

VERGELIJKEND ONDERZOEK VAN DE SCHEURGEVOELIGHEID BIJ  
NATUURDROGING VAN VORMLINGEN, VERVAARDIGD VAN GESTOOM-  
DE EN NIET-GESTOOMDE KLEI

(voorlopig rapport)

===

I Inleiding

In het kader van het onderzoek naar de toepassingsmogelijkheden van stoom bij de fabricage van grofkeramische producten werd een aantal proeven verricht met het doel de invloed van de stoombewerking na te gaan op de scheurgevoeligheid van vormlingen bij het drogen onder omstandigheden, zoals deze in de natuur kunnen voorkomen. Het onderzoek werd uitgevoerd aan klinkerkeiformaat-vormlingen van een kleisoort uit het district "grote rivieren". In bijlage dezes is de granulometrische en chemische samenstelling opgenomen.

II Methode van onderzoek

In een daartoe ontwikkelde proefdrooginrichting werden steeds gelijke aantallen vormlingen van gestoomde en van koude klei gedroogd onder gelijke uitwendige condities. Na een droogperiode van vier uur werd de proef beëindigd en werden de vormlingen visueel stuk voor stuk nauwkeurig op scheurvorming onderzocht

De proefdrooginrichting (fig.1) bestond uit vijf naast elkaar gelegen tunnels en in elke tunnel kon worden geplaatst één rek met drie vormlingen van gestoomde klei en één rek met drie vormlingen van koude klei.

Door een ventilator werd aan elke tunnel een verschillende hoeveelheid buitenlucht toegevoerd, zodat dus de luchtsnelheid per tunnel varieerde, terwijl tijdens een vergelijkende proef (n.l. warme met koude klei) zowel de temperatuur als de vochtigheidstoestand van de lucht in iedere tunnel een gelijke waarde had. De droogkracht van de lucht was dus per vergelijkende proef alleen afhankelijk van de luchtsnelheid.

Tijdens de droogproef werden de rekken met vormlingen met regelmatige tussenpozen gewogen, zodat het gewichtsverlies per drie vormlingen gedurende de droging kon worden gevolgd.

III Vorbewerking en vormgeving van de klei

A - De vervaardiging van de koude klinkerkeiformaat-vormlingen

In een Eirichmenger werd de onbewerkte klei gemengd, gekneed en bevochtigd tot vormbakconsistentie. De consistentiemeting geschiedde met het Pfefferkornapparaat. Als vormbakconsistentie werd aangehouden een Pfefferkornstuikhoogte van 4,5 à 5 mm.

De vormgeving tot klinkerkei-formaat geschiedde volgens de handvorm methode, waarbij ervoor werd zorggedragen, dat zich geen plooiën vormden en dat een kantige vormling werd verkregen.

B - De vervaardiging van klinkerkeiformaat-vormlingen van gestoomde klei

De onbewerkte klei werd toegevoerd aan de voedingsgoot van een vacuümstrengpers (vacuum werd niet toegepast). In deze voedingsgoot werd de klei voor zover nodig met water bevochtigd. In de valkamer van de strengpers werd verzadigde stoom van 0,6 ato geïnjecteerd.

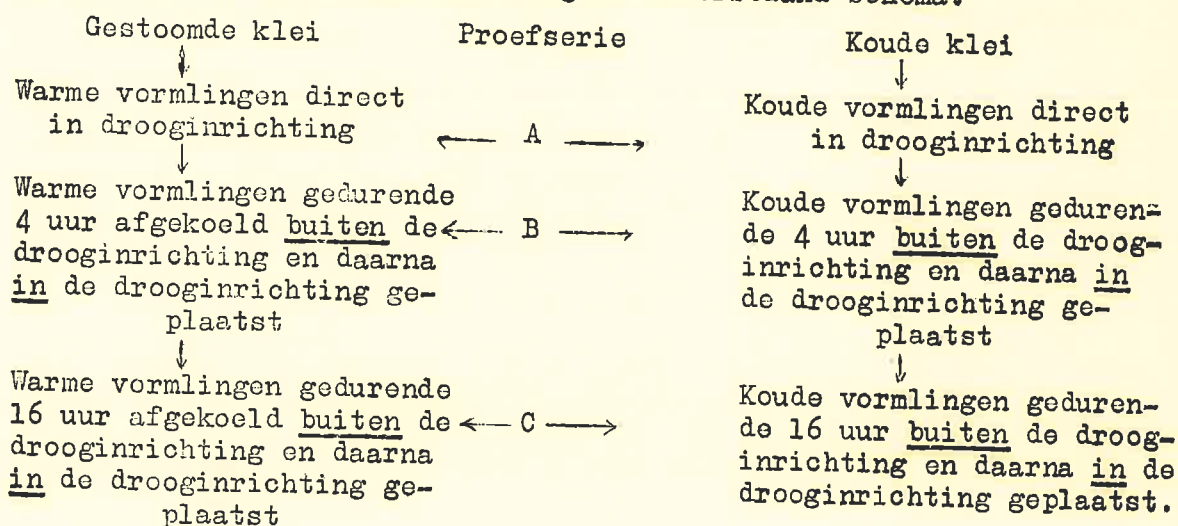
De stoom- en watertoevoer werd zodanig geregeld, dat gestoomde klei werd verkregen van eenzelfde consistentie als bij koude verwerking van de klei en een temperatuur van 50° à 60° C. De strengpers zonder perskop en mondstuk werkte in dit geval als voorberekingsmachine.

Ter homogenisering van de klei werd deze na gestoomd te zijn nog eenmaal in de valkamer teruggeworpen. De stoomtoevoer werd daarbij stopgezet. De vormgeving van de gestoomde klei geschiedde op dezelfde wijze als van de koude klei.

IV Uitvoering van de droogproeven

1° Schema

De proeven werden uitgevoerd volgens onderstaand schema:



2° Luchtcondities

De luchtsnelheden bij de proefseries A, B en C in de tunnels 1 tot 5 varieerden van tunnel tot tunnel van resp. 3 tot 0,1 m/sec., terwijl de stromingsrichting van de lucht steeds loodrecht op de kop van de vormlingen gericht was.

De droge- en de natte-boltemperatuur van de lucht waren uiteraard afhankelijk van het weertype van de dag van de vergelijkende proef.

Bij de verschillende proeven werden natte-boltemperaturen van 12° tot 16° C waargenomen.

3° Temperatuur van de verse vormlingen

De kerntemperatuur van verse koude vormlingen schommelde tussen 11° en 16° C. De kerntemperatuur van vormlingen van gestoomde klei direct na vervaardiging bedroeg in het algemeen ca. 50° C.

4° Initiaal vochtgehalte van de vormlingen

Het initiaal vochtgehalte van de koude en de gestoomde vormlingen varieerde tussen 29% en 31% op de droge stof berekend.

5° Gemiddeld gewicht van een volledig droge vormling

Het gemiddeld gewicht van een droge vormling bedroeg zowel voor warme als voor koude vormlingen 4200 gram.

6° Afmetingen van de verse vormlingen

De afmetingen van de verse vormlingen waren:  
lengte 239 mm - breedte 118 mm - hoogte 100 mm.

7° Vochtgehalte-spreiding in de verse vormlingen

Teneinde een indruk te verkrijgen van de vochtverdeling in de verse vormlingen werd bij elke proef zowel in een vormling van gestoomde klei als in een vormling van koude klei op vier verschillende plaatsen het watergehalte bepaald. De onderlinge afwijking van het vochtgehalte in de verschillende delen van de vormling bleek maximaal ca. 2% op droge stof berekend te bedragen. In het algemeen echter werden zowel bij de vormlingen uit gestoomde klei als bij de vormlingen uit koude klei vochtgehalte-spreidingen kleiner dan 1% waargenomen. Een duidelijk verschil in de homogeniteit van de vochtverdeling tussen gestoomde en koude klei werd niet gevonden.

8° Gewichtsverlies van warme vormlingen tijdens de afkoeling voorafgaande aan de eigenlijke droogproef.

Ten behoeve van het onderzoek naar de scheurgevoeligheid van vormlingen van gestoomde klei na hun afkoeling (zie proefserie B) werden de vers gevormde warme vormlingen eerst gedurende vier uur bewaard op een plaats waar praktisch geen luchtcirculatie was.

De kerntemperatuur van de vormlingen daalde in deze periode van ca. 50° C tot 17° à 18° C. Het gewichtsverlies van deze vormlingen bedroeg daarbij ca. 65 gram per vormling. Het gewichtsverlies van koude vormlingen op dezelfde plaats gedurende vier uur bedroeg ca. 15 gram per vormling.

Bij langzame afkoeling van een groot aantal warme vormlingen in een nauwe afgesloten ruimte gedurende 16 uur (zie proefserie C) bedroeg het gewichtsverlies gemiddeld 64 gram per vormling. De begintemperatuur was daarbij 56° en de eindtemperatuur 22° C.

Het gewichtsverlies van koude vormlingen, die ook 16 uur in een afgesloten ruimte werden bewaard, was 10 gram per vormling.

Bij de beoordeling van de resultaten van het scheurgevoeligheidsonderzoek van afgekoelde vormlingen dienen bovenstaande gewichtsverliezen, die optraden vóór het begin van de eigenlijke droogproef, in aanmerking genomen te worden (zie hoofdstuk bespreking resultaten).

9° Opstelling van de vormlingen in de proefdroger

Per tunnel werden drie klinkerkeiformaat-vormlingen van gestoomde klei en drie klinkerkeiformaat-vormlingen van koude klei in twee naast elkaar staande rekken geplaatst.

Bij de ene proef werden de drie vormlingen van gestoomde klei bij voorbeeld steeds in het linker rek van elke tunnel geplaatst, terwijl bij een volgende proef deze soort vormlingen in het rechter rek werd gezet om de invloed van eventuele onregelmatigheden in de luchtsnelheidsverdeling te ontgaan.

V Resultaten van het scheurgevoeligheidsonderzoek

In onderstaande tabel zijn de resultaten van het scheurgevoeligheidsonderzoek voor de in hoofdstuk IV-1 genoemde proefseries A, B en C gerangschikt.

proef-serie	vormlingen van <u>gestoomde</u> klei	vormlingen van <u>koude</u> klei
A	warme vormlingen van ca. 50° C direct in de drooginrichting geplaatst blijken te scheuren, indien de gemiddelde droogsnelheid in de eerste 20 minuten van het droog- en koelproces groter is dan ca. 100 gram per uur per vormling. De luchtcondities zijn bij deze droogsnelheid zodanig, dat de koude vormlingen onder invloed hiervan <u>niet</u> scheuren. (zie fig.4)	koude vormlingen direct in de drooginrichting geplaatst blijken in het algemeen te scheuren bij droogsnelheden groter dan 19 gram per uur per vormling
B	de vormlingen blijken na voorafgaande afkoeling buiten de drooginrichting gedurende vier uur bij een droogsnelheid van 28 gram per uur per vormling nog scheurvrij te drogen	koude vormlingen blijken na een voorafgaand verblijf van vier uur buiten de drooginrichting eveneens bij droogsnelheden groter dan 19 gram per uur per vormling te scheuren
C	de vormlingen blijken na voorafgaande afkoeling buiten de drooginrichting gedurende 16 uur een droogsnelheid van 28 gram per uur per vormling nog scheurvrij te verdragen	koude vormlingen blijken na een voorafgaand verblijf van 16 uur buiten de drooginrichting ook bij droogsnelheden groter dan 19 gram per uur per vormling te scheuren.

#### Toelichting proefserie A

In fig. 4 werd het gewichtsverlies van de beide soorten drogende vormlingen uitgezet als functie van de droogtijd. Het is vooral de hoge begin-verdampingssnelheid van de warme vormlingen, kenbaar aan het steile verloop van de curven in de eerste minuten van het droogproces, die een vergelijking van de scheurgevoeligheid van warme vormlingen en koude vormlingen onder de gegeven omstandigheden ten nadele van de warme vormlingen doet uitvallen. De warme vormlingen scheurden steeds in de eerste twintig minuten van het droogproces.

#### Toelichting proefserie B en C

Opgemerkt zij, dat de vormlingen van gestoomde klei, die na hun vervaardiging eerst gedurende 4 resp. 16 uur buiten de drooginrichting de gelegenheid kregen af te koelen, ca. 65 gram in gewicht afnamen, overeenkomende met een vochtgehalte-vermindering van 1,5% op de droge stof berekend.

Bij hogere droogsnelheden dan 28 gram per uur per vormling werden geen proeven verricht. De maximaal toelaatbare droogsnelheid van buiten de drooginrichting afgekoelde vormlingen van gestoomde klei zal dus in ieder geval hoger zijn dan 28 gram per uur per vormling.

Vormlingen van koude klei gedroegen zich na een voorafgaand verblijf van 4 resp. 16 uur buiten de drooginrichting overeenkomstig de koude vormlingen, die direct na vervaardiging in de drooginrichting werden geplaatst.

### VI Enkele eigenschappen van afkoelende en drogende vormlingen van gestoomde klei

#### 1° De afkoelingstijdsduur tot een vormlingkerntemperatuur van 20° C bij verschillende luchtsnelheden

In fig. 2 werd het verloop uitgezet van de kerntemperatuur van de vormlingen met de tijd tijdens de droging bij verschillende luchtsnelheden. Tijdens deze proef bevond zich in iedere tunnel één warme en één koude vormling. Uit deze grafiek blijkt, dat de afkoelingstijdsduur van een klinkerkeiformaat-vormling met een begintemperatuur van ca. 50° C tot een eindtemperatuur van 20° C varieert van 1 tot 2½ uur bij luchtsnelheden van resp. 2,2 tot 0,06 m/sec.

#### 2° Het gewichtsverlies van vormlingen van gestoomde klei tijdens het koel- en droogproces in vergelijking met het gewichtsverlies van onder dezelfde omstandigheden gedurende dezelfde tijd drogende koude vormlingen.

In onderstaande tabel werden van het droogproces in de vijf tunnels de volgende gegevens gerangschikt:

- a) de luchtsnelheid ten opzichte van de vormlingen in m/sec bij een droge-boltemperatuur van 17° C en een natte-boltemperatuur van 12° C;

- b) de tijdsduur van afkoeling van de warme vormlingen van een begintemperatuur van ca. 50° C tot een eindtemperatuur van 20° C;
- c) het gewichtsverlies van de vormlingen van gestoomde klei in deze periode in gram per vormling;
- d) het gewichtsverlies van de vormlingen uit koude klei in dezelfde periode in gram per vormling;
- e) het verschil in gewichtsverlies tussen warme en koude vormlingen tijdens de koeling;
- f) de gemiddelde droogsnelheid van de koude vormlingen in gram per uur per vormling als maatstaf voor de droogkracht van de lucht in de verschillende tunnels.

tunnel no.	luchtsnelh. t.o.v. vorml. m/sec.	koeltijdsduur in min.	gewichtsverlies in gram		verschil in gram	droogsnelh. koude vorml.	droogresultaat	
			warme vorml.	koude vorml.			warme vorml.	koude vorml.
1	2,2	66	77	32	45	29	gescheurd	gescheurd
2	1,2	92	87	28	59	18	gescheurd	goed
3	0,70	106	90	24	66	13,5	goed	goed
4	0,23	117	83	15	68	7,7	goed	goed
5	0,06	157	74	17	57	6,5	goed	goed

(zie fig. 3)

Uit bovenstaande tabel blijkt, dat warm gevormde stenen tijdens hun afkoeling tot 20° C gemiddeld ongeveer 60 g meer water verliezen dan koud gevormde stenen in dezelfde periode. Verder bleek ook bij deze proef, dat de warme vormlingen eerder tot scheurvorming aanleiding geven dan onder overeenkomstige condities drogende koude vormlingen.

## VII Bespreking van de resultaten

Bij de interpretatie van de resultaten van het verrichte onderzoek dient vooropgesteld te worden, dat de gevonden getalwaarden voor de toelaatbare droogsnelheid slechts betekenis hebben bij het initiaal-vochtgehalte.

Naarmate het droogproces vordert, kunnen keramische vormlingen in het algemeen grotere droogsnelheden scheurvrij verdragen. Verder gelden de resultaten slechts voor de onderzochte klei en onder de omstandigheden, waarbij deze klei resp. voorbereikt en gevormd werd.

Ofschoon getracht werd het vormen van de koude en de warme klei steeds op precies dezelfde wijze uit te voeren, is de toegepaste handvormmethode, die gemakkelijk kan leiden tot verschillen in de spanningstoestand van de verse vormlingen, niet vrij van critiek.

Uit het waargenomen verschijnsel, dat vormlingen van gestoomde klei na hun afkoeling minder scheurgevoelig zijn dan normale koude vormlingen, mogen wij niet concluderen, dat dit uitsluitend het gevolg is van verbetering van de droogeigenschappen door de stoombewerking als zodanig. Ook het feit, dat de vormlingen tijdens hun afkoeling buiten de drooginrichting reeds een gewichtsverlies van ca. 1,5% op droge stof berekend ondergaan hebben, is van invloed op de scheurgevoeligheid van deze vormlingen.

Niettemin behoudt het geconstateerde verschijnsel zijn praktische betekenis voor de natuurdroging, temeer omdat de koelperiode van de vormling kort is.

Verder bleek, dat, wanneer warme vormlingen bij een temperatuur van ca. 50° C onmiddellijk na hun vervaardiging werden blootgesteld aan droging en daarmee gepaard gaande koeling, deze vormlingen eerder aanleiding geven tot scheuren dan koude vormlingen, die na hun vervaardiging eveneens direct onder dezelfde condities werden geplaatst.

Dit is geenszins verwonderlijk, als men bedenkt, dat aan het begin van het koel- en droogproces de droogsnelheid van warme steen vele malen groter is dan de droogsnelheid van onder gelijke uitwendige droogcondities drogende koude vormlingen.

Ofschoon men in de praktijk met deze omstandigheid rekening zal moeten houden, speelt ze in het algemeen niet zulk een grote rol, omdat er meestal enige tijd verloopt alvorens de warme vormlingen bij natuurdroging aan extreme luchtcondities, die b.v. op hoeken van drooghutten kunnen voorkomen, worden blootgesteld.

De vormlingen zijn dan inmiddels reeds enigszins afgekoeld en kunnen daarna deze extreme condities beter weerstaan, doordat de verdampingsnelheid dan niet meer zo spoedig de kritieke waarde overschrijdt.

In hoofdstuk IV punt 2 bleek, dat een vormling van gestoomde klei met een beginkerntemperatuur van ca. 50° C tijdens het koelproces tot 20° C door extra verdamping gemiddeld ca. 60 gram meer water verliest dan een koude vormling in dezelfde periode en onder dezelfde uitwendige condities gedroogd.

Dit extra gewichtsverlies, dat verkregen wordt in een periode van ten hoogste ca.  $2\frac{1}{2}$  uur, betekent in principe een droogtijdwinst voor de in een natuurdrooginrichting gedroogde vormlingen van gestoomde klei. De grootte van de tijdwinst, die verkregen wordt, is echter afhankelijk van het weertype in de betrokken droogperiode.

Zijn de weersomstandigheden zodanig, dat de gemiddelde droogsnelheid van koude vormlingen 10 gram per uur per vormling bedraagt, dan wordt een droogtijdwinst van slechts  $60/10 = 6$  uur verkregen. Is het daarentegen vochtig weer en bedraagt de gemiddelde droogsnelheid 3 gram per uur per steen, dan wordt de droogtijdwinst  $60/3 = 20$  uur (bijna een etmaal).

Gezien het feit, dat juist in perioden met slecht drogende weersomstandigheden een gebrek aan droogruimte kan ontstaan, kan deze droogtijdwinst van praktische betekenis zijn.

### C o n c l u s i e s

Onderstaande conclusies hebben uitsluitend betrekking op het drogen in de buitenlucht.

- 1° Vormlingen uit gestoomde klei geven alleen onmiddellijk na hun vervaardiging bij ca. 50° C eerder aanleiding tot scheuren dan verse koude vormlingen. Dit wordt veroorzaakt door het feit, dat de verdampingssnelheid van eerstgenoemde vormlingen vele malen groter is dan de verdampingssnelheid van laatstgenoemde vormlingen en wel als gevolg van een veel groter verschil tussen de dampspanning van het water aan het oppervlak van de warme vormling en de dampspanning van de omringende lucht. De verzadigde dampspanning van water neemt n.l. sterk toe met de temperatuur. Bij grotere luchtsnelheden wordt de verdamping bovendien nog bevorderd door vermindering van de dampdiffusieweerstand.
- 2° Na afkoeling buiten de drooginrichting bleken de vormlingen van gestoomde klei minder scheurgevoelig te zijn dan vormlingen van koude klei. In hoeverre dit veroorzaakt werd door verbetering van de fysische eigenschappen van de klei tengevolge van het stomen of door de bij de afkoeling optredende vochtgehaltevermindering van ca. 1,5% werd niet nader onderzocht. Voor de gevonden getalwaarden van de toelaatbare verdampingssnelheid zij verwezen naar hoofdstuk IV blz.2 van dit rapport.
- 3° Afhankelijk van de luchtcondities en in het bijzonder van de snelheid van de lucht ten opzichte van de vormlingen bedraagt de periode, waarin de warme vormlingen afkoelen van ca. 50° C tot 20° C: 1 à 2½ uur.
- 4° Tijdens de afkoeling en droging van ca. 50° tot 20° C verliezen klinkerkeiformaat-vormlingen tengevolge van extra verdamping gemiddeld ca. 60 gram meer water dan koude vormlingen in dezelfde periode en onder dezelfde uitwendige condities gedroogd. Deze extra verdamping in de beginfase van het droogproces kan bij slecht drogende weersomstandigheden een vrij belangrijke droogtijdwinst opleveren

-o-o-o-

vdV/LM  
18-12-'53.



BIJLAGE

ANALYSERESULTATEN VAN DE KLEI

Granulometrische samenstelling

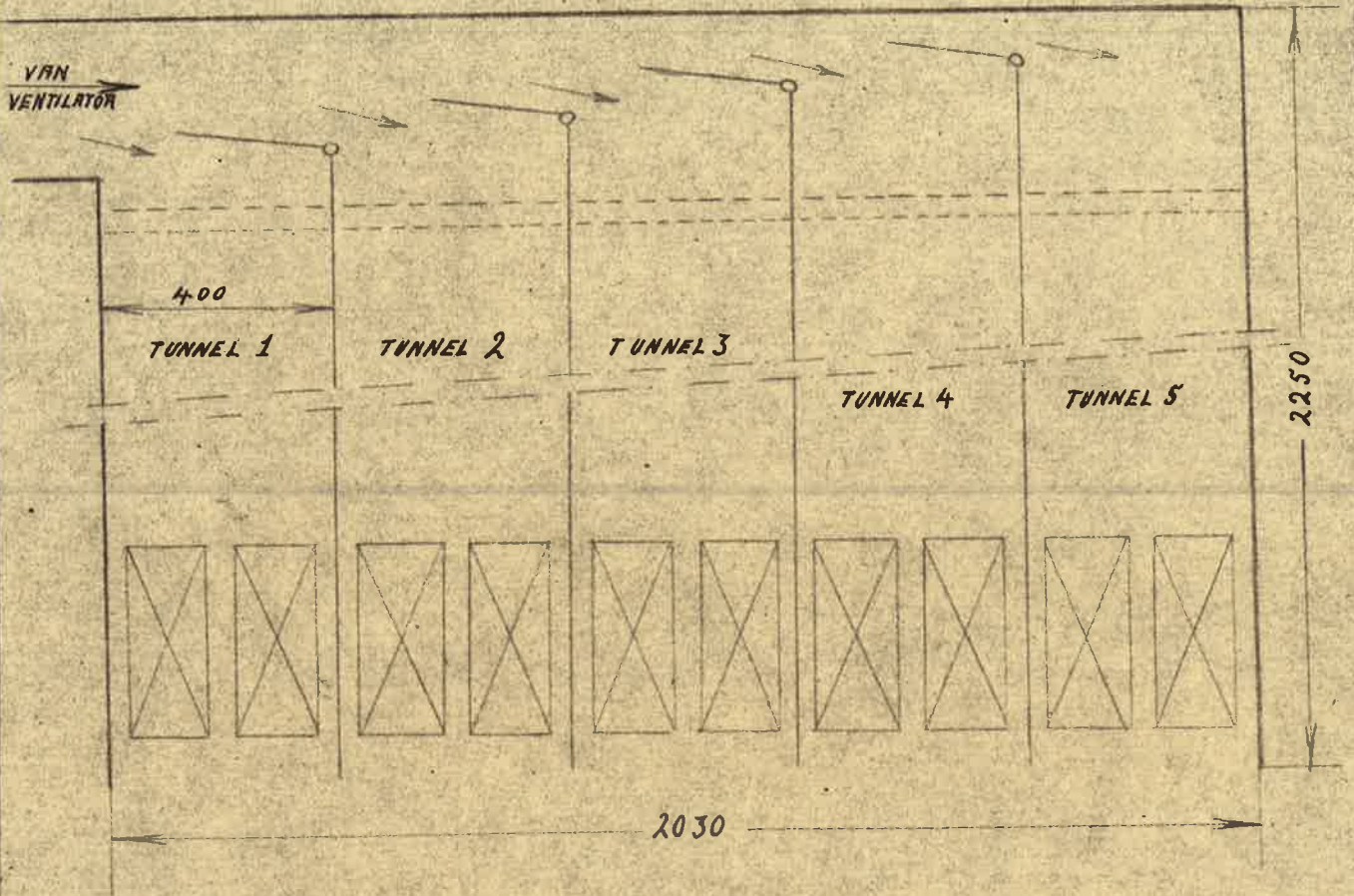
Grofzand	≥ 300μ	3,6 %
Grofzand	200 - 300μ	3,7 %
Fijnzand	60 - 200μ	15,1 %
Fijnzand	45 - 60μ	12,9 %
Stuifzand	25 - 45μ	11,4 %
Sloef	10 - 25μ	16,8 %
Leem	2 - 10μ	15,7 %
Lutum	< 2μ	20,8 %
		<hr/>
		100,0 %
		=====

Chemische samenstelling

Gloeiverlies	9,5 %
Kiezelzuur	64,2 %
Aluminiumoxyde	12,3 %
IJzeroxyde	3,5 %
Totaal kalk	6,4 %
Rest (hoofdz. alk.)	4,3 %
Som smeltstoffen	14,0 %

===

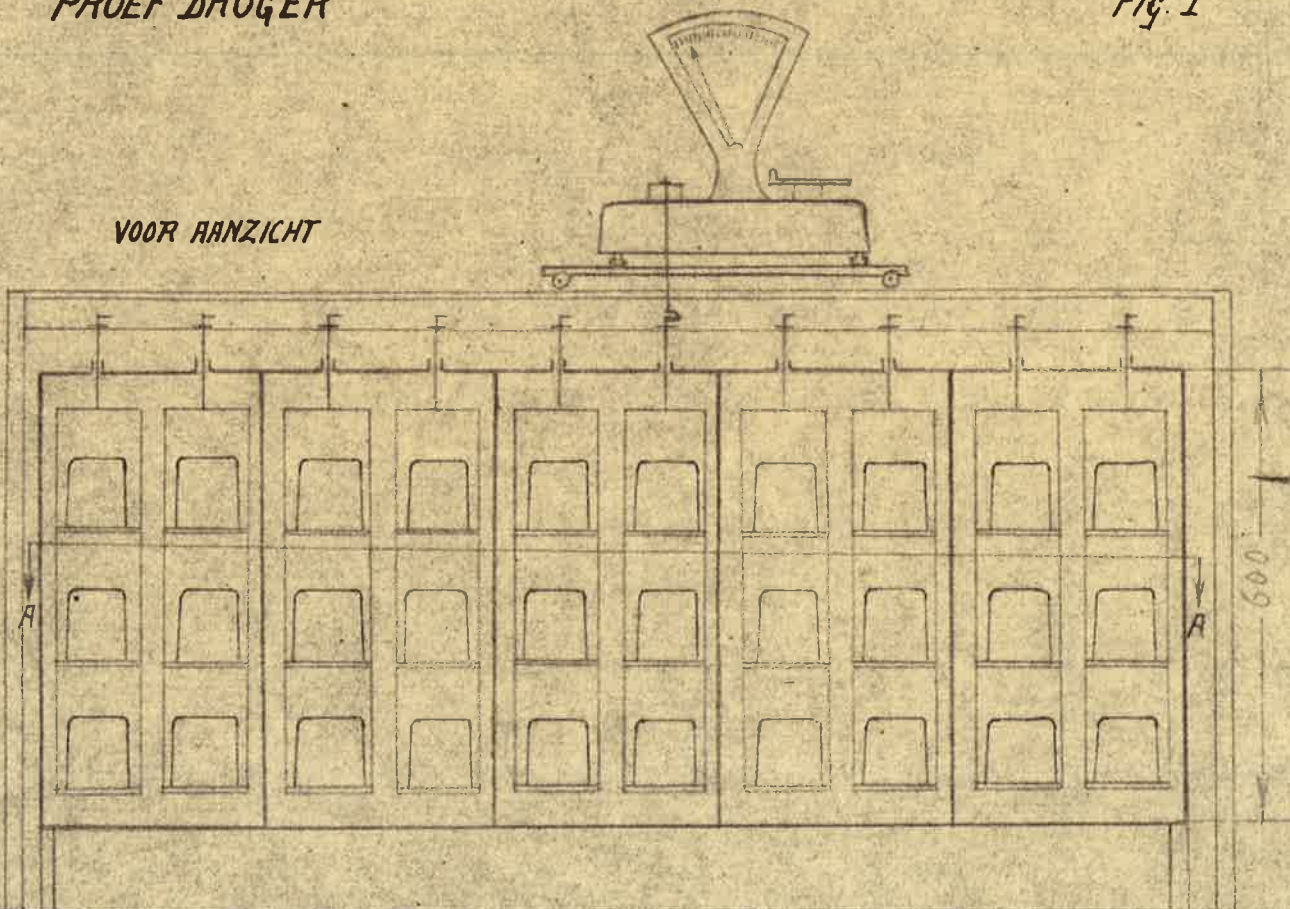
HORIZONTALE DOORSNEDE A.A.



PROEF DROGER

Fig. 1

VOOR AANZICHT



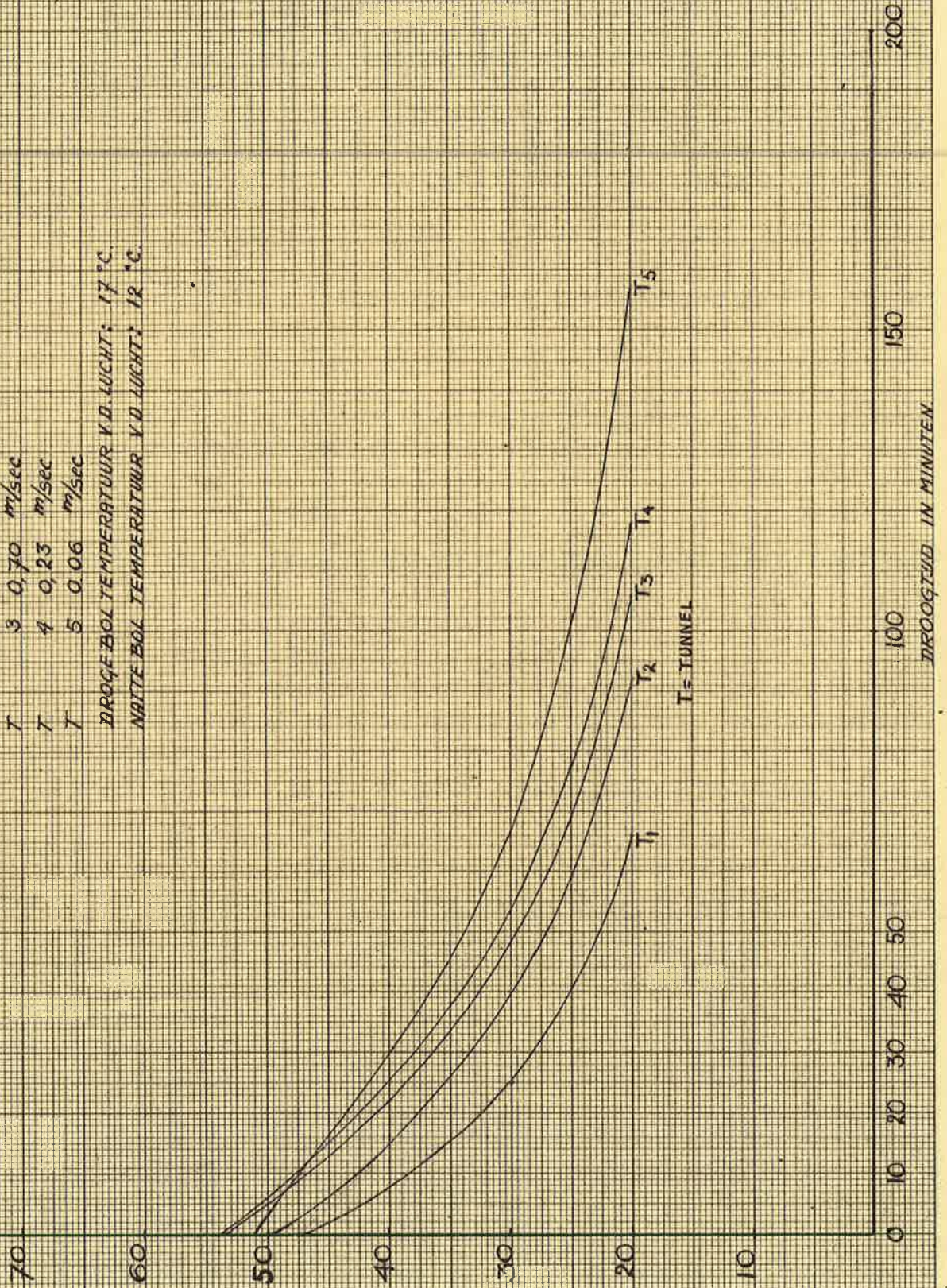
GEMIDDELTE LUCHT-SNELHEID:

TUNNEL	l.	m/sec
T	2	2.2
T	3	1.2
T	4	0.70
T	5	0.23
T	5	0.06

DROGEBOL TEMPERatuur V.D. LUCHT: 17 °C.

NAARTE BOL TEMPERatuur V.D. LUCHT: 12 °C.

KERNTEMPERatuur  
V.D. VORMLING, IN °C.



DROOGTIJD IN MINUTEN

GEWICHTSVERLIES  
IN GRAM PER VORMLING

LICHTSNELHEID T.O.V. VORMLINGEN

- TUNNEL 1: 2.2 m/sec
- T 2: 1.2 m/sec
- T 3: 0.70 m/sec
- T 4: 0.23 m/sec
- T 5: 0.06 m/sec

DROEGEBOLTEMPERatuur 17°C  
NATTIEBOLTEMPERatuur 12°C

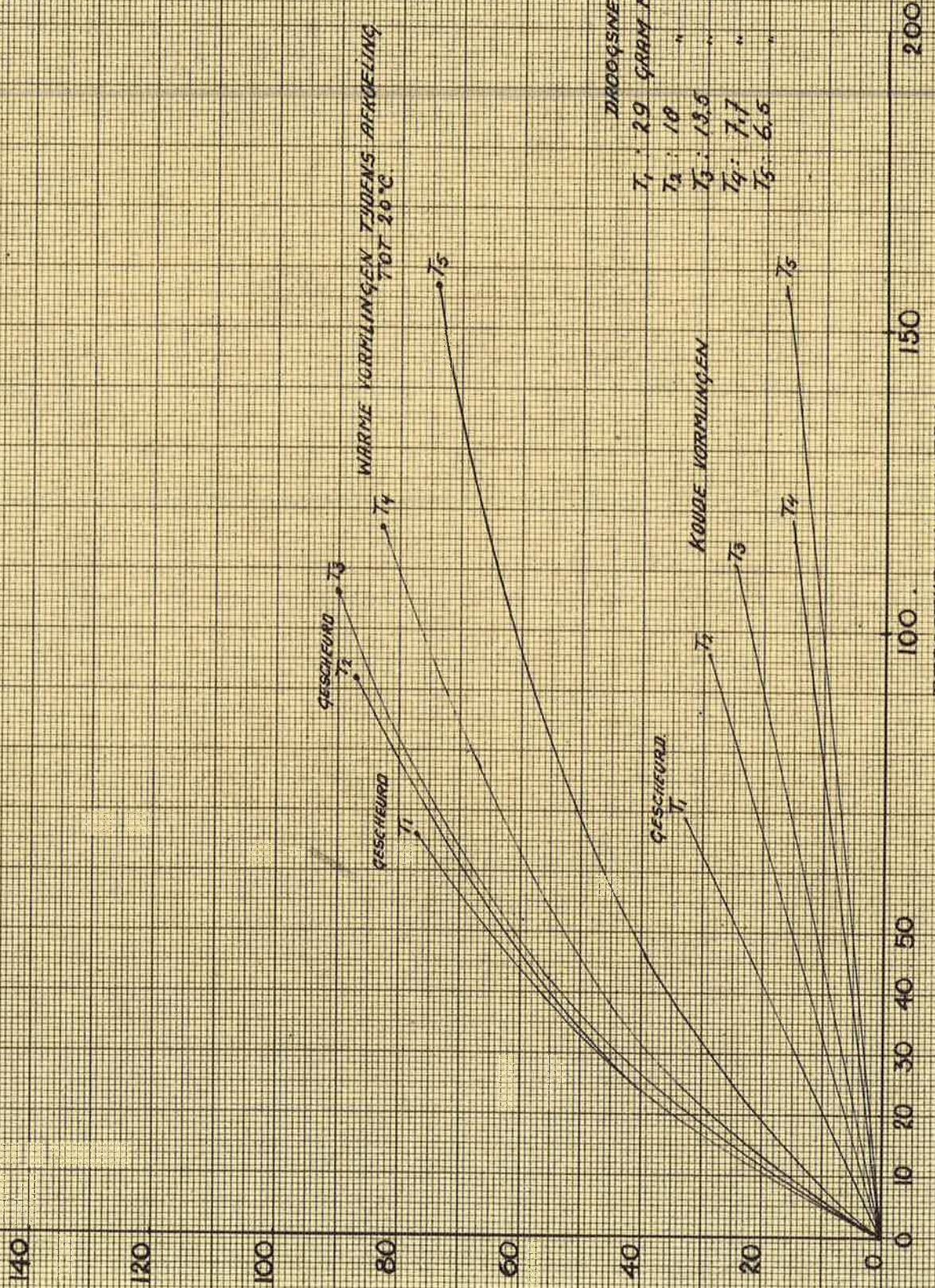
WARMTE VORMLINGEN TIJDENS AFKOELING  
TOT 20°C

DROOGSNELHEDEN KOUDE VORMLINGEN

- T<sub>1</sub>: 2.9 GRAM P. OOR P. VORMLING
- T<sub>2</sub>: 1.0
- T<sub>3</sub>: 12.5
- T<sub>4</sub>: 7.7
- T<sub>5</sub>: 6.5

KOUDE VORMLINGEN

DROOGTIJD IN MINUTEN



DROOGSNELHEID. HOUBE  
VORMINGEN

TUNNEL 1: 14 GRAM P. LUUR P. VORMLING  
" 2: 11 " " "  
" 3: 0,6 " " "  
" 4: 0,3 " " "  
" 5: 3,8 " " "

GEEN SCHEURVORMING.

LUCHTSNELHEID.  
T.O.V. VORMLINGEN.

TUNNEL 1: 2,7 m/sec  
2: 1,5 m/sec  
3: 1,0 m/sec  
4: 0,35 m/sec  
5: 0,17 m/sec

DROEGEBOLTEMPERATUUR 16,7 °C

NATTE BOLTEMPERATUUR 14,7 °C

T1

T2

T3

T4

T5

SCHEURVORMING

SCHEURVORMING

T1

T2

T3

T4

T5

VORMLINGEN UIT  
GESTOOMPDE KLEI (BESIN-TEMP. 56 °C.)

VORMLINGEN UIT  
KOUDE KLEI.

GEWICHTSVERLIES  
IN GRAM PER VORMLING

140

120

100

80

60

40

20

0

0 10 20 30 40 50

100

150

200

250

DROOGTIJD IN MINUTEN

