,54	1,52

3.2 Het persen

Voor het persen werd de klei afgewogen in hoeveelheden van 300 ± 1 g.

Het persen geschiedde op een Sack & Kiesselbach pers, type 6300 kN, in een eenvoudige matrix Ø 80 mm zonder voorzieningen voor ontluchten, voordruk, meerdere perslagen, uitstoten e.d. De persnelheid werd laag gehouden (ca. 60 mm/min) om gelaagdheid door luchtinsluiting in de monsters te voorkomen. De snelheid werd daartoe met de hand geregeld.

Van de eerste massa werden 5 series van 20 monsters geperst bij 5 verschillende drukken, nl. 10, 30, 50, 70 en 100 MPa. Met de andere twee massa's (II en III) zijn enkele oriënterende proeven gedaan bij 50 MPa.

3.3 Karakterisering van de geperste monsters

Na het persen werden van de monsters de afmetingen (diameter en dikte) en het gewicht bepaald, met behulp van resp. een schuifmaat tot op 0,1 mm en een elektronische balans tot op 0,1 g.

Op een MFL-trek/drukbank type UDP10 werd door middel van diametrale compressie van de monsters de (trek-) sterkte bepaald. De kracht in kgf waarbij de monsters breken, wordt met behulp van een sleepwijzer afgelezen.

Bij het breken hadden de monsters een vochtgehalte van ca. 1,4% (m/m_d).

Opm.: Vanwege de vorm van de monsters (schijven Ø 80 mm, dikte ca. 35 mm) is geen drie-puntsbuigproef uitgevoerd, maar een zg. diametrale compressieproef. De hieruit bepaalde sterkte is eenvoudig om te rekenen in een buigsterkte.

4. Resultaten en discussie

Er is een aanzienlijk verschil in verpersbaarheid tussen massa I en de massa's II en III.

Massa I leverde 90% goede monsters in een enkele persslag.

Massa II met een andere korrelgrootteverdeling en een iets lager vochtgehalte leverde daarentegen geen enkel ongelaagd monster op, ook niet na één meer voorverdichtingsfasen en ontluchting. Een gedeeltelijk afzeven van de fijnere fracties leverde enige verbetering op in perseigenschappen, maar enige gelaagdheid was ook bij massa III niet te vermijden.

Uit de gemeten perskracht, breekkracht, dikte, diameter en gewicht van de geperste monsters worden berekend:

- de persdruk P in MPa
- de volumieke massa ρ_p in kg/dm³
- de porositeit e_p in %
- de sterkte σ_{3pb} in MN/m²

De berekende sterkte uit de diametrale compressieproef σ_{dc} wordt hierbij herleid naar een sterkte overeenkomend met de driepuntsbuigproef σ_{3pb} .

De volumieke massa en de porositeit worden herleid naar 0% vocht.

De berekende resultaten zijn vermeld in tabel 4. Hierbij worden tevens de gegevens opgenomen van de enkele hanteerbare monsters van de massa's II en III

2. De verpersbaarheid is (sterk) afhankelijk van de korrelgrootteverdeling van de persmassa (niet te verwarren met de korrelgrootteverdeling van de klei!). Te veel fijne fracties in de persmassa veroorzaakt luchtinsluitingen. Ook het vochtgehalte van de massa speelt een belangrijke (maar nog niet onderzochte) rol.
3. De produkteigenschappen zijn sterk afhankelijk van de persdruk.
 - de sterkte neemt in eerste benadering lineair toe met de persdruk
 - de volumieke massa nadert snel naar een maximale einddichtheid.
4. De volumieke massa bij een persdruk van 50 MPa komt overeen met de volumieke massa (ca. 1,95 kg/dm^3) van

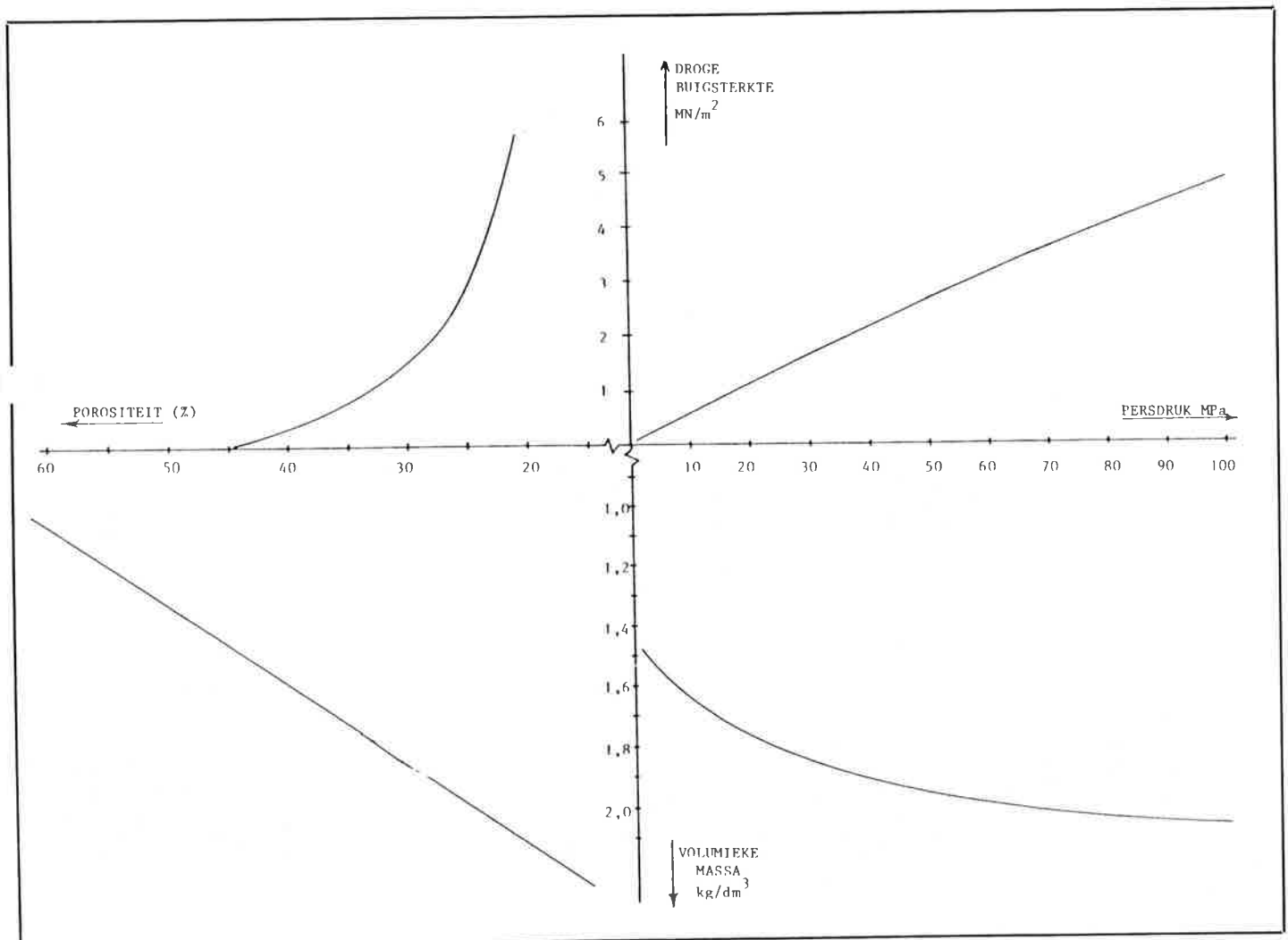
de Vlamovic-klinker geperst bij dezelfde druk.

5. De sterkte van de drooggeperste produkten is aanzienlijk lager dan die van produkten gemaakt volgens 'natte' methoden (strengpersen, vormbakproces).
Bij drukken van ca. 50 MPa en hoger komen zij in het gebied met een aanvaardbare sterkte.
6. Tegen extrapolatie van produkteigenschappen naar hogere drukken moet gewaarschuwd worden, daar de verbanden tussen persdruk en produkteigenschappen slechts in eerste benadering lineair zijn: bij hoge drukken naderen de eigenschappen een maximum eindwaarde.

7. De gevoeligheid voor blinde scheuren is nog niet onderzocht. Nader onderzoek naar deze gevoeligheid (bekend van o.a. de Vlamovic-klinker) is gewenst.

7. Literatuur

- [1] N.V. De Vlamoven Straatklinkers, - Straatklinkers en Straatwegen, Zeist, pag. 89-108, 1937.
- [2] Stichting Opleiding Keramici, - cursusdictaat onder redactie van J. Voskuil, HV, pag. 1, ca. 1970.
- [3] Velden, J. H. van der, - Klei en Keramiek **27** (12), 190-202 (1977).
- [4] Bender, W., - Die Planung von Ziegelwerken, Bauverlag GmbH, Wiesbaden en Berlin, 1978.
- [5] Amerongen, H. van, en J. H. van der Velden, - Samenstelling en eigenschappen van 31 kleisoorten, rapport CTI-TNO, no. 70-04032, 1 november 1970.
- [6] Zwan, J. van der, en C. A. M. Siskens, - Science of Ceramics 10, Berchtesgaden, Duitsland, **10**, 159-168 (1980).



Figuur 1: Verband tussen persdruk en produkteigenschappen voor een drooggeperste rivierenklei.

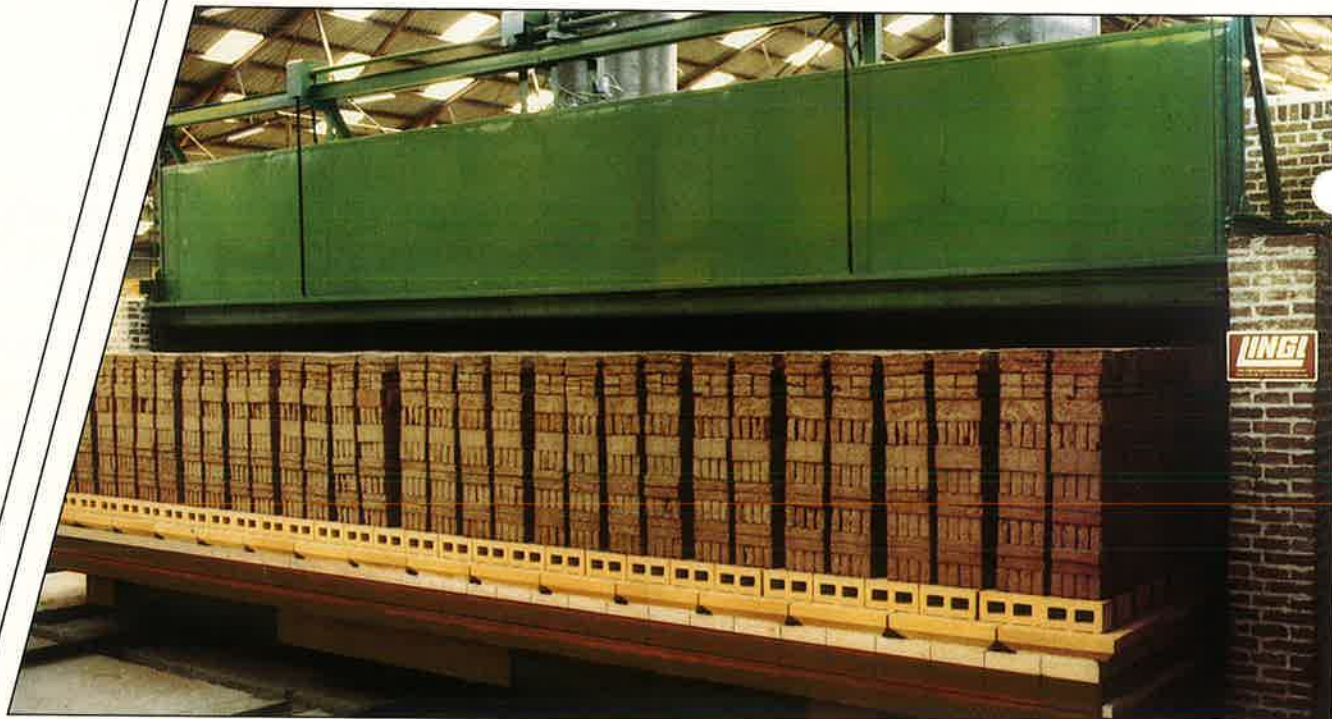


De tunneloven voor de 80-er jaren

Of het nu een oven van 8,60 m breed is, zoals de foto laat zien, of slechts 1 m breed, of deze nu met gas, olie of kolen gestookt wordt. de LINGL tunnelovens zijn met betrekking tot kwaliteit en energieverbruik, voor de hogere eisen van de 80-er jaren zeer goed uitgevoerd. Dichtheid, goede isolatie, korte bouwtijd en lange levensduur, krijgen bij het ontwerp van de oven alle aandacht.

Verbeterde stooksystemen en een nieuw type elektronische regelapparatuur, verhogen het economisch resultaat en geven de oven een hoge mate van betrouwbaarheid. LINGL ovens worden naar soort produkt en door u te stellen eisen van boven of aan de zijden gestookt.

Vraagt het LINGL – wij geven graag advies.



M 63 ht

Met toestemming van B. V. Steenfabriek Huissenswaard, Bommel

LINGL
Hans Lingl Anlagenbau und
Verfahrenstechnik GmbH & Co. KG
Postfach 16 29
D-7910 Neu-Ulm, W. Germany
Telefon (07 31) 70 51-1 Telex 7 12 623

gronfa keramische techniek b.v.
Postbus 514 – 4200 AM Gorinchem
Telefoon 01830–31309
Telex 21004
Irenelaan 3, 4213 CN Dalem (Gld.)