

K 099

res.

DDWT-ISEN-1958.01

DE RESULTATEN VAN PROEVEN TER BEPALING  
VAN HET VERLOOP VAN DE ONDERDRUK BIJ  
EEN BRON ONDER EEN AFDICHTING VAN EEN  
RIVIERBODEM.

RIJKSWATERSTAAT  
DELTADIENST

Rapport  
nr. 1

Waterloopkundige Afdeling

februari  
1958

Rapport nr. 1, februari 1958.

Titel : De resultaten van proeven ter bepaling van het verloop van de onderdruk bij een bron onder een afdichting van een rivierbodem.

Korte inhoud : Door middel van een electrisch analogon is het verloop van de onderdruk langs de onderkant van een plastic folie bepaald voor verschillende plaatsen en afmetingen van de bronbuis in de zandbodem onder de folie.

Conclusies : geen.

Redactie : Ir H. van der Tuin  
H.J. Stroband

Algemeen gebruik  
~~doel~~

Opmerkingen : Dit rapport dient ter vastlegging van de resultaten der proeven uitgevoerd in het Electricch Laboratorium van de Rijkswaterstaat onder leiding van A.P. Wissenburg.  
Zie bijlagen 1 t/m 12.

De resultaten van de proeven ter bepaling van het verloop van de onderdruk bij een bron onder een afdichting van een rivierbodem.

Par.1.

Bij de toekomstige afsluitingen zullen grote oppervlakten van de rivierbodem tegen uitschuring beschermd moeten worden. Voor het maken van deze bodembescherming bestaan vele mogelijkheden. De oudste en meest toegepaste methode is het aan de grond brengen van een rijshouten zinkstuk, afgestort met een bepaald gewicht aan stortsteen per m<sup>2</sup>.

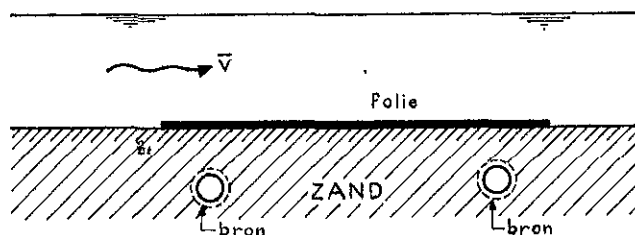
De laatste tijd wordt ook aan andere toepassingen gedacht zoals o.a.:

het aanbrengen van een laag mijnsteen, al of niet gecombineerd met asfalt,

het bedekken van de bodem met een nylon-folie (waterdoorlatend), bestort met mijn- of stortsteen,

het aanbrengen van een plastic-folie (water-ondoorlatend), dat op de bodem wordt vastgezogen door een kunstmatig aan te brengen onderdruk in de zandbodem.

Voor het verkrijgen van deze onderdruk wordt hier gedacht aan horizontaal gelegen bronbuizen in de zandbodem, waarin door middel van een pomp een onderdruk wordt gezogen.



Daar deze methode zeer aantrekkelijk lijkt door de lage kosten, werd in het Waterloopkundig Laboratorium "de Voorst" een onderzoek ingesteld naar de praktische mogelijkheden voor een toepassing in de natuur.

Een van de eerste vragen die gesteld werden, was hoe is het verloop van de onderdruk langs de onderkant van de folie bij een bepaalde onderdruk in de bronbuis en bepaalde waterhoogte boven de folie.

Door Ir de Josselin de Jong van het Laboratorium voor Grondmechanica werd deze vraag op mathematische wijze opgelost en werden grafieken verstrekt om voor verschillende gevallen het verloop van deze onderdruk te kunnen bepalen.

Aan de Waterloopkundige Afdeling werd verzocht deze berekeningen te controleren.

Deze controle werd op voorstel van H.J. Stroband met behulp van een electricch analogon uitgevoerd.

In het navolgende wordt de gevolgde methode beschreven en de gevonden resultaten vermeld.

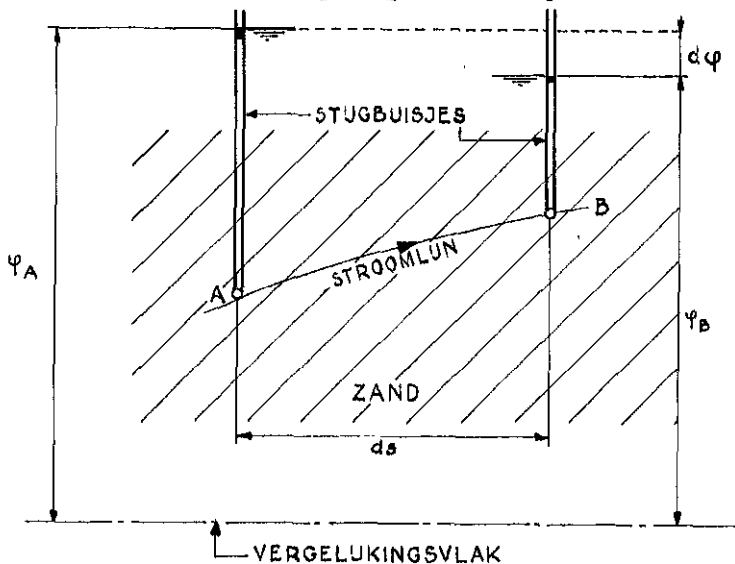
Het onderzoek werd uitgevoerd in het Electricch Laboratorium van de Rijkswaterstaat onder leiding van de technisch ambtenaar A.P. Wissenburg.

Par.2. Het aantonen van de bestaande analogie tussen de wet van Darcy en de wet van Ohm.

Tussen een grondwaterstroom door een zandlichaam en een electricch stroom door een geleidend medium bestaat een analogie.

Voor de grondwaterstroom geldt de wet van Darcy en voor de electricch stroom de wet van Ohm.

Uit de volgende schematische figuren kan men de bestaande analogie gemakkelijk inzien.

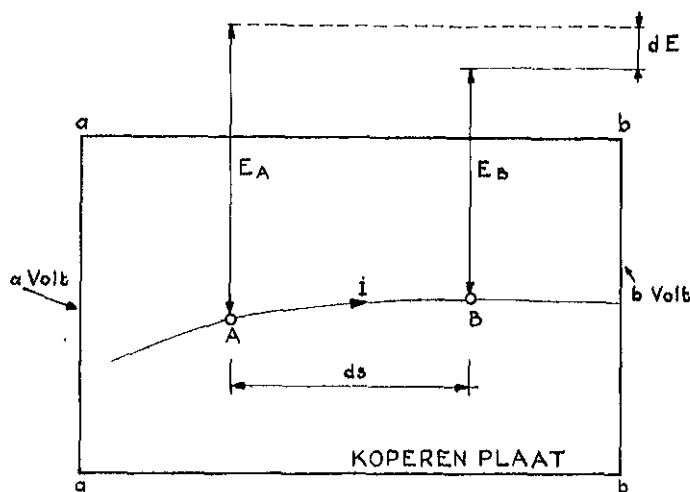


wet van Darcy:  

$$v = -k \frac{d\phi}{ds} \quad (1)$$

waarin  
 v = filteranelheid van het grondwater  
 k = doorlatendheidscoëff. v. zand  
 phi = grondwater potentiaal

fig. 2



langs rand a-a heerst een spanning van a volt en langs b-b een spanning b volt. Door de koperen plaat zal dus een electricch stroom lopen, wanneer  $a \neq b$

fig. 3

In punt A wordt een spanning  $E_A$  gemeten en in punt B  $E_B$ , deze waarden worden grafisch boven deze punten uitgezet. De elektrische stroom die van A naar B loopt is volgens de wet van Ohm:

$$i = \frac{E}{R}$$

weerstand  $R = c \cdot \frac{l}{d}$  waarin  $c =$  materiaalconstante  
 $l =$  afstand tussen A en B  
 $d =$  dikte plaat

dus 
$$i = \frac{d}{c} \cdot \frac{dE}{ds}$$

of 
$$i = C \cdot \frac{dE}{ds} \text{-----(2)}$$

Uit (1) en (2) blijkt de analogie als men voor  $\frac{dE}{ds}$   
(= spanningsval over een bepaalde afstand in volts)  
leest  $\frac{d\varphi}{ds}$  (= verschil in stijghoogten over een bepaalde  
afstand in meter waterkolom),

en voor  $i$  (= stroomsterkte in ampère langs een stroomlijn)  
leest  $v$  (= filtersnelheid langs een stroomlijn in m/sec).

Par.3. Beschrijving van de gevolgde methode.

Het elektrisch schema voor het onderstaande geval  
(fig.4) ziet er als volgt uit (fig.5).

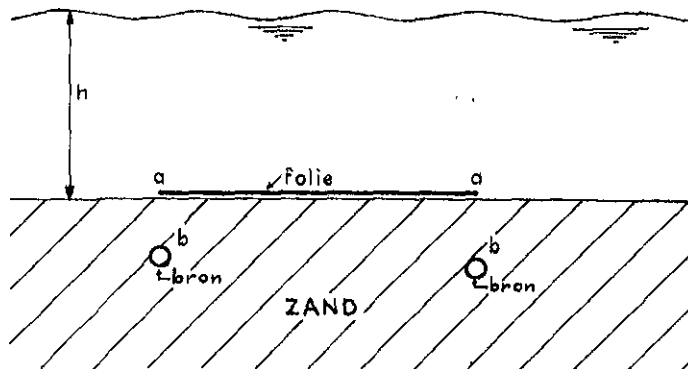


fig.4

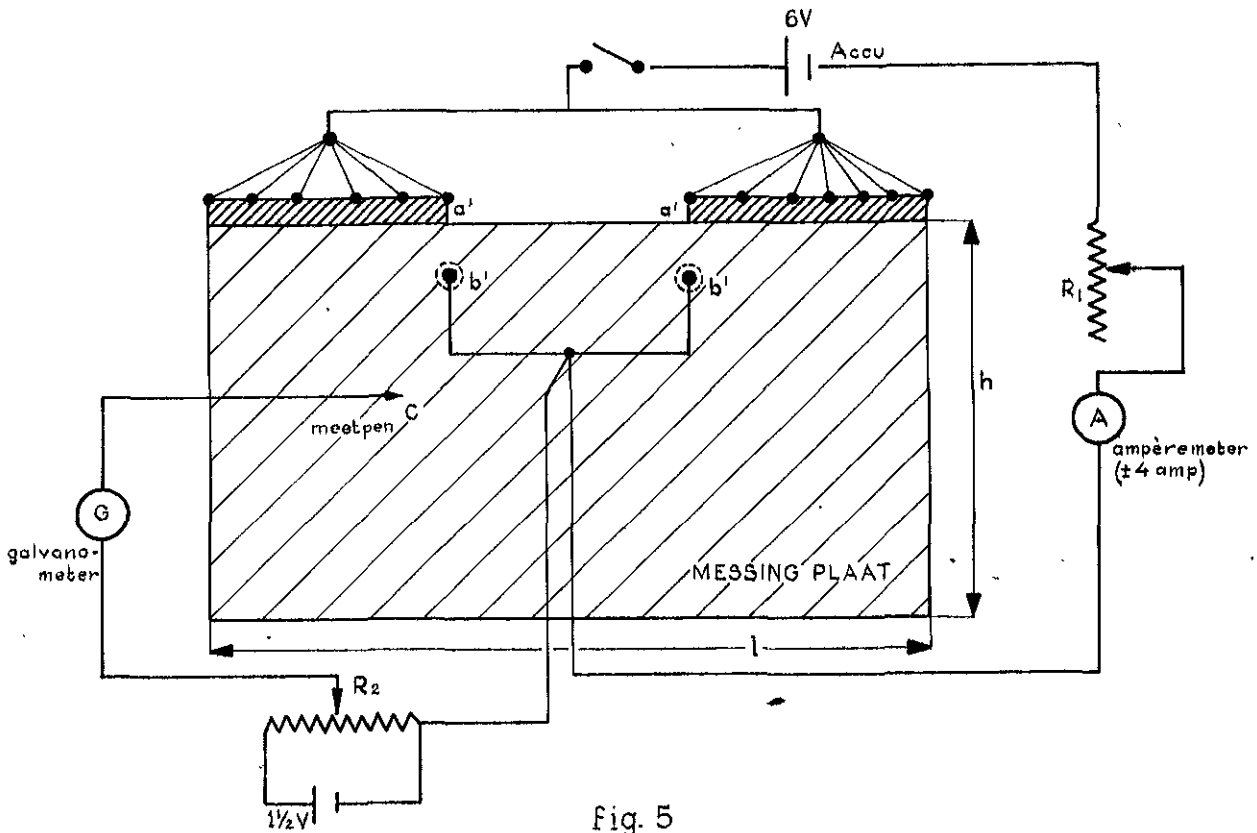


fig. 5

De dikte van de zandlaag wordt voorgesteld door de hoogte van de messingplaat  $h$ . Deze plaat is aan de bovenzijde door 2 dikke koperen strips ingeklemd. Deze inklemming is verbonden met de positieve pool van de accu.

De opening tussen de inklemming stelt de plastic folie voor. De lengte van deze opening is klein gekozen t.o.v. de lengte van de messingplaat ter vermindering van storende invloeden van de randen door de beperkte lengte van de plaat.

De 2 messingstiften  $b$ , zijn verbonden met de andere pool van de accu en stellen de 2 bronbuizen voor. Ook hier is de afstand van de stift tot de bovenkant plaat klein gehouden t.o.v. de hoogte van de plaat.

Deze stiften worden op een bepaalde manier sterk tegen de messingplaat aangedrukt zodat men van een goede geleiding van de stroom verzekerd is.

Sluit men nu de keten dan zal er een elektrische stroom vloeien van de accu via de inklemming en stiften naar de accu terug. Deze stroom is regelbaar met de weerstand  $R_1$ . Tussen de inklemming en de stiften ontstaat nu een spanningsverschil, dat afhankelijk is van de weerstand van de messingplaat. Dit spanningsverschil stelt het drukverschil tussen de bodem en de bronbuis voor.

De weerstand is 't kleinst bij de kortste verbinding tussen inklemming en stift. Hier zal dan ook de grootste stroom vloeien! (punt  $a$  in fig. 5).

Voor punten, die op de inklemming maar verder van a liggen is de weg en dus de weerstand groter. Het spanningsverschil is echter constant, zodat de stroom van die punten naar de stiften kleiner moet zijn ( $E = I R$ ), de stroomdichtheid zal hier dus geringer zijn.

Men kan nu in een willekeurig punt van de messingplaat het spanningsverschil meten tussen dat punt en de stiften. Voor meerdere punten zal dit spanningsverschil een gelijke waarde hebben. Verbindt men nu al deze punten door een lijn, dan is dit een aequipotentiaal-lijn.

Het bepalen van deze aequipotentiaallijnen gaat als volgt in zijn werk.

De meetpen c (fig.5) is verbonden met een zeer gevoelige galvanometer (spotlight-galvanometer). Daar de weerstand van de messingplaat zeer klein is, is ook het te meten spanningsverschil zeer klein (orde van grootte enige tientallen microvolts).

De galvanometer is om deze reden in een compensatieschakeling geplaatst.

Plaatst men nu de meetpen c ergens op de messingplaat dan regelt men weerstand  $R_2$  zodanig, dat de galvanometer stroomloos is.

Verplaatst men nu meetpen c over de messingplaat terwijl de galvanometer stroomloos blijft, dan volgt de meetpen een bepaalde aequipotentiaallijn.

Wil men een andere aequipotentiaallijn volgen, dan licht men de meetpen c van de messingplaat, plaatst deze ergens anders op de plaat en regelt  $R_2$  weer bij, zodat de galvanometer weer stroomloos is.

Op deze manier is zeer snel een groot aantal aequipotentiaallijnen te bepalen.

Trekt men lijnen loodrecht op deze aequipotentiaallijnen dan vindt men de stroomlijnen en hiermee is het gehele stromingsbeeld onder de folie bekend.

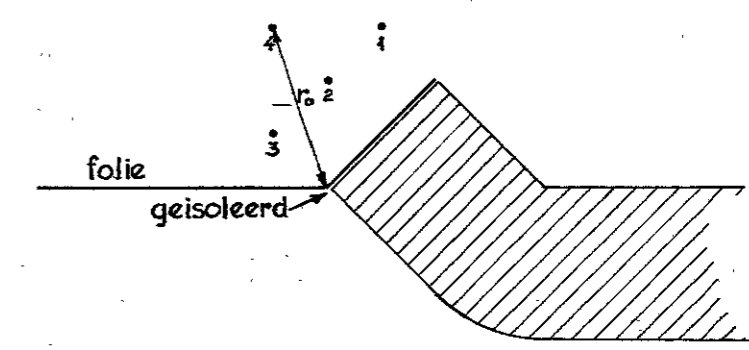
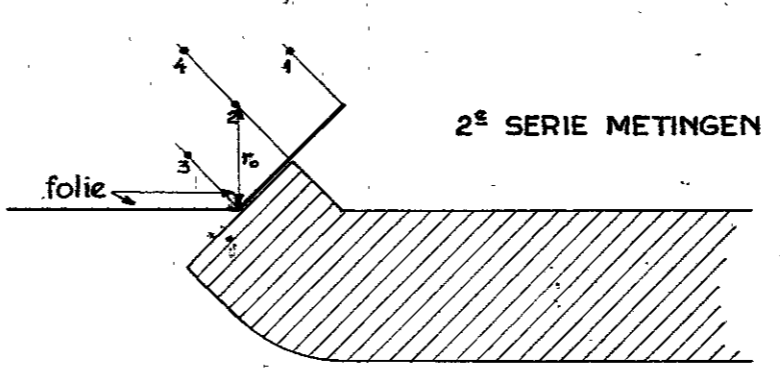
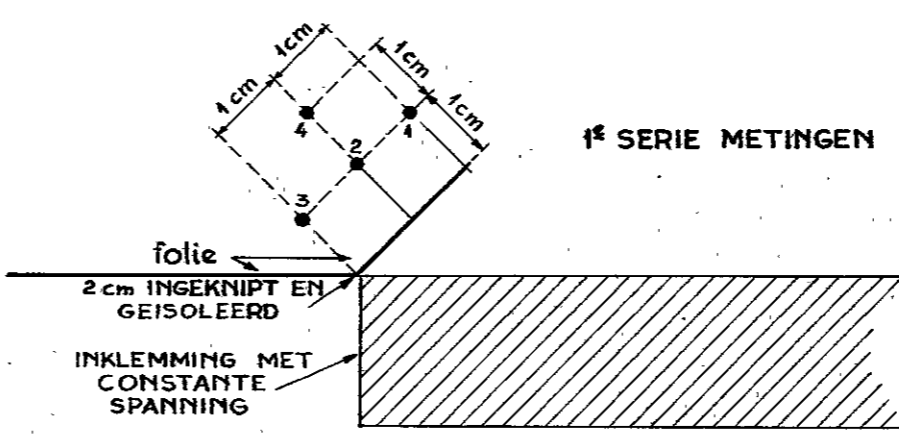
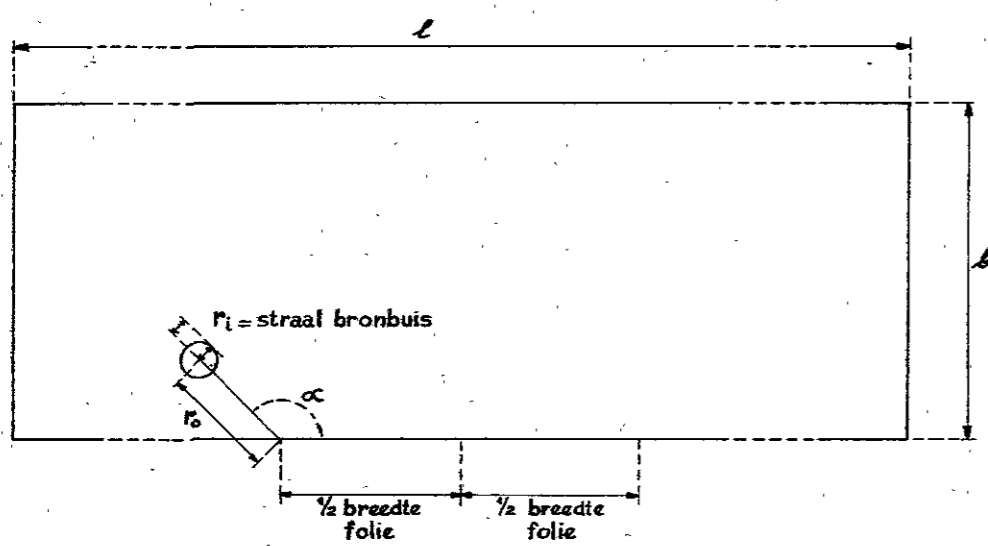
Voor het bepalen van het verloop van de onderdruk langs de onderkant van de folie behoeft men echter de meetpen c langs de rand a-a van de plaat te verplaatsen en steeds het spanningsverschil daar ter plaatse te meten. Daar men nu ook het spanningsverschil tussen de inklemming (= rivierbodem) en de stiften (= bronbuizen) kent is dus de gestelde vraag opgelost.

Dit laatste is voor een groot aantal gevallen uitgevoerd, waarbij men steeds de aanwezige variabelen gewijzigd heeft om de controle van de berekening van  $I_r$  de Josselin de Jong mogelijk te maken. Tevens is de invloed van de beperkte afmetingen van de messingplaat nagegaan. (Zie meetprogramma).

Voor een overzicht van de uitgevoerde proeven en de gevonden resultaten zie men bijlagen 1 t/m 12

XIV ≈ I

VARIABELEN		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	XIII	XIV	1 <sup>st</sup> SERIE METINGEN 1-4	2 <sup>de</sup> SERIE METINGEN 1-4	3 <sup>de</sup> SERIE METINGEN 1-4	1 <sup>st</sup> SERIE METINGEN 1-4	2 <sup>de</sup> SERIE METINGEN 1-4	3 <sup>de</sup> SERIE METINGEN 1-4
$\alpha$	rad.	$\frac{\pi}{2}$	$\frac{\pi}{4}$	$\frac{3\pi}{4}$	$\frac{\pi}{2}$	$\frac{\pi}{2}$	$\frac{3\pi}{4}$	$\frac{\pi}{2}$	$\frac{\pi}{2}$	$\frac{\pi}{2}$	$\frac{\pi}{4}$	$\frac{3\pi}{4}$	$\frac{\pi}{2}$	$\frac{\pi}{2}$	$\frac{\pi}{2}$	1 2 3 4	1 2 3 4	1 2 3 4	1 2 3 4	1 2 3 4	1 2 3 4
$r_0$	cm	2	2	2	4	4	4	1	2	5	2	2	2	2	2	1 2 3 4	1 2 3 4	1 2 3 4	1 2 3 4	1 2 3 4	1 2 3 4
$r_i$	cm	0,2	0,2	0,2	0,2	0,8	0,8	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
$b$	cm	65	65	65	65	65	65	10	10	10	10	10	10	10	55	55	55	55	10	10	10
$l$	cm	135	135	135	135	135	135	135	135	135	135	135	135	135	135	135	135	135	135	135	135
$\frac{1}{2}$ breedte folie	cm	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	20	35	10	10	10	10	10	10	10
$\beta$	rad.	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	$\frac{3\pi}{4}$	$\frac{3\pi}{4}$	$\frac{3\pi}{4}$	$\frac{3\pi}{4}$	$\frac{3\pi}{4}$	$\frac{3\pi}{4}$





I  $P_o - P_c = 1042 \text{ W}$

$r_i = 0.2 \text{ cm}$

$\frac{r_o}{r_i} = \frac{2}{0.2} = 10$

II  $P_o - P_c = 1234$

$r_o = 2 \text{ cm}$

III  $P_o - P_c = 888$

1000

750

500

250

0

0

25

50

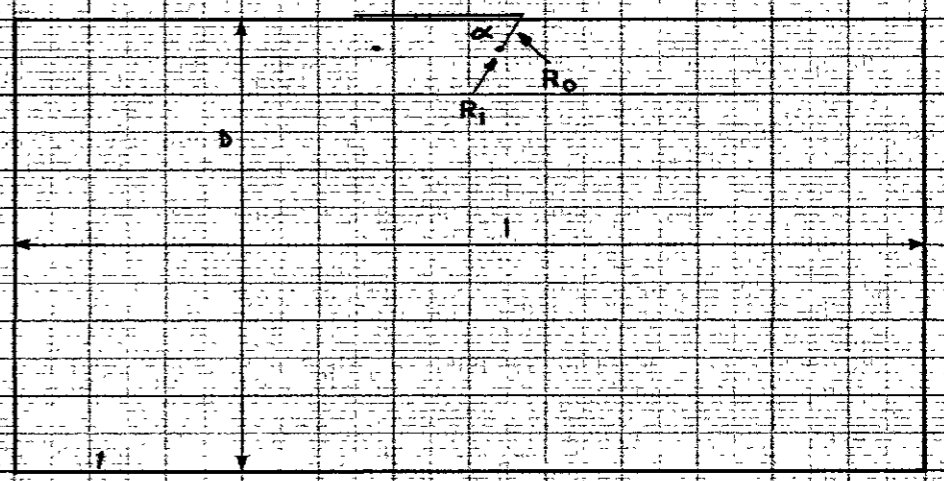
75

10 cm

II  $\alpha = \frac{\pi}{4}$

I  $\alpha = \frac{\pi}{2}$

III  $\alpha = \frac{3\pi}{4}$



BIJLAGE 2

$$P_0 - P_c = 1042 \text{ W}$$

$$= 932 \text{ W}$$

$$= 744 \text{ W}$$

$$\text{IV } r_1 = 0,2 \text{ cm } r_2 = 4 \text{ cm } \alpha = \frac{\pi}{2}$$

$$\text{V } r_1 = 0,8 \text{ cm } r_2 = 4 \text{ cm } \alpha = \frac{\pi}{2}$$

$$\text{VI } r_1 = 0,8 \text{ cm } r_2 = 4 \text{ cm } \alpha = \frac{3\pi}{4}$$

1000

750

500

250

0

25

50

75

10 cm

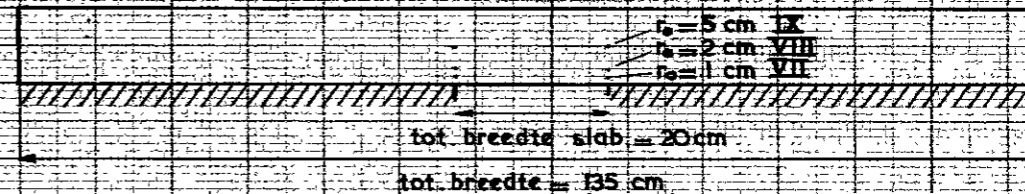
V

IV

VI

BIJLAGE 3

$P_0 - P_c = 1034$	Al V	VII	$r_0 = 1 \text{ cm}$	$r_1 = 0,2 \text{ cm}$	$\alpha = \frac{\pi}{2}$	diepte = 10 cm
" = 1142	"	VIII	$r_0 = 2 \text{ cm}$	$r_1 = 0,2 \text{ cm}$	$\alpha = \frac{\pi}{2}$	breedte = 135 cm
" = 1314	"	IX	$r_0 = 5 \text{ cm}$	$r_1 = 0,2 \text{ cm}$	$\alpha = \frac{\pi}{2}$	"



1000

750

500

250

0

0 25 50 75 100 cm

IX

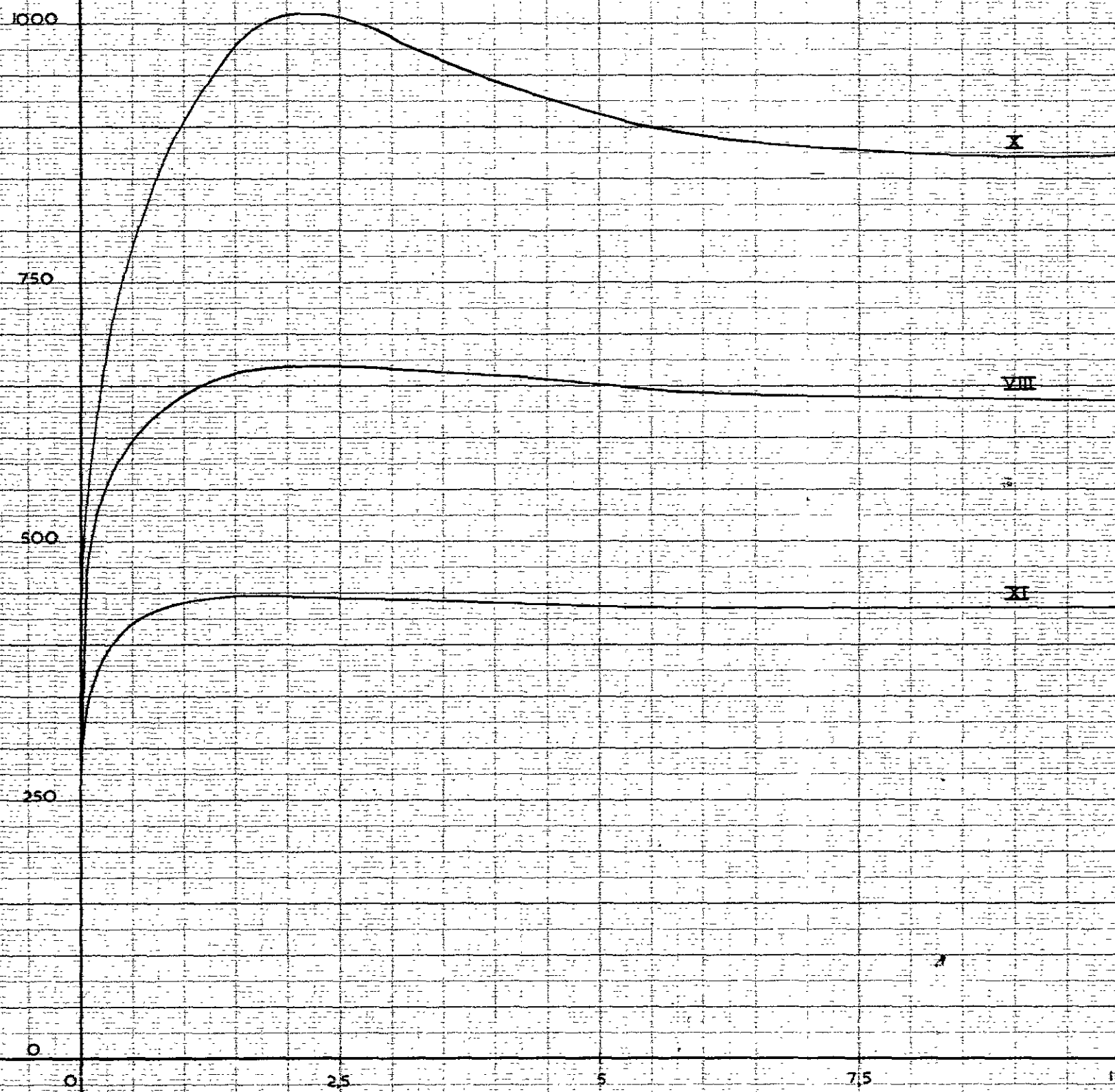
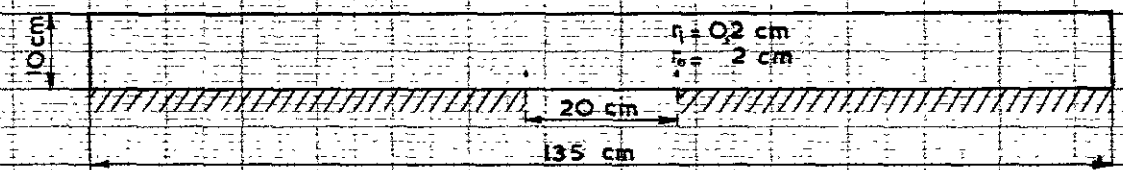
VIII

VII

BIJLAGE 4

$P_0 - P_c = 1142 \mu V$  VIII  $r_c = 2 \text{ cm}$   $r_s = 0,2 \text{ cm}$   $\alpha = \frac{\pi}{2}$   
 $" = 1420$  X " "  $\alpha = \frac{\pi}{4}$   
 $" = 950$  XI " "  $\alpha = \frac{3\pi}{4}$

Diepte 10 cm  
 Breedte 135 cm



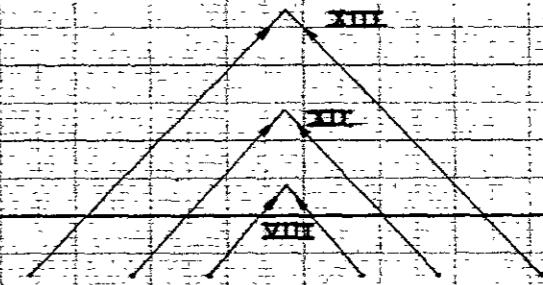
BIJLAGE 5

$\mu V$

$\alpha = \frac{\pi}{2}$      $r_0 = 2 \text{ cm}$      $r_1 = 0,2 \text{ cm}$

Diepte onder folie = 10 cm  
Totale breedte = 135 cm

- VIII  $P - P_0 = 1142 \mu V$
- XII " = 1140 "
- XIII " = 1152 "



tot. br. folie 20 cm  
 tot. br. folie 40 cm  
 tot. br. folie 67,5 cm  
 tot. breedte 135 cm

1000

750

500

250

0

VIII

$\frac{1}{2}$  folie = 10 cm

XII

$\frac{1}{2}$  folie = 20 cm

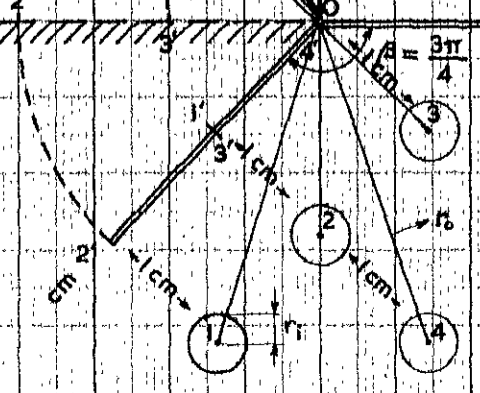
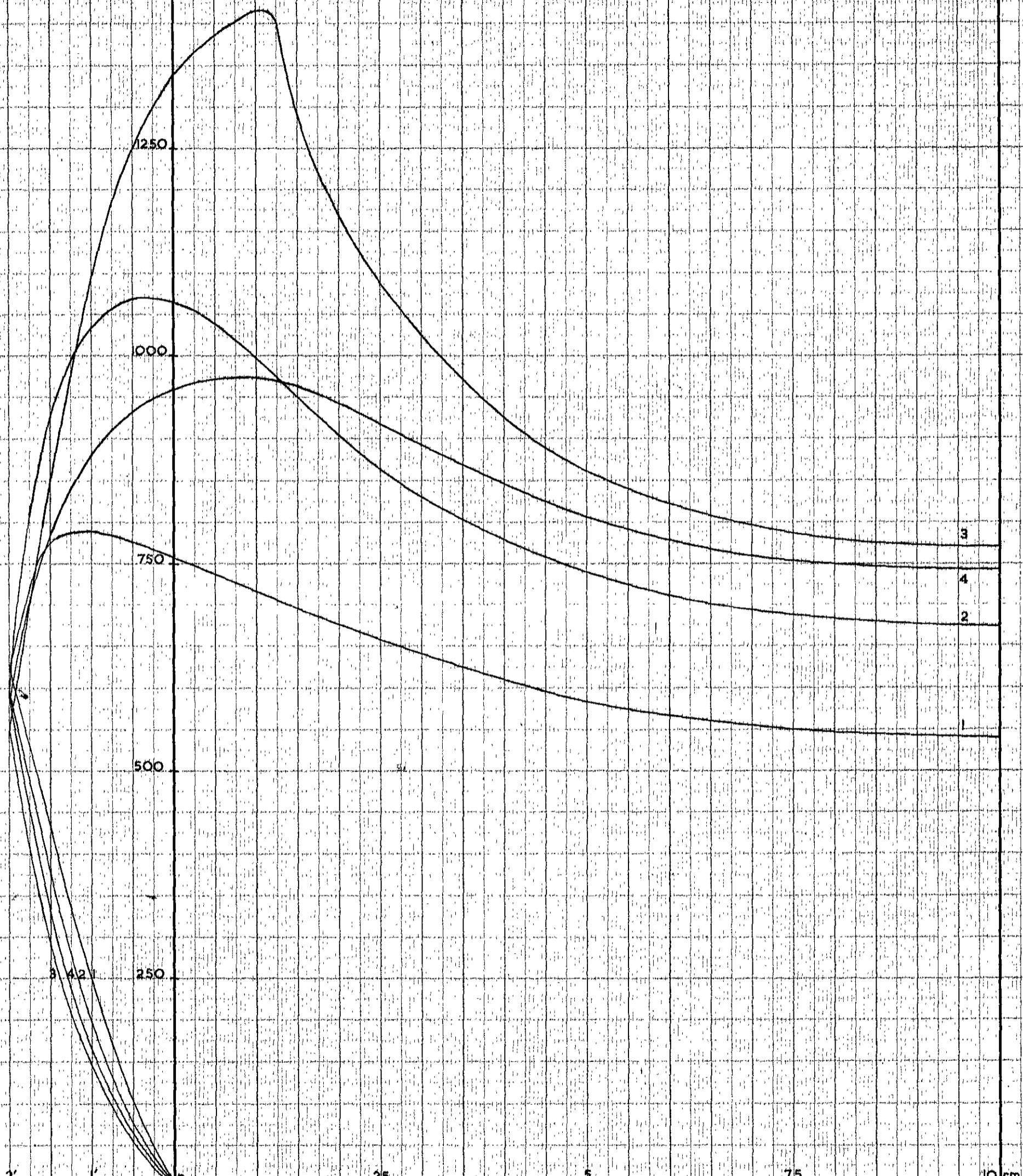
XIII

$\frac{1}{2}$  folie 33,75 cm =  $\frac{1}{4}$  totale breedte

B'JLAGE 6

33,75 cm

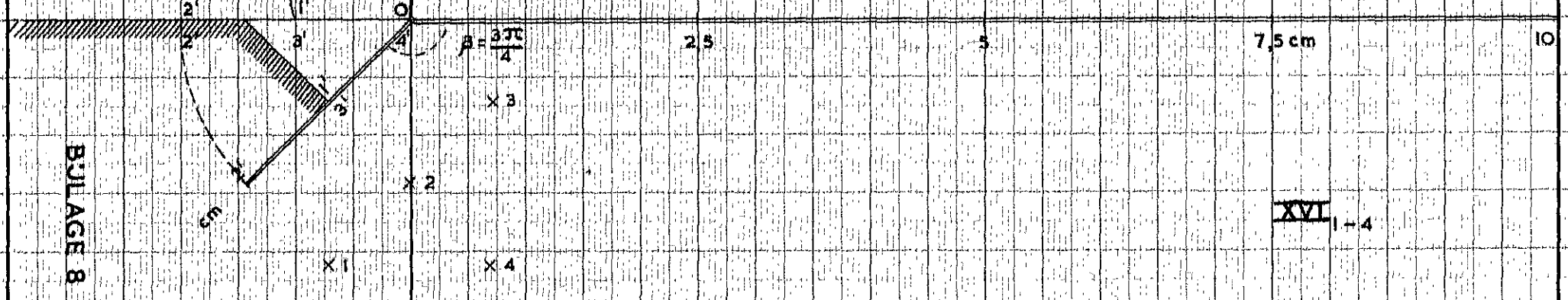
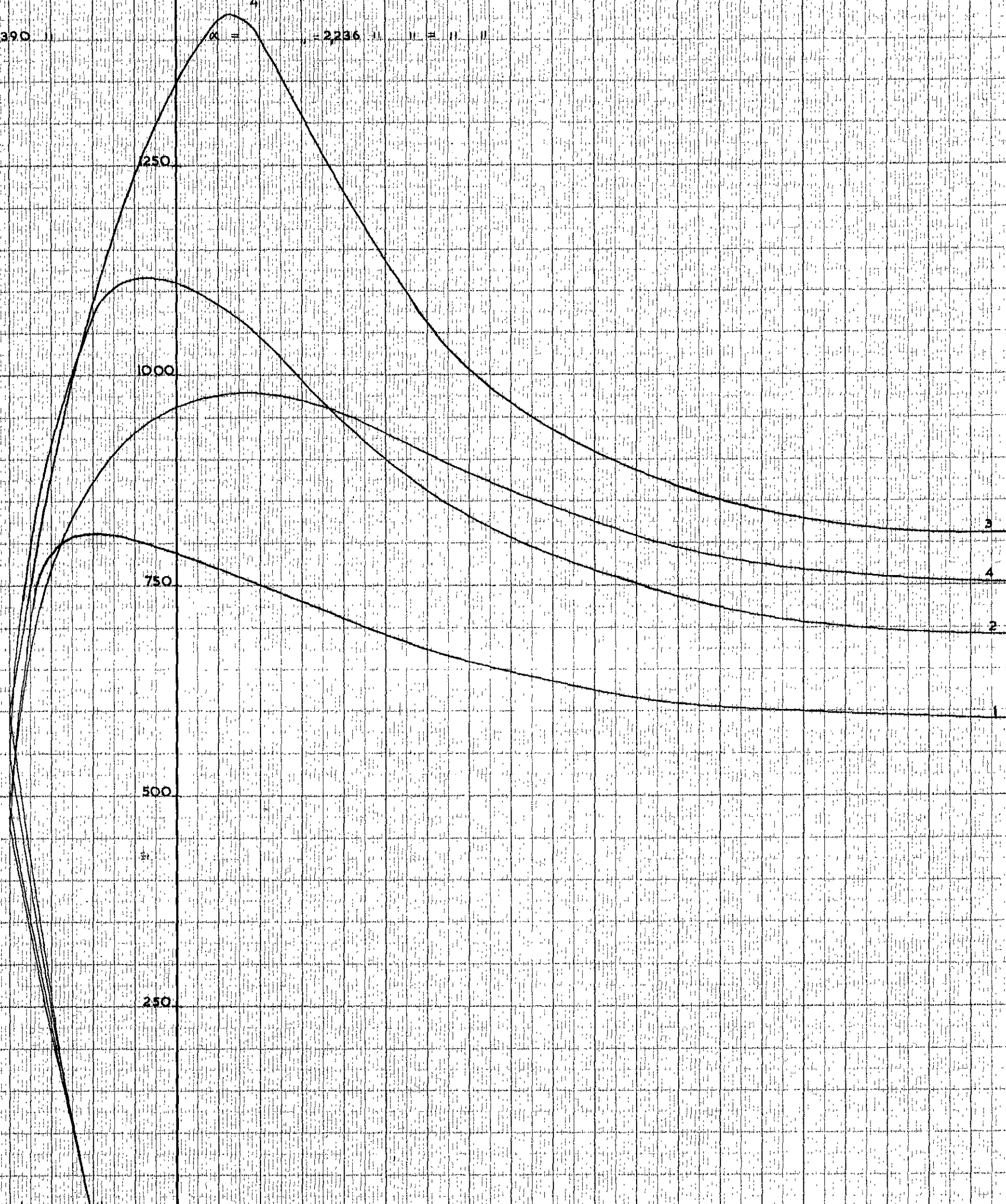
XV	$P_o - P_c =$	$\mu V$	$\alpha = \approx$	$r_o =$	$r_i =$
1	1180		$\frac{6\pi}{10}$	$\sqrt{5} = 2,236 \text{ cm}$	0,2 cm
2	1388		$\frac{\pi}{2}$	$\sqrt{2} = 1,4142 \text{ cm}$	0,2 cm
3	1750	1500	$\frac{\pi}{4}$	1 cm	0,2 cm
4	1424		$\frac{4\pi}{10}$	$\sqrt{5} = 2,236 \text{ cm}$	0,2 cm



BULAGE 7

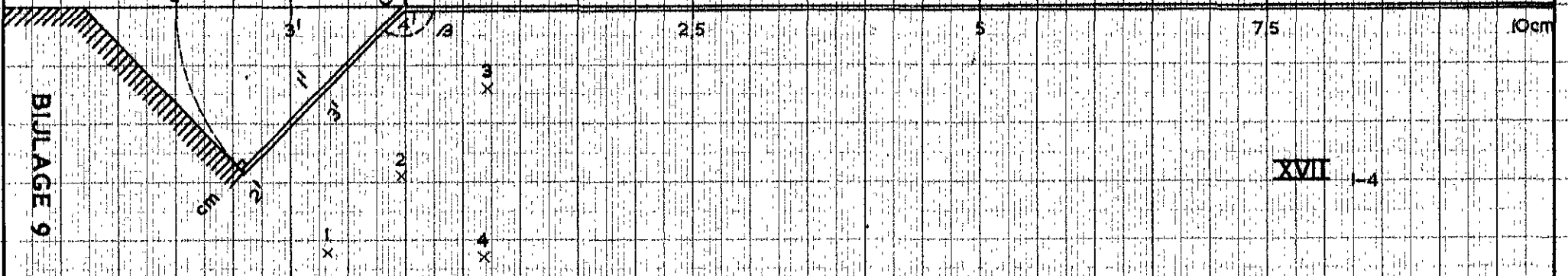
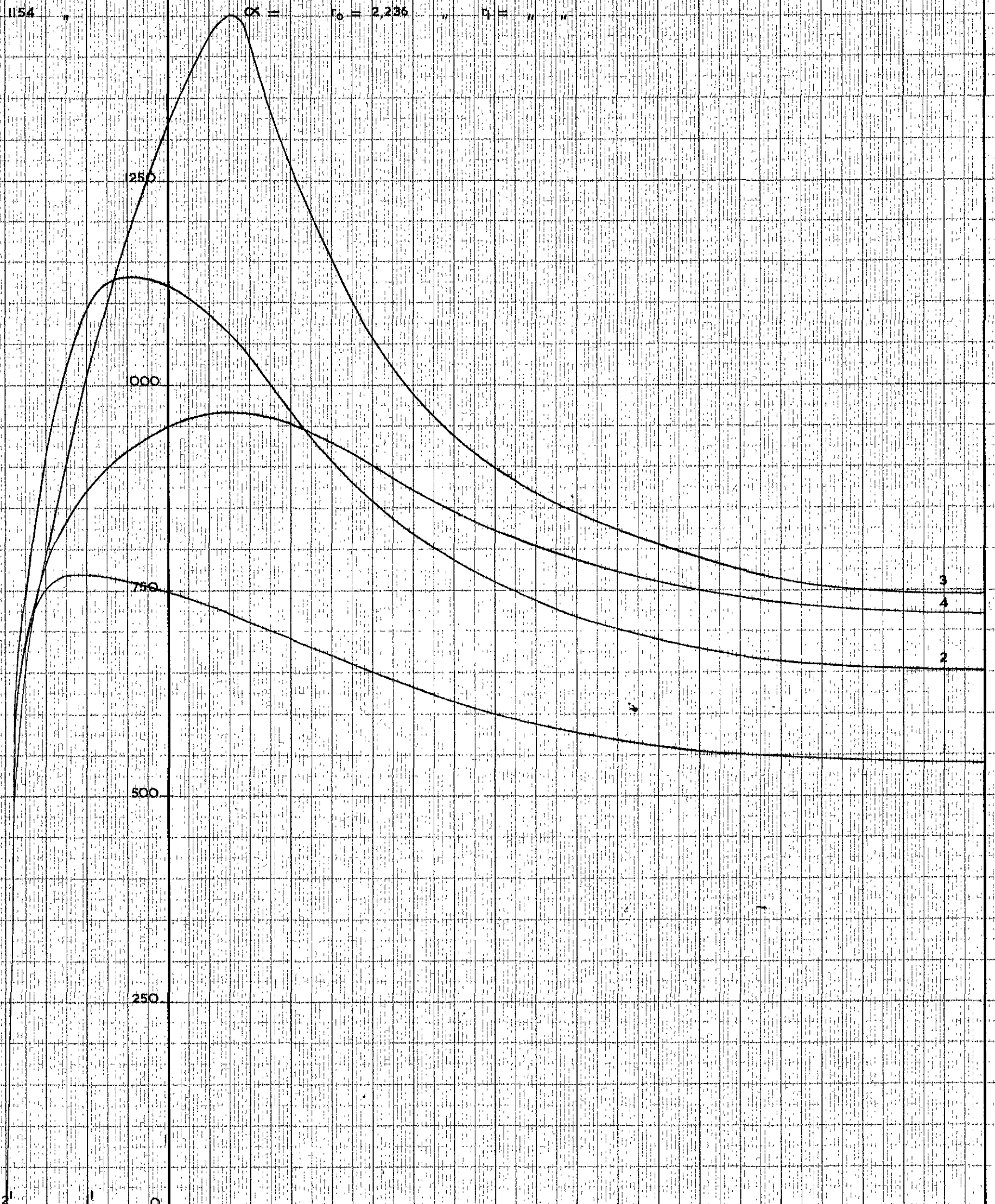
XV, 4

XI  $P_0 - P_c = 1184 \mu V$   $\alpha = \pi$   $r_0 = 2236 \text{ cm}$   $r_1 = 0,2 \text{ cm}$   
 " 2 "  $= 1424 \text{ "}$   $1500$   $\alpha = \frac{3\pi}{4}$   $r = 1,4142 \text{ "}$   $r = 0,2 \text{ cm}$   
 " 3 "  $= 1730 \text{ "}$   $\alpha = \frac{\pi}{4}$   $r = 1 \text{ "}$   $r = \text{ "}$   $r = \text{ "}$   
 " 4 "  $= 1390 \text{ "}$   $\alpha = \text{ "}$   $r = 2,236 \text{ "}$   $r = \text{ "}$   $r = \text{ "}$



XVI 1-4

XVII,  $P_0 - P_c = 1060 \mu V$   $\mu V$   $\alpha =$   $r_0 = 2,236 \text{ cm}$   $r_1 = 0,2 \text{ cm}$   
 " 2 "  $= 1400$  "  $\alpha =$   $r_0 = 1,4142$  "  $r_1 =$  " "  
 " 3 "  $= 1634$  "  $1500$   $\alpha =$   $r_0 = 1$  "  $r_1 =$  " "  
 " 4 "  $= 1154$  "  $\alpha =$   $r_0 = 2,236$  "  $r_1 =$  " "





XVII,  $E_0 - P_c = 1402 \mu V$

$\mu V$

$1 = 0,2 \text{ cm}$

Diepte onder folie = 10 cm

2 " = 1646 "

3 " = 1966 "

4 " = 1674 "

1500

1250

1000

750

500

250

3

4

2

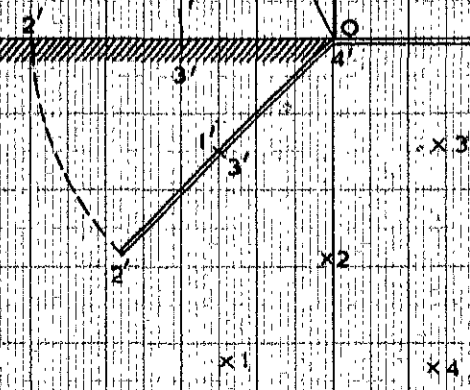
25

5

7,5

cm

BILAGE 10

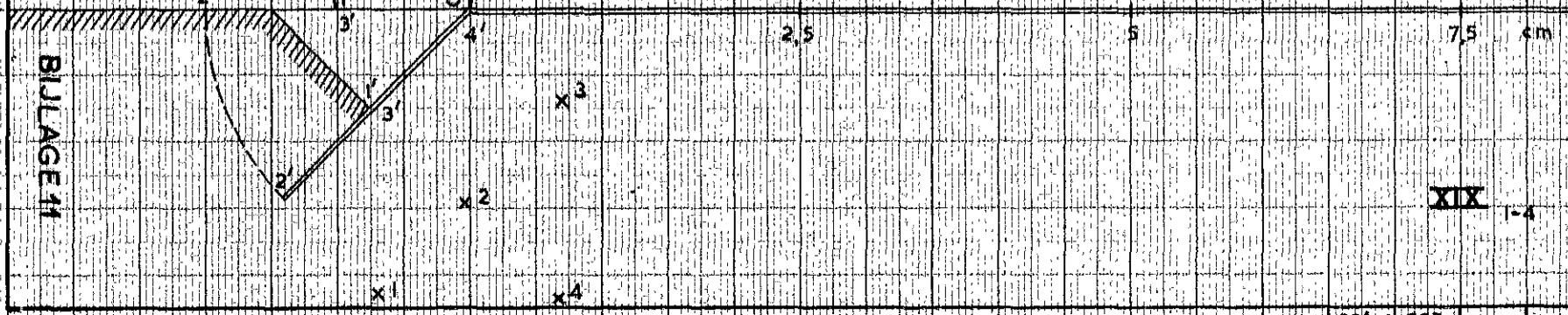
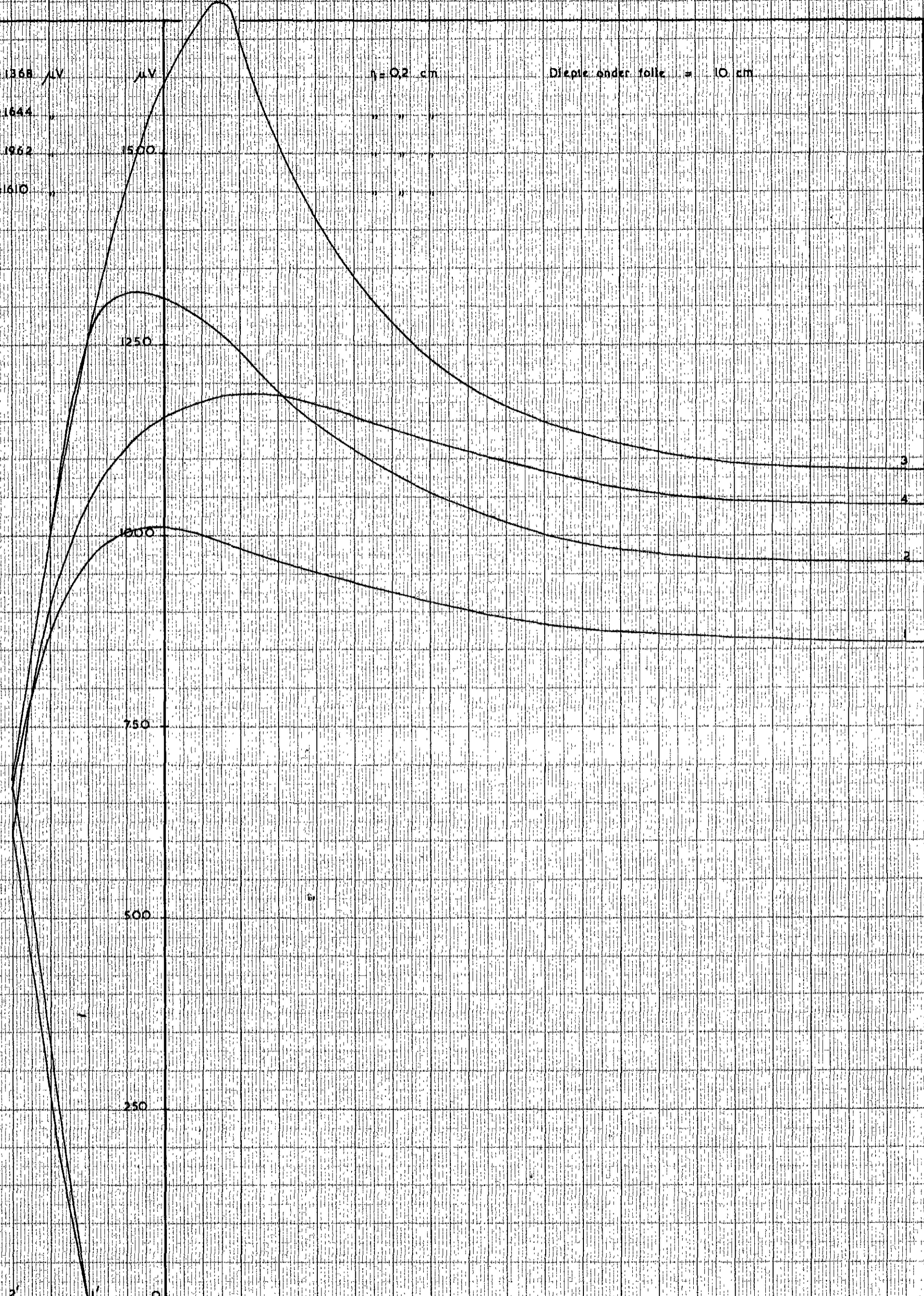


XVII

XIX,  $P_0 - P_c = 1868 \mu V$   
 " 2 " = 1644 " "  
 " 3 " = 1962 " "  
 " 4 " = 1610 " "

$\eta = 0,2 \text{ cm}$

Diepte onder folie = 10 cm



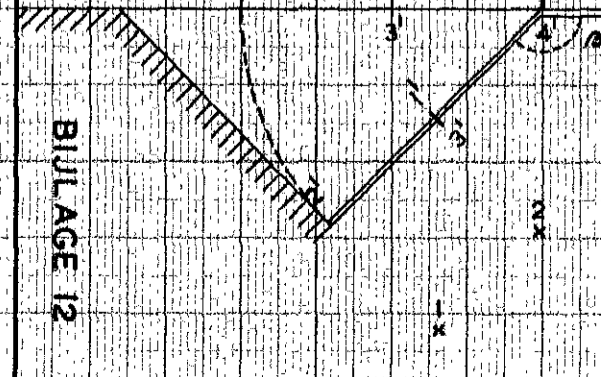
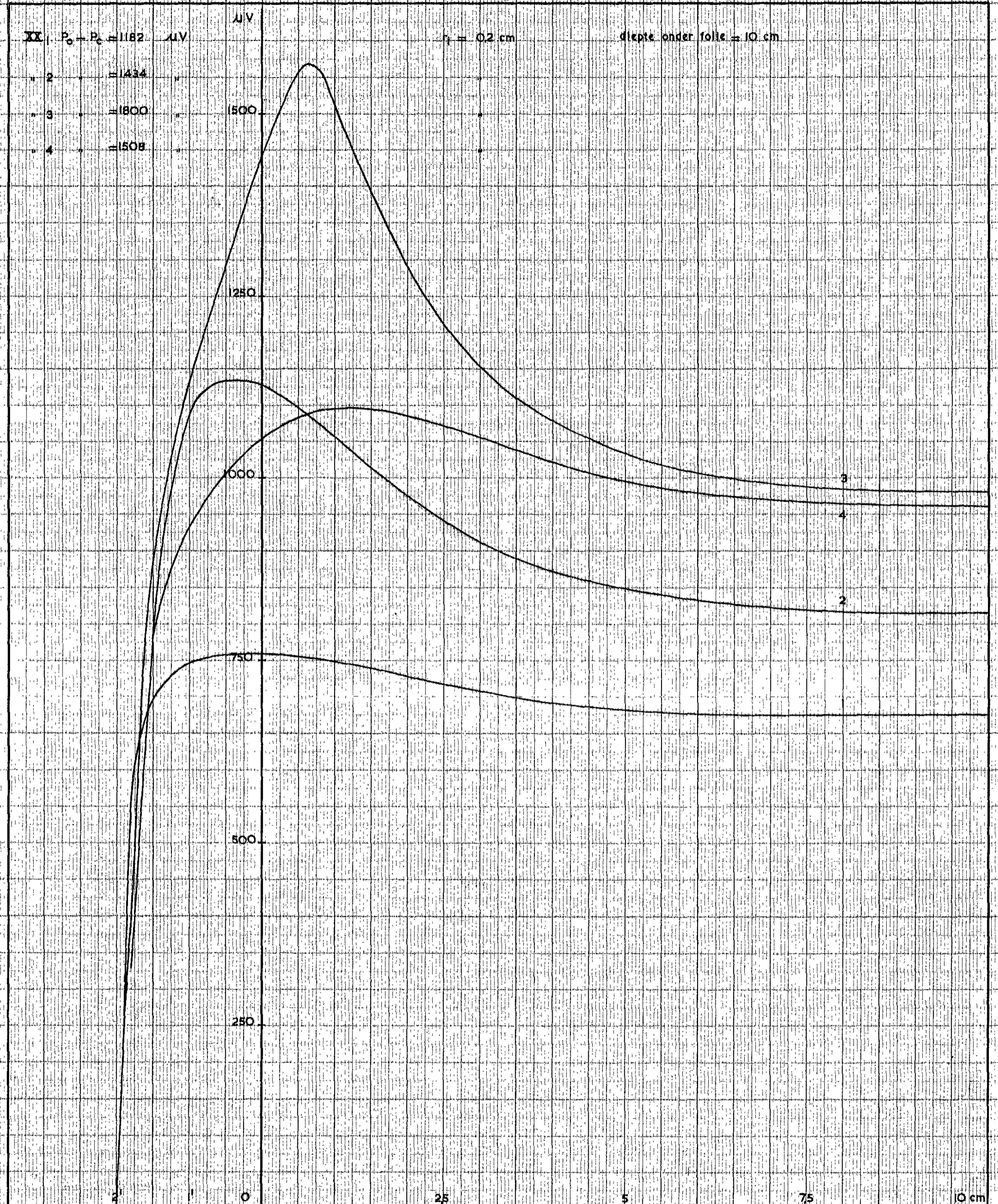
BILAGET 4

XIX 1-4

XX  $P_0 - P_c = 1182 \mu V$

$r_1 = 0.2 \text{ cm}$

diepte onder folie = 10 cm



XX