

Vervormingsmetingen aan U-profielen

Citation for published version (APA):

Kortman, J. C. (1967). *Vervormingsmetingen aan U-profielen*. (DCT rapporten; Vol. 1967.006). Technische Hogeschool Eindhoven.

Document status and date:

Gepubliceerd: 01/01/1967

Document Version:

Uitgevers PDF, ook bekend als Version of Record

Please check the document version of this publication:

- A submitted manuscript is the version of the article upon submission and before peer-review. There can be important differences between the submitted version and the official published version of record. People interested in the research are advised to contact the author for the final version of the publication, or visit the DOI to the publisher's website.
- The final author version and the galley proof are versions of the publication after peer review.
- The final published version features the final layout of the paper including the volume, issue and page numbers.

[Link to publication](#)

General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal.

If the publication is distributed under the terms of Article 25fa of the Dutch Copyright Act, indicated by the "Taverne" license above, please follow below link for the End User Agreement:

www.tue.nl/taverne

Take down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us at:

openaccess@tue.nl

providing details and we will investigate your claim.

Vervormingsmetingen aan U-profielen

Inhoud : 14 blz.

	blz.
I Inleiding	2
II Materiaaleigenschappen	3
III Metingen aan U-profielen, invloed van welvingsverhindering	8
IV Theorie	11
V Conclusies	12

12 grafieken.

Eindhoven 13-1-'67

J. Kortman

J.C. Kortman.

Vervormingsmetingen aan U-profielen

I Inleiding:

Het doel der metingen is het bepalen van de invloed van welvingsverhindering op de hoekverdraaiing van een U-profiel en het bepalen van de invloed op de welvingsverhindering van een bepaalde verbinding van twee U-profielen.

Wegens zijn lage elasticiteitsmodulus is als materiaal polystyreenschuim gekozen.

Uitgangspunt voor bewerkingsmethoden en meetmethode voor het bepalen van de hoekverdraaiing van een proefstuk van polystyreenschuim is geweest het artikel in "Heron", jaargang 10 no. 2: Jr. W. J. Beranek: "Modellen van polystyreenschuim".

Als materiaal is aanvankelijk gekozen: polystyreenschuim, kwaliteit P25 (Tempex, geleverd door Symprodo, Wychen).

Hiervan zijn bepaald:

elasticiteitsmodulus

glijdingsmodulus

kruip

invloed van belastingmethode:

trapsgewijs of intermitterend

afhankelijkheid van G en E van de grootte van de belasting.

Hierna is overgegaan op polystyreenschuim (Symprodo) met verbeterde kwaliteit wat betreft: meer homogene eigenschappen
kleinere en meer constante korrelgrootte
hoger volume-gewicht.

Hiervan zijn bepaald:

elasticiteitsmodulus

glijdingsmodulus

invloed van de temperatuur.

Vervolgens zijn met dit materiaal torsiemetingen aan strippen en U-profielen uitgevoerd.

De metingen ter bepaling van G en E zijn uitgevoerd met een ronde gedraaide proefstaaf. De eerste U-profielen zijn gesneden met een weerstandsdraad, verhit door een elektrische stroom. Omdat uit metingen aan de strippen de indruk is verkregen, dat door het snijden met weerstandsdraad het oppervlak een verhard laagje krijgt en tevens door de lengte der proefstukken de wanddikte niet goed constant kan worden verkregen, is het laatste deel der metingen uitgevoerd met een gefreesd U-profiel.

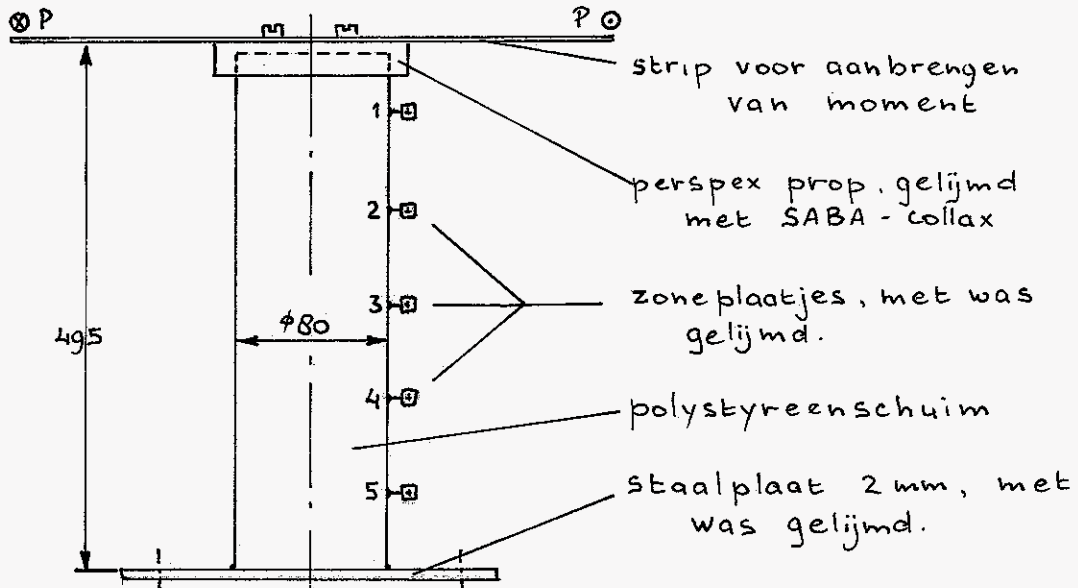
II Materiaaleigenschappen

- 1 Polystyreenschuim kwaliteit P25.
 - a. Wegens de overgang op andere kwaliteit heeft het vermelden van de resultaten van de bepaling van G en E hier geen zin.
 - b. Kruip, gemeten met de spiegelreflectiemethode
Gemeten aan een gedraaid proefstuk $\varnothing 55,5$ mm en een lengte van 400 mm:
bij torsie met een $T_{max} = 0,21$ kgf/cm²
kruip na 5 min. $(2,2 \pm 0,2) \%$
" " 10 " $(2,8 \pm 0,2) \%$
" " 30 " $(4 \pm 0,5) \%$
bij buiging door dwarskracht met $T_{bmax} = 0,90$ kgf/cm²
kruip na 5 min $(3,2 \pm 0,4) \%$
" " 10 " $(4 \pm 1) \%$
" " 30 " $(6 \pm 1) \%$
 - c. Invloed van belastingmethode bij eenzelfde proefstuk als bij II. b:
Het verschil is bepaald tussen trapsgewijs en intermitterende belasting bij torsie:
 T_{max} van $0,03 \rightarrow 0,21$ kgf/cm².
Tijdsduur tussen twee belastingstappen: 3 min.
Gebleken is, dat de hoekverdraaiing bij trapsgewijs belasten in 3 stappen ca. 1,5% hoger is, dan bij intermitterend belasten.
(waarschijnlijk t.g.v. kruip)
De betere praktische uitvoerbaarheid van trapsgewijs belasten i.v.m. het aftekenen van de interferentievlekken bij de spiegel reflectiemethode, heeft geleid tot het besluit de metingen met trapsgewijs toenemende belasting uit te voeren.
 - d. Afhangelijkheid van G en E van de grootte van de belasting, waarbij de belasting trapsgewijs in 6 stappen is aangebracht, gemeten met tijden tussen de belastingstappen van 1 en 3 min. (hierop dus ook beïnvloeding door kruip):
 $T_{max} = 0,02 \rightarrow 0,20$ kgf/cm²: G neemt af met 8%
 $T_{bmax} = 0,1 \rightarrow 1,0$ kgf/cm²: E neemt af met 11,5%
Afname in t begin steiler, dan aan het eind.

Uit deze punten blijkt, dat nauwkeuriger resultaten verwacht kunnen worden bij een proefobject met gelijkmatige spanningsverdeling, terwijl bij de bepaling van de materiaal constanten de tijd en methode van belasten en de grootte van de spanningen dezelfde moeten zijn als bij het proefobject. Zoals uit metingen is gebleken, kunnen de eigenschappen binnen een blok materiaal nog verlopen, zodat deze eigenschappen bepaald moeten worden uit materiaal, dicht naast het proefobject gelegen. Aan al deze eisen kan in het algemeen niet voldaan worden.

2 Polystyreenschuim van verbeterde kwaliteit.

a. Bepaling van de glijdingsmodulus



Aantal belastingstappen : 11
 Tijd tussen belastingstappen : 4 min.
 Moment per belastingstap : 2,74 kgf cm.
 Maximale belasting $\tau_{max} = 0,3 \text{ kgf/cm}^2$.

Alle waarnemingen zijn in duplo uitgevoerd en gemiddeld.

Resultaten : zie grafiek no. 1

Uit de grafiek blijkt lineariteit tussen belasting en hoekverdraaiing.

Hieruit is per zoneplaatje bepaald :

φ_{lin} bij $\tau_{max} = 0,3 \text{ kgf/cm}^2$.

Resultaten : zie grafiek no. 2

Uit de grafiek blijkt :

$\varphi = 0,109 \text{ rad.}$ bij $l = 45 \text{ cm.}$

$$G = \frac{M \cdot l}{\varphi I_p} = \frac{11 \cdot 2,74 \cdot 45^2}{0,109 \cdot 401,9} = 30,99 \text{ kgf/cm}^2$$

$$G = \underline{\underline{31,0 \text{ kgf/cm}^2}}$$

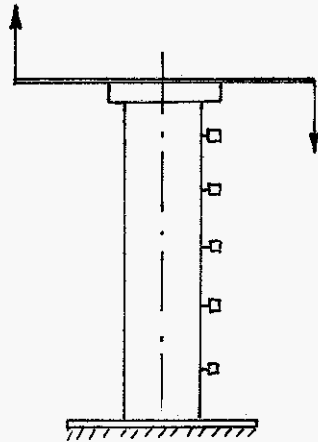
Bij controle van de kruip blijkt :

kruip na 5 min	:	2,0%
" " 10 "	:	2,7%
" " 30 "	:	4%

Dit is overeenkomstig kwaliteit P 25.

Verwacht kan dus worden, dat de kruip voor beide kwaliteiten ongeveer gelijk zal zijn.

b Bepaling van de elasticiteitsmodulus :



't zelfde proefstuk als bij a

Aantal belastingstappen : 9
Tijd tussen belastingstappen : 4 min
Buigend moment per belastingstap : 3,02 kgf cm
Maximale belasting $V_{bmax} = 0,54 \text{ kgf/cm}^2$.

Alle waarnemingen zijn in duplo uitgevoerd en gemiddeld.

Resultaten : zie grafiek no. 3.

Uit de grafiek blijkt lineariteit tussen belasting en hoekverdraaiing

Hieruit is per zoneplaatje bepaald :

$\varphi_{lin.}$ bij $V_{bmax} = 0,54 \text{ kgf/cm}^2$

Resultaten : zie grafiek no. 4.

Uit de grafiek blijkt :

$\varphi = 0,0845 \text{ rad.}$ bij $l = 43,8 \text{ cm.}$

$$E = \frac{Ml}{\varphi I} = \frac{9 \cdot 3,02 \cdot 43,8}{0,0845 \cdot 201,0} = 70,1 \text{ kgf/cm}^2.$$

$$\underline{\underline{E = 70,1 \text{ kgf/cm}^2}}$$

c Dwarscontractie coëfficiënt ν :

$$\frac{E}{G} = 2(1 + \nu) \quad \nu = \frac{E}{2G} - 1.$$

$$E = 70,1 \text{ kgf/cm}^2$$

$$G = 31,0 \text{ kgf/cm}^2$$

$$\nu = \frac{70,1}{62,0} - 1 = 0,131$$

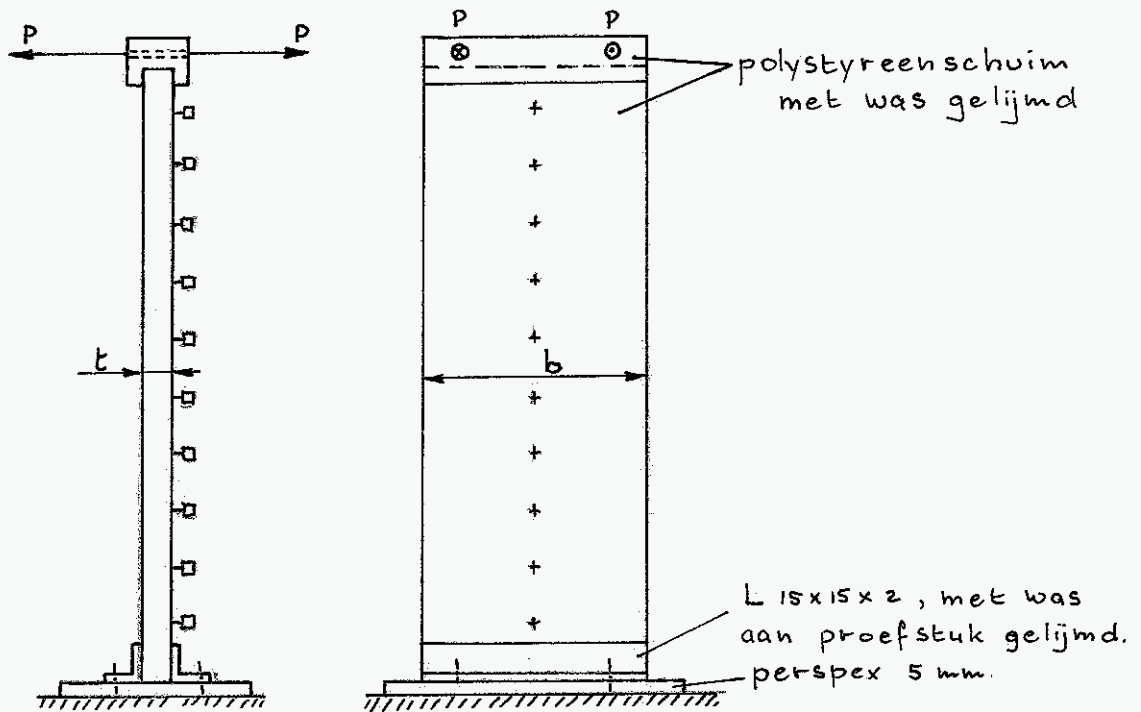
$$\underline{\underline{\nu = 0,13}}$$

d Torsiemetingen aan strippen
Hiervoor geldt:

$$\varphi = \frac{M_w \cdot l}{GJ} \quad J = \frac{1}{3} b t^3 \quad \tau_{\max} = \frac{3M_w}{b t^2}$$

$$\varphi \frac{J}{M_w} = \frac{1}{G} \cdot l \quad \text{zie grafiek no. 5.}$$

Proefopstelling:

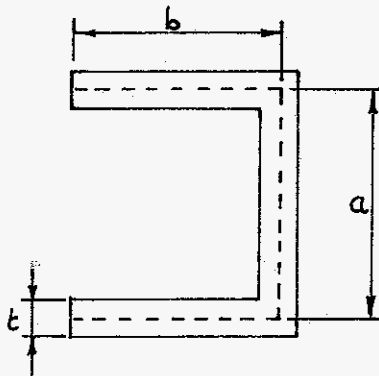
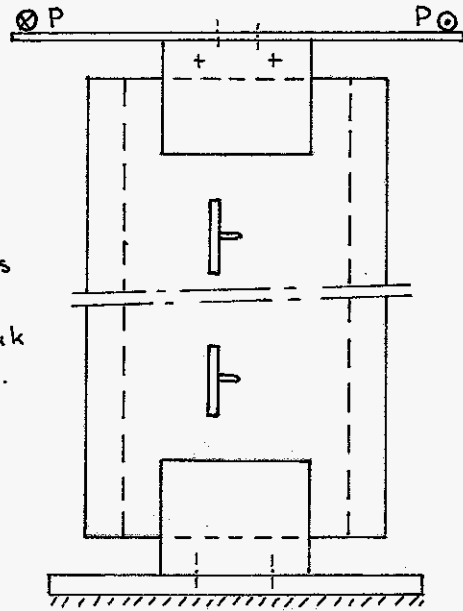
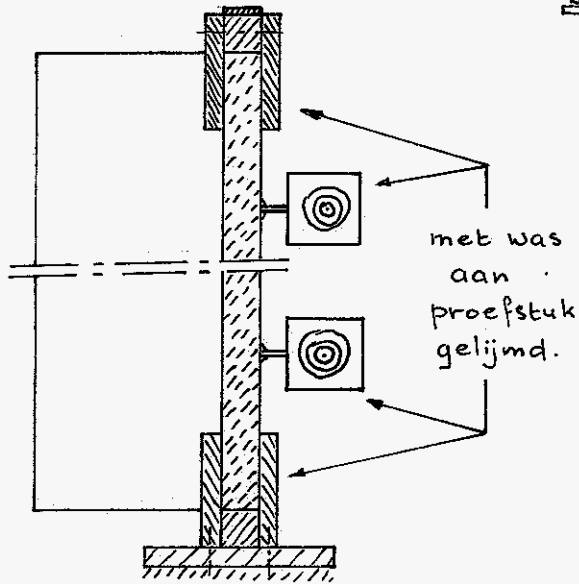


strip no.	1	2	3	4	5
afm. doorsnede b x t mm	169 x 9,5	170 x 20,5	178,5 x 29,5	175 x 28,1	171 x 10
bewerking	weerst. draad	weerst. draad	weerst. draad	frees bank	frees bank
mom. p. bel. stap kgf cm	0,029	0,285	1,2	1,2	0,029
aantal bel. stappen	7	11	8	6	12
G uit grafiek 5 kgf/cm ²	50,0	43,5	43,4	34,2	37,3
τ_{\max} kgf/cm ²	0,039	0,132	0,185	0,156	0,061

Tijd tussen belastingstappen: 4 min.

e Meting GJ van te beproeven U-profielen :

Proefopstelling :



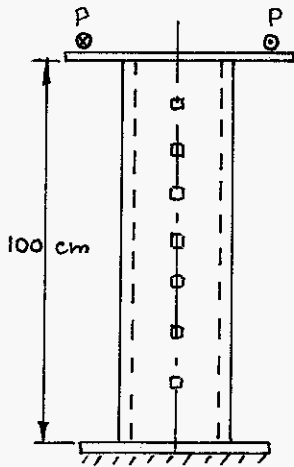
$$\frac{M}{\phi} = \frac{1}{GJ} l$$

Tijd tussen belastingstappen :
4 min.

U-profiel no.	1	2	3
afmetingen a x b x t mm	80 x 160 x 9,5	80 x 160 x 9,5	151 x 201 x 20
bewerking	weerst.draad	weerst.draad	freesbank
moment per bel.stap kgfcm	0,5	0,5	1,3
aantal stappen	2	2	4
GJ uit grafiek 6 kgfcm ²	776	818	5944

III Metingen aan U-profielen, invloed van welvingsverhindering

1 U-profiel no. 1



Welving aan beide einden verhinderd d.m.v. staalplaten 2 mm, welke met was zijn gelijmd.

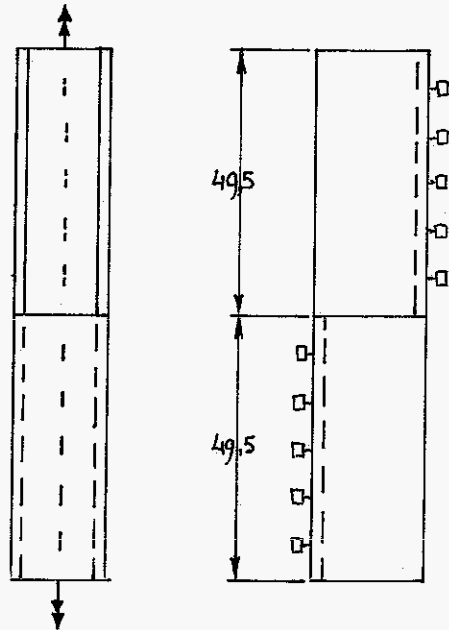
Moment per belastingstap 0,94 kgfcm
Aantal belastingstappen 3
Resultaat: zie grafiek no. 7.

2 U-profiel no. 2

Welving aan beide einden verhinderd (als bij 1), proefstuklengte: 99,1 cm.

Moment per belastingstap 0,94 kgfcm
Aantal belastingstappen 3
Resultaat: zie grafiek no. 7

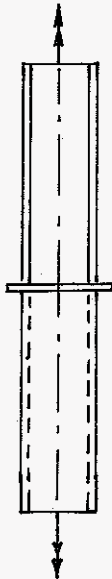
3 U-profiel no. 2



Geen welvingsverhindering aan de einden (zie II e), in 't midden doorgesneden, één helft 180° t.o.v. de andere om lengte-as gedraaid en weer met was op elkaar gelijmd.

Moment per belastingstap 0,5 kgfcm
Aantal stappen 3
Resultaat: zie grafiek no. 8.

4 U-profiel no. 2



Als III 3, nu echter perspex
plaatje van 3 mm in 't midden
met was ertussen gelijmd.

Moment per belastingstap 0,5 kgfcm
Aantal stappen 3
Resultaat: zie grafiek no. 8.

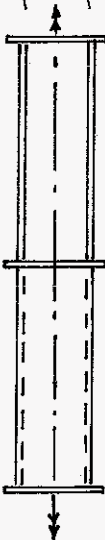
5. U-profiel no. 3

Uitgevoerd als III.3
Proefstuklengte: 153 cm.
Moment per belastingstap 1,3 kgfcm.
Aantal stappen 4
Resultaat: zie grafiek no. 9

6 U-profiel no. 3

Uitgevoerd als III.4, met aluminiumplaat
van 2 mm ertussen gelijmd.
Proefstuklengte: 153 cm
Moment per belastingstap 1,3 kgfcm
Aantal stappen 6
Resultaat: zie grafiek no. 9.

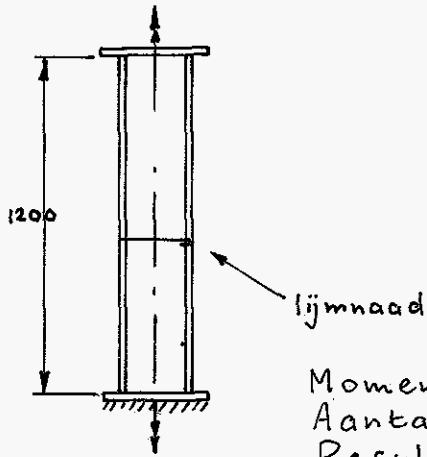
7 U-profiel no. 3



Welgingsverhinderling in het midden
en de beide einden m.b.v. met was
gelijmde Aluminium plaatjes van 2 mm.

Moment per belastingstap 2,6 kgfcm
Aantal stappen 5
Proefstuklengte 153 cm
Resultaat: zie grafiek no. 9

8 U-profiel no. 3



Deel van III 7 verlengd met stuk van ander deel.

Welving verhinderd d.m.v. Aluminiumplaat 2 mm.

Moment per belastingstap : 2,2 kgfcm
Aantal stappen : 7
Resultaat : zie grafiek 10.

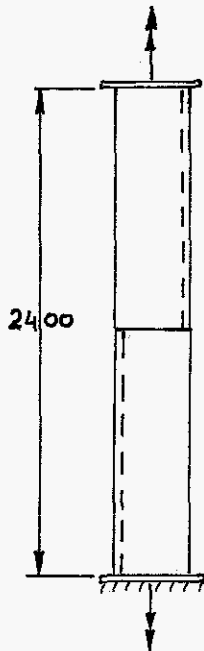
9 U-profiel no. 3

Als III. 8, nu echter welving verhinderd d.m.v. staalplaat 3 mm

Moment per belastingstap : 2,2 kgfcm.
Aantal stappen : 8
Resultaat : zie grafiek 10.

10

U-profiel no. 3.



Deel als III. 8 laten frezen, nieuw deel onder, III. 8 boven. Alleen bovenste deel gemeten. Welving verhinderd d.m.v. staalplaat 3 mm.

Moment per belastingstap : 1,1 kgfcm
Aantal stappen : 5
Resultaat : zie grafiek no. 11.

11 U-profiel no. 3

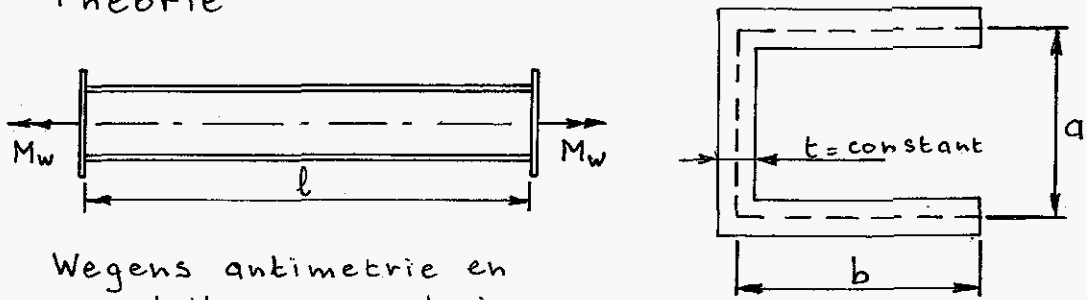
Als III. 10, nu echter ook welgingsverhinderd in het midden d.m.v. staalplaat 3 mm.

Moment per belastingstap : 1,1 kgfcm.
Aantal stappen : 7
Resultaat : zie grafiek no. 11.

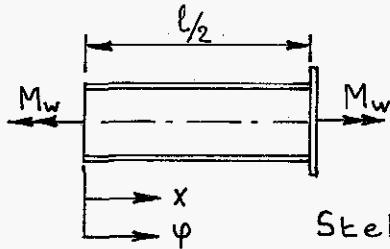
12

Voorgenoemde resultaten, zijn de gemiddelden over de stappen van 2 metingen, met belastingstijden per stap van 3 min. Om een indruk te krijgen van mogelijke afwijkingen, ontstaan door het gemiddelde van de stappen te nemen, is in grafiek no 12 voor een aantal van onder III genoemde belastinggevallen, de hoekverdraaiing voor de opvolgende stappen uitgezet.

IV Theorie



Wegens antisymetrie en aansluitvoorwaarde in een doorsnede in het midden, is er geen welvingsverhindering in het midden, dus geldt :



randvoorwaarden :

$$\begin{aligned} x=0 & \quad w'=0 \\ x=\frac{l}{2} & \quad w=0 \\ x=0 & \quad \varphi=0 \end{aligned}$$

Stel $w = A \sinh \frac{kx}{l} + B \cosh \frac{kx}{l}$

oplossing: $\varphi = \frac{M_w}{GJ} \left(x - \frac{l}{k} \frac{\sinh \frac{kx}{l}}{\cosh \frac{k}{2}} \right)$ (1)

waarin $\frac{k}{l} = \sqrt{\frac{GJ}{E\Gamma}} = \frac{t\beta}{0,8a^2} \sqrt{\frac{(2+\beta)(6+\beta)}{3+2\beta}} \sqrt{\frac{1,28}{1+\nu}}$ (2)

$\beta = \frac{a}{b}$ $J =$ traagheidsmoment tegen wringing
 $\Gamma =$ sectorieel traagheidsmoment

Hieruit zijn theoretisch de gemeten gevallen met welvingsverhindering te bepalen

Opmerkingen :

Uit grafiek 5 blijkt, dat de met een ronde gedraaide proefstaaf bepaalde glijdingsmodulus het best benaderd wordt bij gefreesde profielen. Het verschil is dan echter nog in dit geval ca. 16%.

Wegens deze grote afwijkingen is voor ieder U-profiel GJ experimenteel bepaald, door het zonder welvingsverhindering te torderen.

De eerste term van (1) ligt dus voor ieder proefstuk vast. In de tweede term zit nog de factor $\frac{k}{l} = \sqrt{\frac{GJ}{E\Gamma}}$. Als we de fouten in de geometrie verwaarlozen, is nog een afwijking in E mogelijk (en waarschijnlijk). Als we (2) in de tweede vorm schrijven, dan is, afgezien van geometrische fouten, een afwijking in ν mogelijk.

Het lijkt redelijk te veronderstellen, dat E een grotere afwijking zal hebben, dan $(1+\nu)$. Daarom is $\frac{k}{l}$ met het rechter deel van (2) berekend.

V Conclusies

1. Aangezien blijkbaar vrij grote afwijkingen in materiaal eigenschappen mogelijk zijn, is het zinloos grote waarde te hechten, aan de vergelijking van de waarden van theorie en experiment binnen 10% (zie grafiek 5, 12, V 8)
2. De oorzaak van de onder IV genoemde grotere afwijkingen bij een met weerstandsdraad gesneden proefstuk is vermoedelijk, het door het smelten ontstaan van een hard laagje aan het oppervlak. Dit heeft een relatief grotere invloed bij dunwandige profielen. We zien dan ook de afwijkingen kleiner worden, bij toenemende wanddikte. Welke afwijkingen hierbij optreden bij ET is niet bekend.
3. Afwijkingen t.g.v. wanddikteverschillen spelen bij dunwandige profielen een grote rol. Bij het gefreesde proefstuk is de wanddikte beter constant, dan bij die, gesneden met een weerstandsdraad. Ook is het nuttig, te streven naar zodanige afmetingen dat de wanddikte groot kan zijn. (zie V. 8)

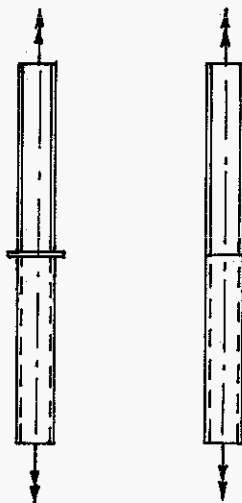
4



Zie grafiek 7 en 10.

Hierbij komen vorm van theorie en experiment goed overeen. De stijfheid uit het experiment is gemiddeld ca. 20% lager. Voor het U-profiel van grafiek 10, was Aluminiumplaat van 2mm blijkbaar niet voldoende stijf, om de welving te verhinderen. Staalplaat 3mm bracht bij vorm en stijfheid verbetering.

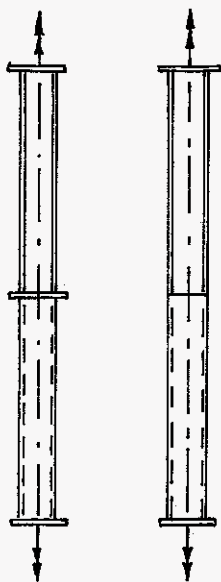
5



Uit grafiek 8 blijkt, dat voor profiel no. 2 in beide gevallen de stijfheid ligt tussen die van welvingsverhindering en die van geen welvingsverhindering in het midden. In het eerste geval is de stijfheid iets groter, dan in het tweede geval.

Van de vorm van welvingsverhindering is in het eerste geval weinig, in het tweede geval niets meer over.

6



In grafiek 9 staan theorie en experiment voor het eerste geval voor profiel 3. Er is geen overeenkomst, waarschijnlijk omdat Aluminium 2 mm hier niet voldoende was, om de welving te verhinderen. Dit wordt ook gesuggereerd door het begin, waar de vorm er wel iets in zit, maar waar het plaatje dan ook aan de tafel geschroefd en weinig vervormbaar is.

In grafiek 11 staan beide gevallen voor U-profiel no. 3. Omdat alleen de bovenste helft gemeten is, is van de middendoorsnede uitgegaan en 0 gekozen

We zien, dat het eerste geval dicht bij welvingsverhindering in het midden ligt, het tweede geval dicht bij welvingsvrij in het midden. Dit zowel voor de vorm als voor de stijfheid

7. Om tot nauwkeuriger resultaten of conclusies te kunnen komen, zou meer bekend moeten zijn over het gedrag van de materiaaleigenschappen of zouden voor een bepaald experiment, bepaalde eigenschappen door metingen aan hetzelfde proefstuk bepaald moeten worden. (zoals G en E of ν)

8. Om een indruk te krijgen van mogelijke afwijkingen in θ t.g.v. afwijkingen in materiaaleigenschappen en wanddikte, bekijken we uit IV (1) de factor:

$$\frac{k}{l} = \frac{t\beta}{a^2} \sqrt{\frac{(2+\beta)(6+\beta)}{3+2\beta}} \sqrt{\frac{2}{1+\nu}}$$

We nemen U no. 3 ($t = 20 \pm 0,5$ mm, $\frac{k}{l} = 0,018$, $l = 120$ cm) en schatten de maximaal mogelijke afwijking voor ν 25%.

$$\nu = 0,13$$

$$\Delta\nu = 0,043$$

$$t = 20$$
 mm

$$\Delta t = 0,5$$
 mm

Dan is

$$\left(\frac{\Delta \frac{k}{l}}{\frac{k}{l}} \right)_{t=\text{constant}} = \frac{1}{2} \frac{\Delta\nu}{1+\nu} = 0,018 \rightarrow 1,8\%$$

$$\left(\frac{\Delta \frac{k}{l}}{\frac{k}{l}} \right)_{\nu=\text{constant}} = \frac{\Delta t}{t} = 0,025 \rightarrow 2,5\%$$

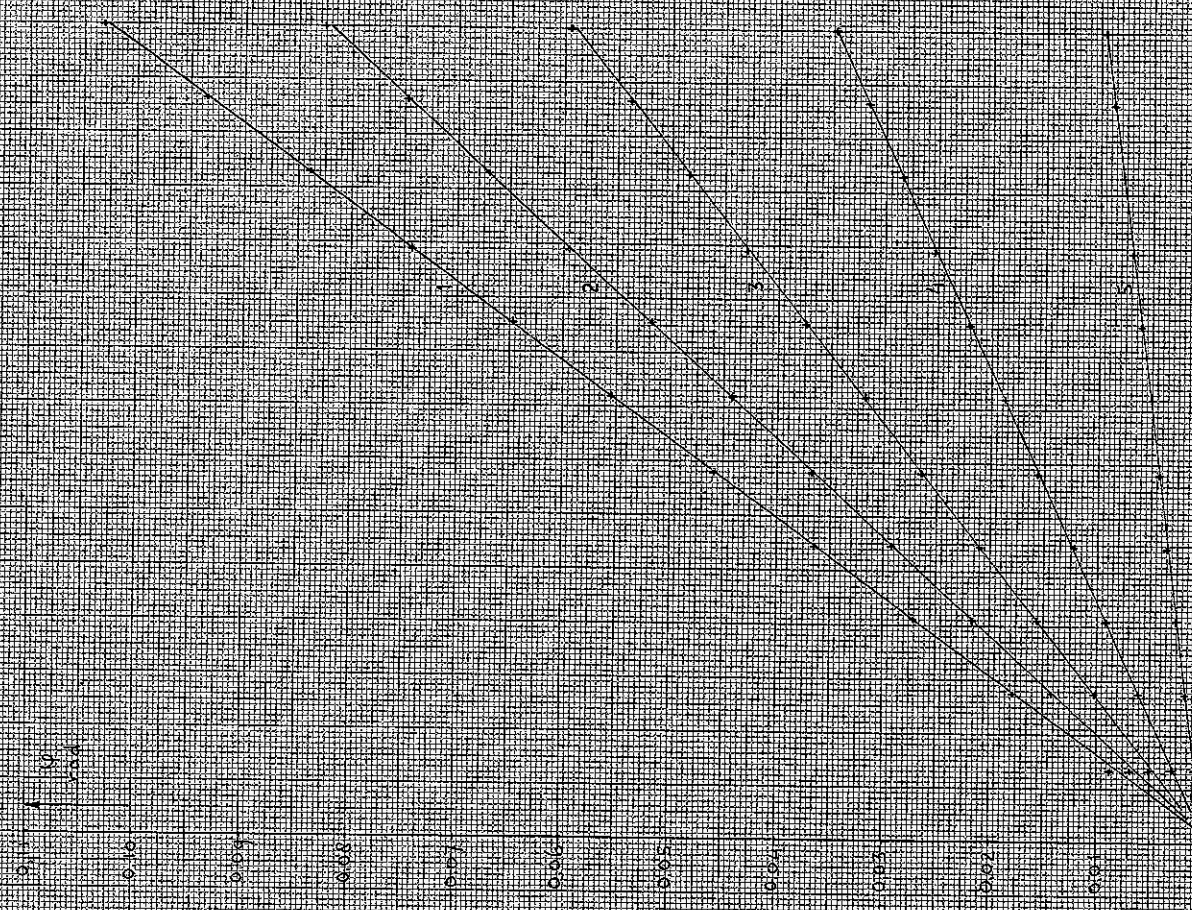
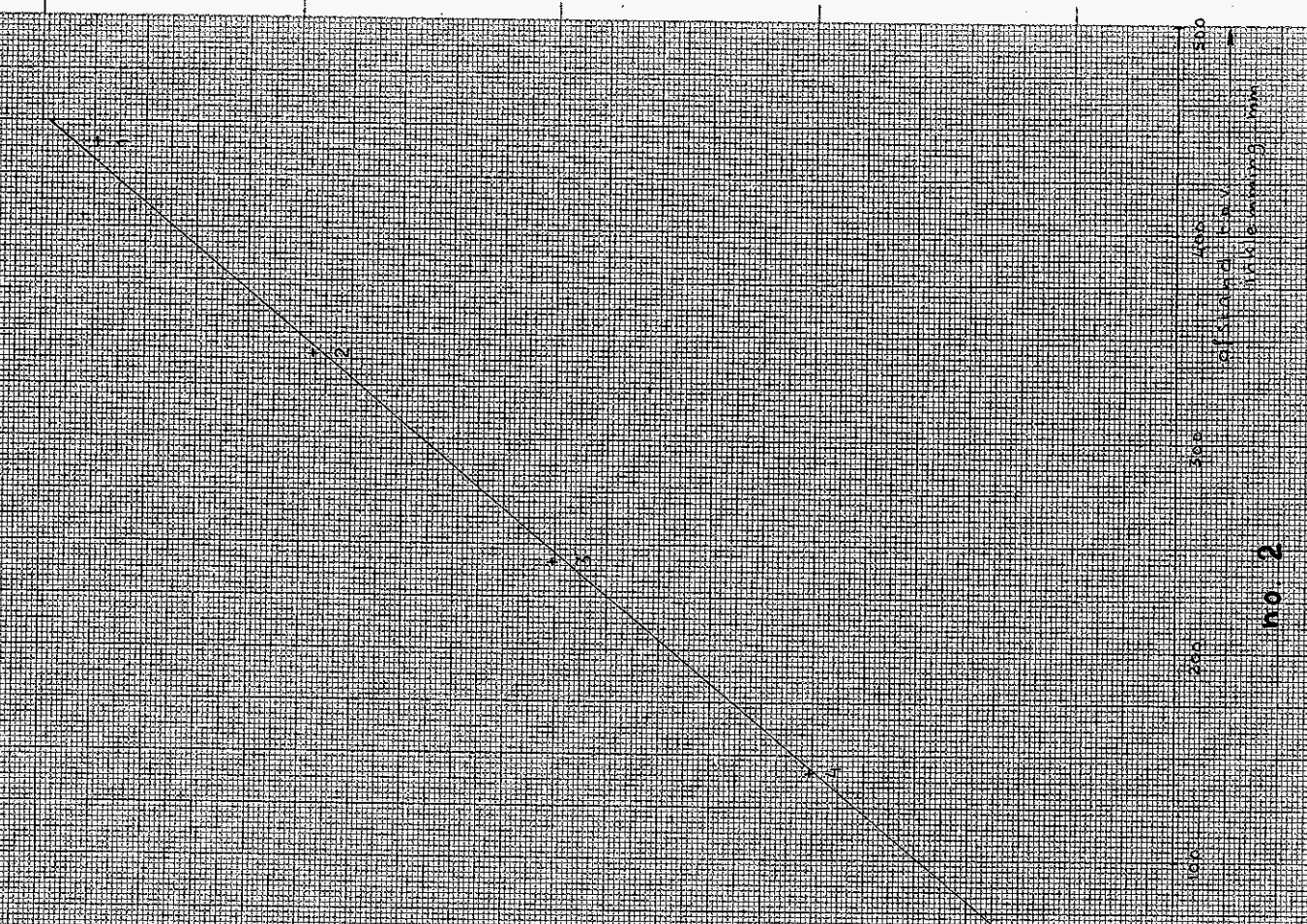
$$\left(\frac{\Delta \frac{k}{l}}{\frac{k}{l}} \right)_{\text{max}} = 4,3\%$$

$$\frac{k}{l} = 0,018 \pm 4,3\% = 0,018 \pm 0,0008.$$

In grafiek no. 10 is dit spreidingsgebied door de stippelijnen d en e begrensd. We zien, dat de experimenten er nog buiten vallen.

0.18
0.16
0.14
0.12
0.10
0.08
0.06
0.04
0.02
0

0.18
0.16
0.14
0.12
0.10
0.08
0.06
0.04
0.02
0



500
400
300
200
100
0
0
50
100
150
200
250
300
350
400
450
500

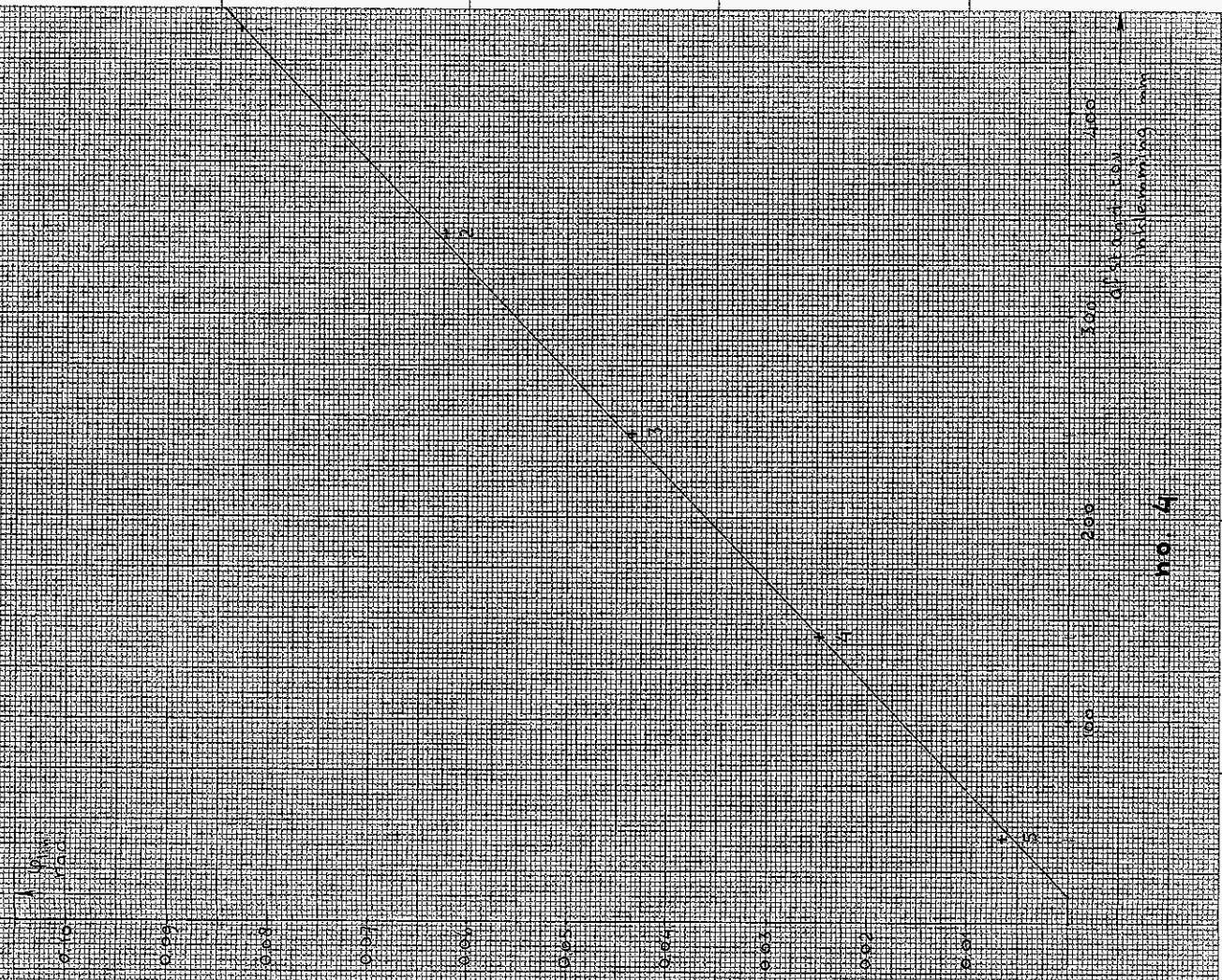
distance (mm)

no. 2

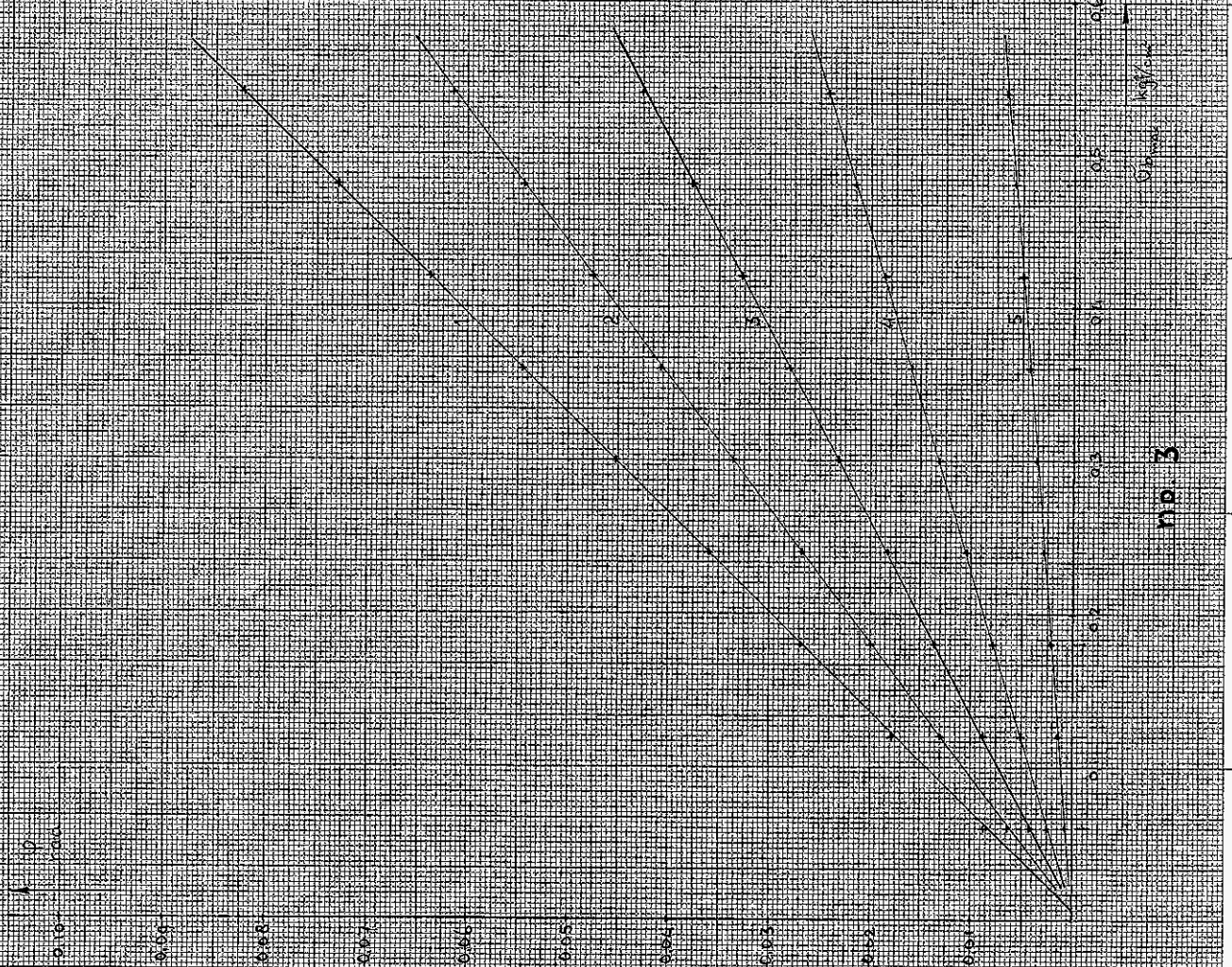
no. 1

$f = \frac{1}{2} \frac{dV}{V dt}$

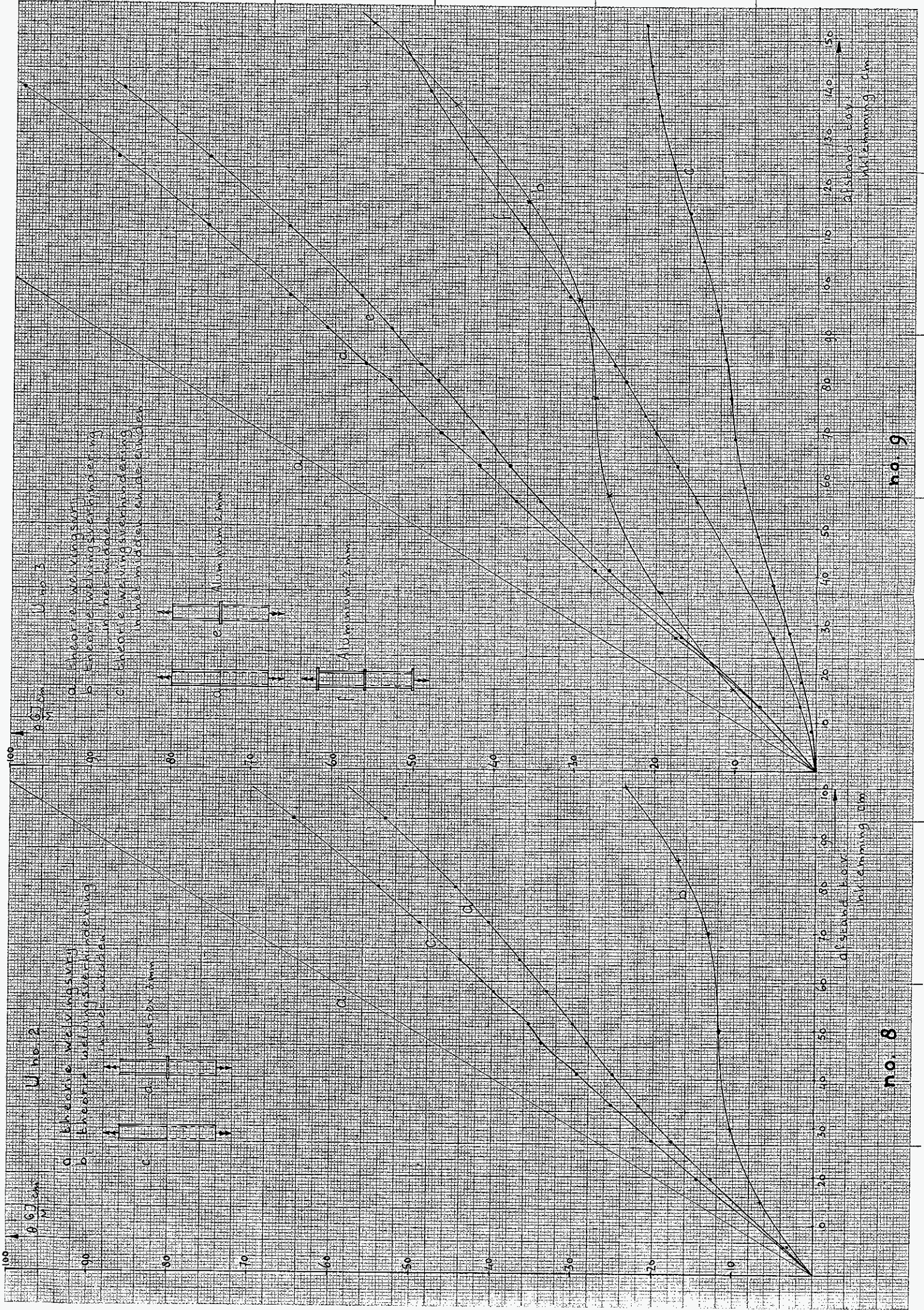
$f = \frac{1}{2} \frac{dV}{V dt}$



no. 4
at constant $\frac{dV}{dt}$
increasing V



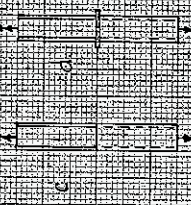
no. 3
at constant $\frac{dV}{dt}$
increasing V



0.67 cm

U no 2

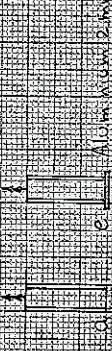
- a) Theoretie wêlvingsswa
- b) Experimente wêlvingsswa
- c) Theoretie wêlvingsswa met middel einderinden



0.67 cm

U no 3

- a) Theoretie wêlvingsswa
- b) Experimente wêlvingsswa
- c) Theoretie wêlvingsswa met middel einderinden



no. 8

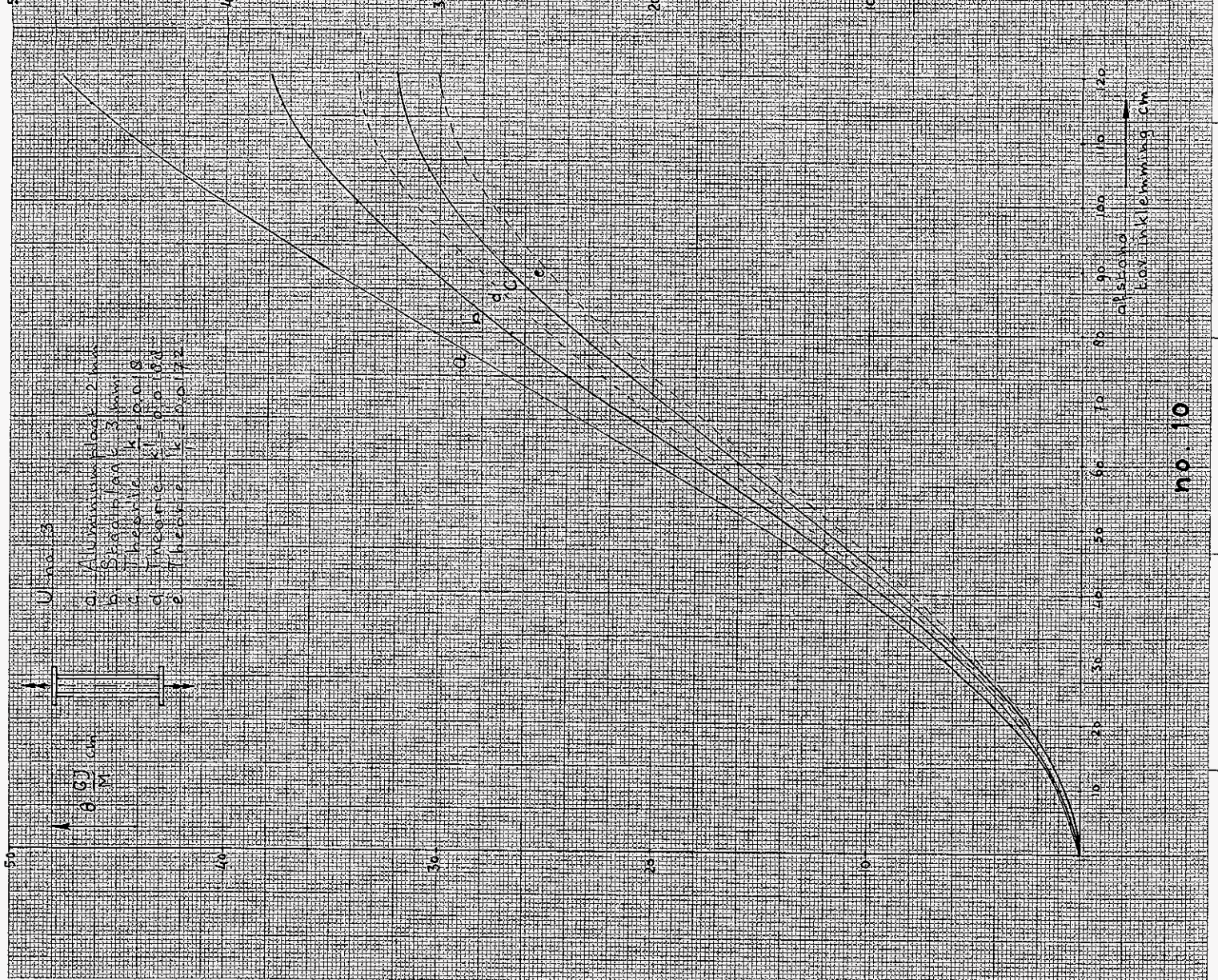
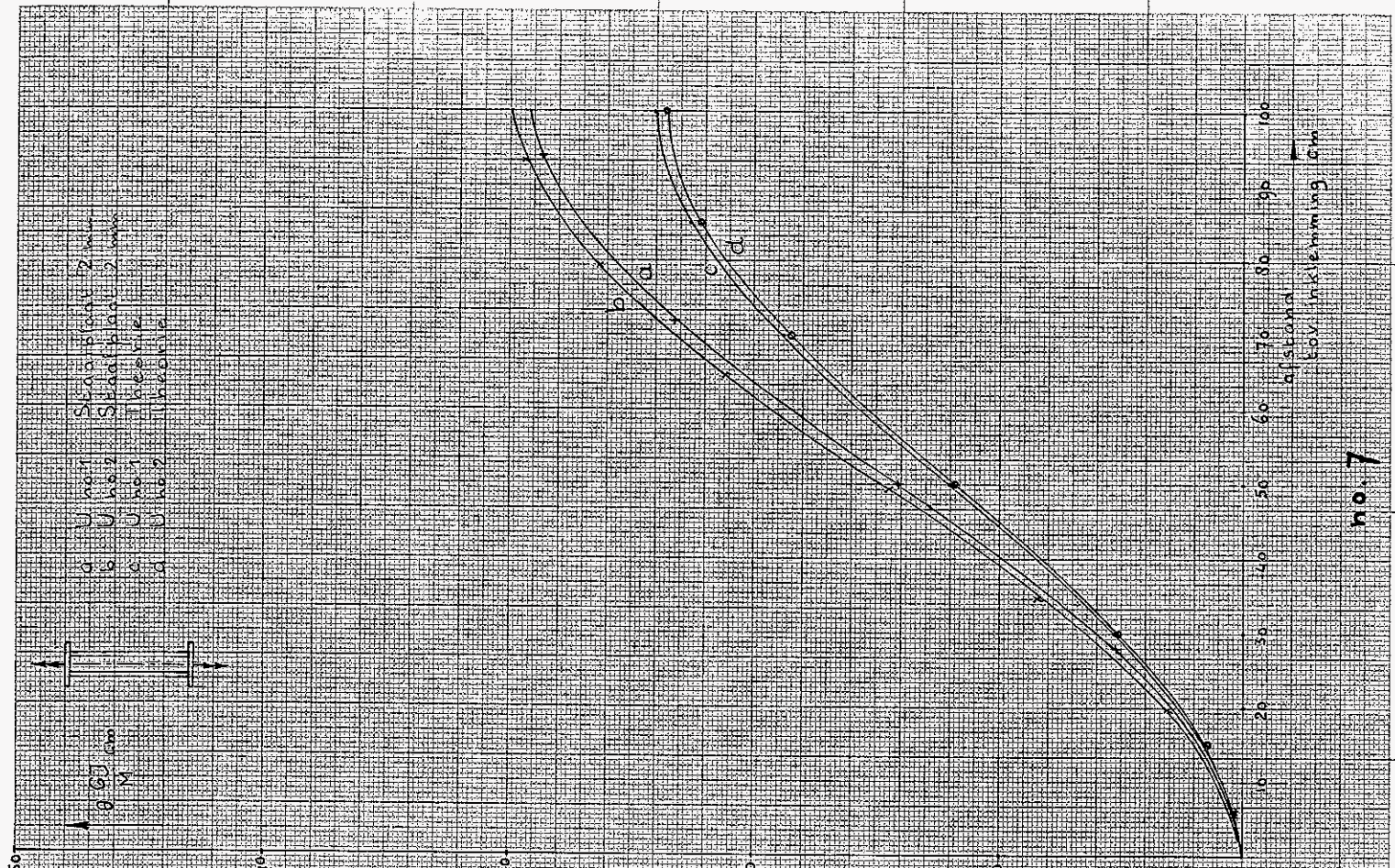
no. 9

afstand Loo

afstand day

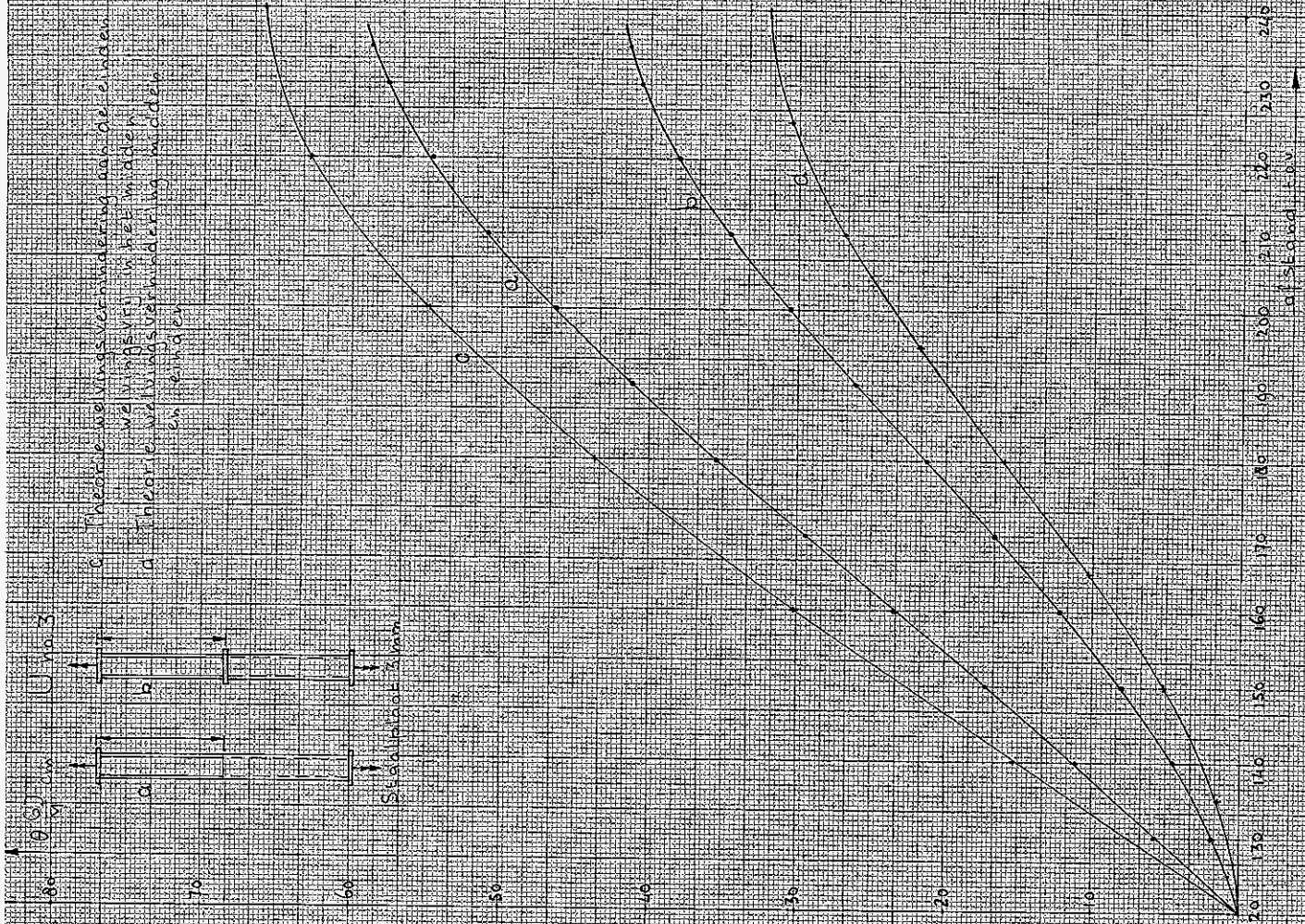
afstand Loo

afstand day

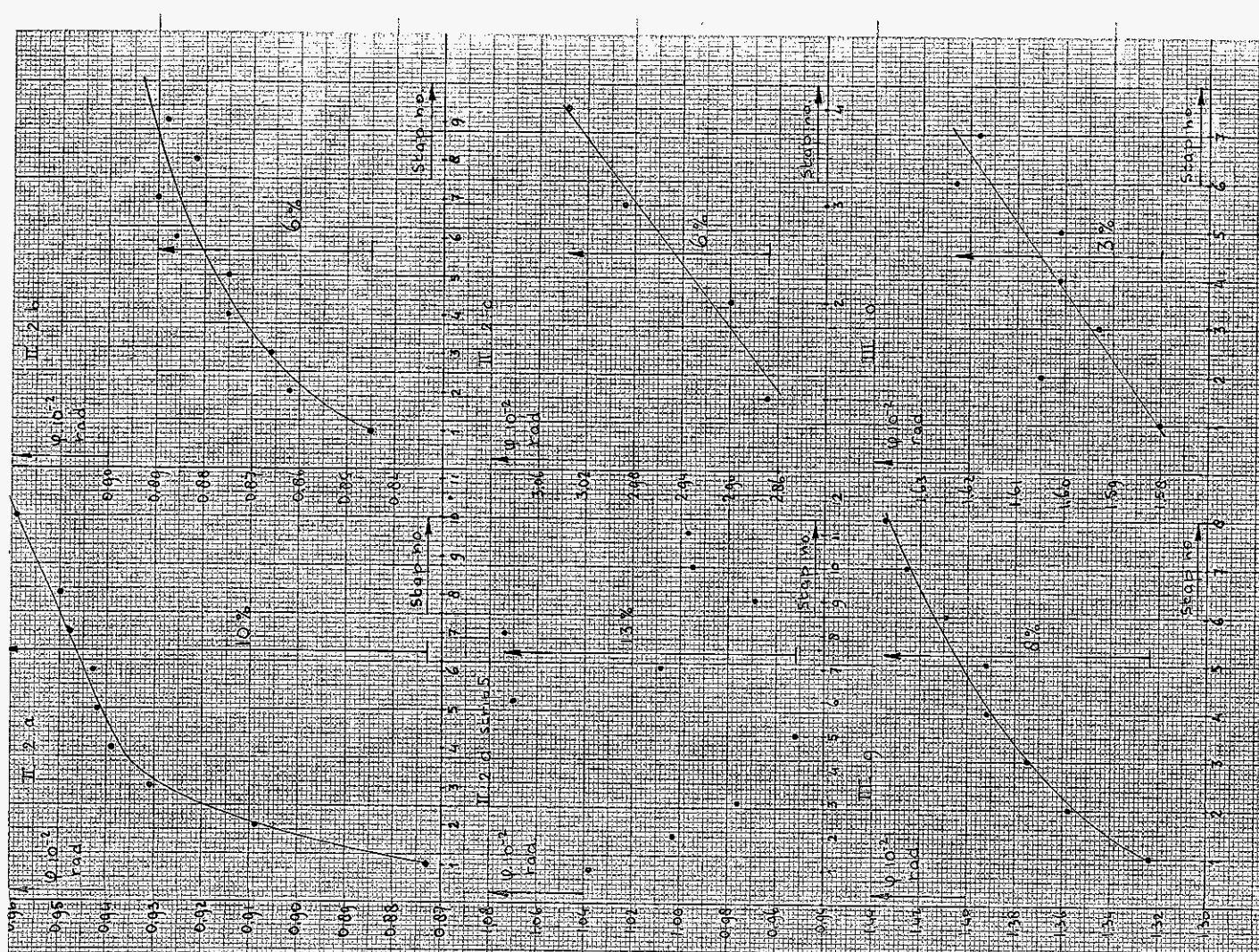




a) heeme weingsvermindering op de zijde
 weerszijde in het midden
 d) heere weingsvermindering op de
 zijkanten



no. 11



no. 12