

67

67

Stofoverdracht bij 2-fasen strooming

Afstudeerverslag P.E.G.M. Evers, T<sub>s</sub>

October 1956

Stofoverdracht in het ringstromingsgebied  
van tweefasestroming

P.E.G.M. Evers

Verslag van het afstudeerwerk  
(October 1955 - October 1956)

## I N H O U D

	blz.
<u>1</u> Het doel van de proeven . . . . .	1
<u>2</u> Tweefasen stroming . . . . .	1
<u>3</u> Stofoverdracht bij ringstroming . . . . .	4
<u>4</u> Beschrijving van de apparatuur. . . . .	6
<u>5</u> Waarnemingen en stofbalansen. . . . .	12
<u>6</u> Stofoverdrachtsberekeningen . . . . .	13
<u>7</u> Conclusies. . . . .	16
 Appendix: Ruwe uitwisselingstheorie . . . . .	 18
Lijst van gebruikte symbolen. . . . .	21
Litteratuur . . . . .	23
 Tabellen en grafieken	

## 1. Het doel van de proeven

Er werd getracht om, door middel van stofoverdrachtsmetingen in het ringstromingsgebied van tweefasen stroming, een inzicht te verkrijgen in het mechanisme van ringstroming en daarvan een mathematische beschrijving te geven.

## 2. Tweefasen stroming

### A. Inleiding

Het gelijktijdig in gelijkstroom stromen van gas en vloeistof pleegt men tweefasen stroming te noemen.

Over deze stroming zijn reeds vele onderzoeken gedaan. Een samenvatting daarvan werd gegeven door Isbin e.a. (Litt. 4). Bij deze onderzoeken werden olie en lucht, water en lucht, of water en stoom gelijktijdig door een buis gestuurd. De drukgradiënten, die bij zulk een stroming optreden, blijken veel groter te zijn dan wanneer het gas alleen door dezelfde buis stroomt met dezelfde snelheid.

Een correlatie voor de drukval werd gegeven door Martinelli en Lockhart (Litt. 9). Deze correlatie is empirisch en bereikt een nauwkeurigheid van ca 30 %.

Dank zij de geringe kennis van de details, zoals de rol van de disperse fase, is het mechanisme echter nog duister.

### B. Stromingsprofielen bij tweefasen stroming van water en lucht

Welk stromingsprofiel optreedt bij het gelijktijdig stromen van gas en vloeistof is afhankelijk van de gas- en vloeistofdebieten, van het feit of de stroming plaats heeft in een horizontale of een verticale buis, en van de gassnelheid. In figuur 1 worden de verschillende

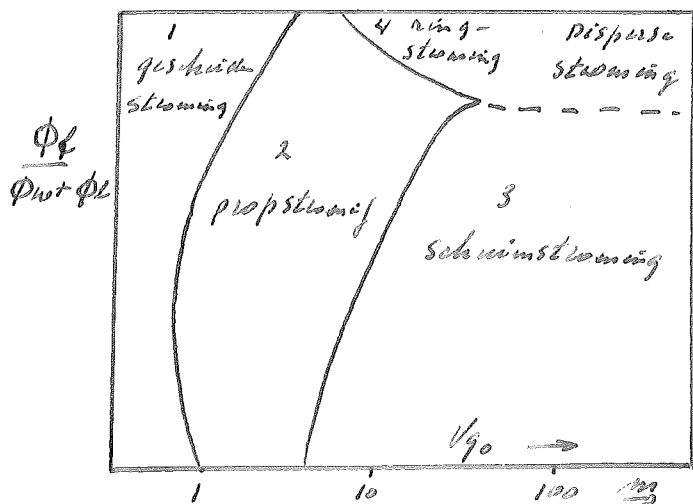


fig 1

stromingsprofielen getoond, die optreden in horizontale buizen met een cirkelvormige doorsnede.

Wanneer de snelheid van de lucht klein is zal het water door de actie van de zwaartekracht als gescheiden fase onder in de buis stromen. De lucht stroomt dan in het bovenste, resterende, deel van de buis-



doorsnede. Een dergelijke stroming pleegt men gescheiden stroming te noemen. Deze treedt in verticale buizen niet op, omdat daar een dergelijk zwaartekrachtseffect afwezig is.

Omdat bij deze stroming dus steeds lucht langs het wateroppervlak strijkt zullen golven gevormd worden. Naarmate de relatieve snelheid van de lucht t.a.v. het water groter is zal de wrijving tussen deze twee fasen sterker zijn en zullen grotere golven gevormd worden.

Indien de snelheid van de lucht voldoende groot is zullen tenslotte golven gevormd worden welke de hele buisdoorsnede in beslag nemen.

De lucht wil echter zijn weg vervolgen en stuwt deze golven daarom met een grote snelheid voort. Bij een volledige afsluiting van de buisdoorsnede zullen deze propfen een snelheid krijgen welke gelijk is aan de snelheid van de lucht.

Het stromingsprofiel dat nu ontstaan is, staat bekend als propstroming.

Bij een verdere vergroting van de luchtsnelheid gaat dit stromingsprofiel weer over in een ander. Welk stromingsprofiel dan verkregen wordt hangt af van de hoeveelheid water welke ingevoerd wordt.

Is het waterdebiet namelijk groot dan zal de lucht dispers in het water verdeeld worden en er treedt schuimstroming op.

Neemt de lucht echter een groter deel van de buisdoorsnede in beslag dan zal het water door de actie van de lucht tot fijne druppeltjes verstoven worden. Het water wordt nu voor een deel als disperse fase meegevoerd door de lucht, terwijl een ander deel als een dunne film langs de wand stroomt. Het stromingsprofiel, dat ringstroming genoemd wordt, heeft nu als kernmerk, dat het grootste deel van het water als film getransporteerd wordt.

Vindt het grootste deel van het watertransport echter als disperse phase plaats dan spreekt men van disperse stroming. Dit stromingsprofiel zal optreden, wanneer bij ringstroming de snelheid van de lucht tot grote waarden wordt opgevoerd.

Bij ringstroming zal ook wrijving tussen de lucht en waterphase optreden en door deze wrijving zullen zich op het filmoppervlak golfjes vormen. Deze golfjes krijgen van de lucht voortdurend impulsen toegevoerd, maar worden aan de andere kant weer geconserveerd door de oppervlaktetenspanning. Zijn de golftopjes welke gevormd worden te groot, dan

zullen deze door de lucht gedesintegreerd worden tot banden en slier-  
ten en deze op hun beurt weer tot kleine druppeltjes.

Een maat voor de stabiliteit van een druppel is het Weber getal  
(Litt. 5):

$$We = \frac{\rho_g V_g^2 R}{\alpha}$$

R = straal van de druppel  
 $\alpha$  = oppervlaktespanning  
 $\rho_g$  = dichtheid van het gas  
 $V_g$  = snelheid van het gas t.o.v. de  
druppel

Krijgt dit Weber getal nu een bepaalde kritische waarde, dan zal de  
druppel desintegreren totdat de daarbij ontstane nieuwe druppels een  
straal, R, hebben verkregen, waarbij deze kritische waarde niet langer  
overschreden wordt.

Voor vallende druppels in lucht is het kritische Weber getal ca.  
10, doch bij een plotselinge blootstelling van een druppel aan een  
luchtstroom veel kleiner ( $We_{cr.} \approx 6$ ). Voor een berekening van de drup-  
pelgrootte in de disperse phase zal de laatste waarde van het Weber  
getal toegepast moeten worden, maar een groot bezwaar voor de toepas-  
sing van dit getal is, dat het slechts een uitdrukking geeft van het  
eindresultaat van het desintegratieproces. Het is namelijk mogelijk,  
dat grotere druppels voordat zij verder desintegreren al in de vloeis-  
toffilm aan de wand geschoten zijn, zodat dus de gemiddelde druppel-  
diameter groter zal kunnen zijn dan het kritische Weber getal aangeeft.

Zoals reeds terloops werd opgemerkt, hebben de druppels geen be-  
wegingsrichting welke evenwijdig verloopt met het buisoppervlak, m.a.w.  
zij zullen na een zekere weg doorlopen te hebben in de vloeistoffilm  
aan de wand duiken. Bij een zeer grote snelheidscomponent evenwijdig  
aan het buisoppervlak zal deze botsingskans kleiner worden. Deze grote  
snelheid zal optreden bij grote luchtsnelheden.

De door de vloeistoffilm aan de wand ingevangen druppels zouden  
de dikte van deze film vergroten, indien niet tegelijkertijd door de  
desintegratie van golftoppen en het gestadig bombardement van de drup-  
pels weer water uit de film werd afgevoerd naar de disperse phase.

Men kan dit alles samenvatten door te zeggen dat er tussen de  
wandvloeistof en de disperse vloeistof een voortdurende uitwisseling  
plaats vindt.

Een bewijs hiervan werd geleverd met proefjes waarbij in de film  
via een capillair, dat aan de buiswand bevestigd was, een kaliumperman-  
ganaatoplossing geïnjecteerd werd. Daarbij bleken de kleurverschillen

tussen de disperse phase (welke alleen door uitwisseling permanganaat kan bevatten) en de wandvloeistof op ongeveer één meter van het injectiepunt volkomen genivelleerd te zijn.

Omdat deze permanganaatinjectie niet over de hele buiswand plaats vond, doch slechts in één punt ontstond in de film een geleidelijk aan breder wordende streep, die tenslotte de hele buisomtrek rood kleurde. Dit maakte een directe visuele waarneming van de disperse phase onmogelijk en deze werd daarom met een buisje, dat met zijn open doorsnede loodrecht op de stromingsrichting stond, afgetapt. De kleur van de disperse phase bleek gelijk te zijn aan die van de wandvloeistof.

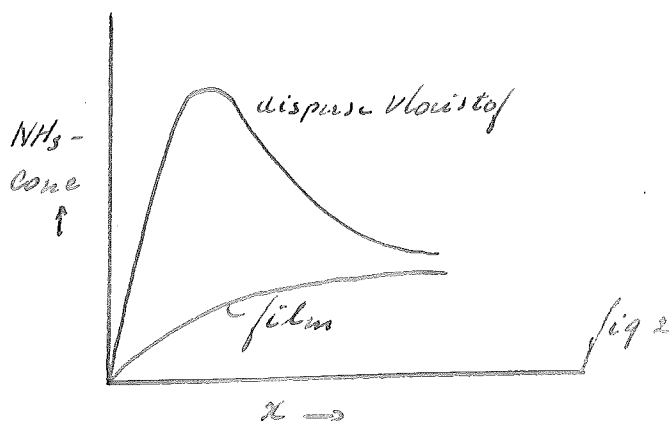
### 3. Stofoverdracht bij ringstroming

Indien zich in de lucht ammoniak bevindt zal dit door het contact tussen lucht en water overgedragen worden aan het water totdat tenslotte beide fasen met elkaar in evenwicht zijn.

Omdat de disperse phase echter per eenheid van volume een veel groter oppervlak heeft dan de wandvloeistof en aangezien voorts de stofoverdrachtscoëfficiënt voor de druppels groter zal zijn dan die voor de film aan de wand, zullen de ammoniakconcentraties verschillend zijn. De disperse vloeistof zal een hogere ammoniakconcentratie hebben dan de film aan de wand. Daarnaast zullen echter door het uitwisselingsmechanisme de concentraties elkaar trachten te nivelleren.

De stofoverdracht bij ringstroming is dus samengesteld uit drie onderscheiden mechanismen:

- stofoverdracht aan de druppels
- stofoverdracht aan de film en
- uitwisselingsoverdracht tussen film en druppels.



Nevenstaande figuur geeft een kwalitatief beeld van de ammoniakoverdracht: bij de disperse phase treedt een snelle stijging op van de ammoniakconcentratie tot een maximum om dan, doordat de uitwisselingsoverdracht meer ammoniak afvoert naar

de film dan uit het gas toegevoerd wordt, slechts te dalen, totdat de film en de disperse druppels dezelfde concentratie hebben. De concentratie in de film zal voortdurend stijgen, totdat het evenwichtspunt bereikt is, terwijl de gasconcentratie voortdurend af zal nemen.

( $x$  = afstand van eerste contact tussen ammoniakhoudende lucht en water)

Doordat de drie mechanismen elkaar overlappen zullen pogingen om een inzicht te verkrijgen in elk afzonderlijk slechts succes kunnen hebben, wanneer het derde mechanisme, de uitwisselingsoverdracht, op zichzelf in beschouwing genomen kan worden. Dit nu is mogelijk indien op een bepaalde plaats in de buis over de gehele omtrek een stof (zoals bijvoorbeeld HCl) geïnjecteed wordt in de vloeistoffilm aan de wand. Het HCl zal slechts overgedragen worden aan de disperse vloeistof, wanneer tenminste de oplossingen voldoende verdund zijn om oplossen van HCl in de lucht te voorkomen.

Heeft de injectie op een bepaalde plaats over de gehele omtrek egaal plaats en heeft de film op die plaats dus dezelfde zoutzuurconcentratie, dan zal het door uitwisseling optredende concentratieverloop gemeten kunnen worden en zal vervolgens een mathematische beschrijving mogelijk zijn.

Met de bestaande apparatuur bleek het echter onmogelijk om over de gehele omtrek evenveel HCl te injecteren en zelfs al zou dit gelukt zijn, dan zal nog in het bovenste deel van de film een hogere zoutzuurconcentratie optreden dan onderin, omdat de film bovenin tot 8 x zo dun kan zijn dan beneden (Litt. 4).

Terugkomende op het concentratieverloop bij ammoniakoverdracht kan nog opgemerkt worden, dat het mogelijk is dat een limietgeval optreedt, waarbij lucht snel in evenwicht raakt met de disperse phase. De lijnen die het concentratieverloop aangeven van lucht en disperse phase zullen dan na verloop van tijd samenvallen. De concentratie van de lucht moet dan uiteraard aangegeven worden met de concentratie welke water zou bezitten indien dit in evenwicht was met lucht van deze samenstelling.

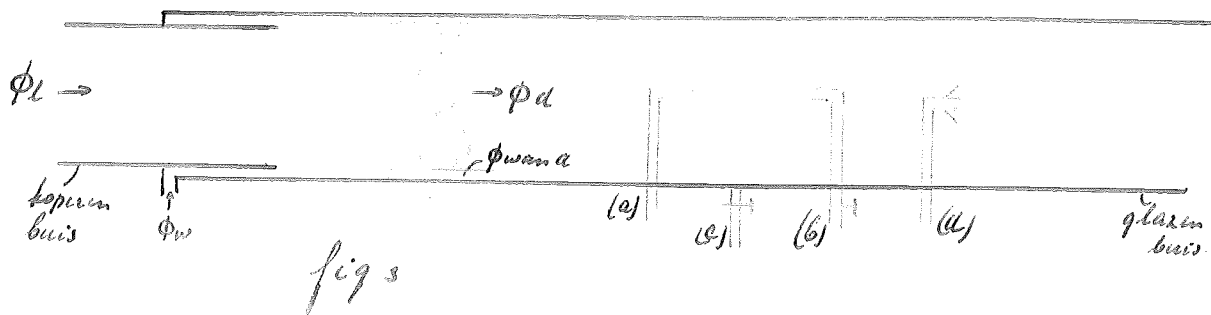
#### 4. Beschrijving van de apparatuur

##### A. Algemeen

De tweefasen stroming vindt plaats in een horizontale buis van pyrexglas. De buis heeft een lengte van ca 4,5 m en een inwendige diameter van 19 mm.

Het binnenstromen van lucht en water geschiedt d.m.v. een instromingsopening. In een gedeelte van de glazen buis steekt namelijk concentrisch een ander van koper. Door deze koperen buis wordt de lucht toegevoerd en door de ring, welke begrensd wordt door de glazen buis aan de buitenzijde en de koperen buis aan de binnenzijde, stroomt het water naar binnen.

Onderstaande figuur geeft een beeld van de opstelling:



Photo's en detailgegevens zijn nog te vinden in het verslag van Zijlker, waarin ook de meetflens voor de meting van de luchtdebieten en en waterrotameter beschreven staan.

##### B. De menging van ammoniak in de lucht

Voor het verkrijgen van ammoniakhoudende lucht bestaan twee alternatieven: de ammoniak kan in de lucht gemengd worden, voordat deze in contact komt met het water, ofwel de toevoer van ammoniak aan de lucht wordt uitgevoerd midden in de buis, waar dus al tweefasen stroming is opgetreden.

Het eerste geeft door het optreden van instromingseffecten aanleiding tot verkeerde resultaten. Deze effecten zullen namelijk ook bij de stofoverdracht een rol gaan spelen, omdat in het begin van de buis de uitwisseling tussen filmvloeistof en disperse vloeistof anders zal zijn dan in het latere stuk van de buis waar ringstroming al opgetreden is.

De grootte van deze instromingsverschijnselen werd nagegaan door drukvalmetingen aan het begin van de buis. Daarbij bleek, dat over één meter na eerste contact de drukval 10 % sterker was dan in het stabiele ringstromingsgebied. Bij dit contact over één meter heeft echter bijna alle overdracht van ammoniak al plaats gehad, doordat dit zeer snel gebeurt. Het gedeelte van de buis na deze eerste meter heeft dus als meetgebied geen waarde.

De andere mogelijkheid, een latere injectie van ammoniak, vereist een speciale uitvoering. Door een buisje (a) stroomt dan de ammoniak in de lucht (fig. III). Het buisje zal echter een verstoring geven van het stromingsprofiel al heeft het slechts een diameter van 3 mm.

Bovendien moet de ammoniak zich eerst nog met de lucht mengen voordat ammoniakoverdracht aan de vloeistoffilm aan de wand plaats kan vinden. De disperse vloeistof kan dus eerst ongestoord ammoniak absorberen, voordat absorptie optreedt bij de film. Er werd aangenomen, dat de menging na ca 10 Di cm (= 19,0 cm) compleet is en daar werden dus ook de eerste monsters genomen van lucht en water. Omdat de eerste 19 cm van het meetgebied een snelle stijging te zien geven van de ammoniakconcentratie in de disperse phase betekent dit een groot verlies van nauwkeurigheid. Tesamen met de verstoring door het injectiebuisje lijken deze twee nadelen groter dan die van het instromingsverschijnsel bij het eerste alternatief. Dit werd echter pas achteraf duidelijk toen met het tweede alternatief, een latere injectie van ammoniak, de metingen verricht waren.

De ammoniak is afkomstig uit een bombe. Het debiet werd gemeten met een rotameter en een kwikmanometer. De drukken op de verschillende plaatsen van monstername werden ook gemeten met kwikmanometers.

### C. Uitvoeringsmoeilijkheden

Omdat de verschillende monsters van lucht, disperse vloeistof en wandvloeistof niet gelijktijdig genomen konden worden, moest het hele systeem d.w.z. lucht met een bepaalde ammoniakconcentratie en snelheid en een bepaald waterdebiet, steeds opnieuw ingesteld worden op precies dezelfde toestand.

Het waterdebiet vertoont echter sterke fluctuaties en deze veroorzaken weer een ander lucht- en ammoniakdebiet en daar een monstername enige tijd in beslag neemt moet de toestand steeds constant gehouden

worden m.b.v. een voortdurende bijregeling. Dit lukt na enige routine behoorlijk.

Een andere oorzaak van variaties in het ammoniakdebiet is gelegen in de voortdurende afkoeling van de bombe door de verdamping van de vloeibare ammoniak. De bombe werd daarom in een waterbad geplaatst en verder werd het debiet voortdurend bijgeregeld.

#### D. De monstername

De monsters werden met verschillende aftapbuisjes genomen. De buisjes (b) en (d) welke concentrisch in de glazen buis steken voeren respectievelijk dispers water en lucht af, terwijl een capillair (c) in de buiswand het aftappen van wandvloeistof mogelijk maakt.

Het buisje (b) staat met zijn open doorsnede loodrecht op de stromingsrichting en het buisje (d) precies omgekeerd. Om de opening van buisje (d) is voorts een klein toetertje aangebracht om de disperse vloeistof af te buigen, die anders met de lucht mee afgetapt wordt. De stofoverdracht zou dan verlengd worden en de gasconcentraties zouden te laag zijn. In de afvoerleiding van buisje (d) bevindt zich voorts een cycloontje om eventueel toch meegesleept water af te voeren.

Hoewel de buisjes in andere gedeelten van de stromingsbuis getekend staan worden in werkelijkheid alle drie de monsters op dezelfde plaats genomen en wel alle op 19,1, 84,6, 129 en 165 cm van het ammoniak-injectiepunt vandaan. Er zijn dus vier meetpunten.

De monsters welke van lucht en water genomen worden dienen representatief te zijn voor de plaats waar zij genomen worden, m.a.w. zij dienen dezelfde concentratie te bezitten als de lucht en het water op die plaats zouden hebben wanneer de buisjes niet aanwezig waren.

De monstername van de wandvloeistof voldoet aan deze eis, wanneer tenminste niet zo snel wordt afgetapt dat luchtbellen meegevoerd worden.

De aanwezigheid van het buisje (d) voor de monstername van lucht kan echter een verstoring van de ringstroming tengevolge hebben. Vermoedelijk is het effect op de concentratie echter niet zo groot.

De monsters van de disperse vloeistof zijn echter minder betrouwbaar. Doordat het aftapbuisje daarvoor, namelijk met zijn open doorsnede loodrecht op de stromingsrichting staat, zal voor het buisje een kleine drukvergroting optreden waardoor de concentratie (gmol/l) van

de ammoniak in de lucht daar groter zal zijn. Bovendien is het buisje gedeeltelijk met dispers water gevuld en dit kan nu bloot staan aan verdere overdracht van ammoniak uit de lucht, waardoor bij de analyse te hoge concentraties gevonden kunnen worden. Tracht men dit te vermijden door snel af te tappen dan bestaat de kans dat lucht meegevoerd wordt, hetgeen ook weer leidt tot te hoge concentraties.

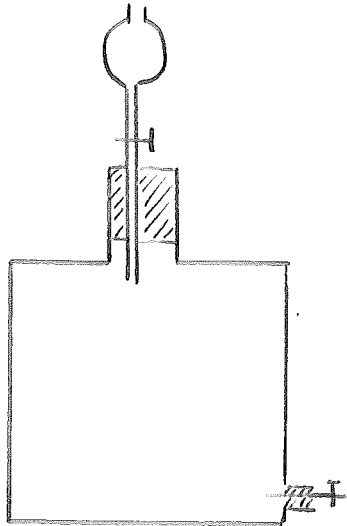
De metingen werden echter in triplo verricht en gaven daarbij slechts een onderlinge afwijking van slechts 2 %, hoogstens. Zou nu verdere overdracht plaats gevonden hebben, dan zou dit bij langzamer aftappen een sterk verschillende waarde moeten veroorzaken, omdat de gemeten concentraties nog lang niet in evenwicht waren met de ammoniakconcentratie in de lucht. Dit ondersteunt dan ook de volgende redenering waaruit bij het begin van de metingen de hoop geput werd dat de monsters representatief zouden zijn voor de disperse vloeistof. Omdat het buisje namelijk niet geheel met disperse vloeistof gevuld is zal een zo goed als stationnaire luchtprop in het voorste deel van het buisje het water niet in contact brengen met de snel stromende lucht. Doordat de luchtprop slechts door diffusie ammoniak kan overdragen aan de vloeistof zal de verhoging van de concentratie gering zijn. Het eerste deel van de afgetapte vloeistof werd bovendien weggeworpen.

#### E. De analyse van de monsters

Het disperse water of wandvloeistof werd opgevangen in een buret, die tot een bepaalde maatstreep gevuld was met een overmaat HCl, waardoor de ammoniak onmiddellijk geneutraliseerd werd. Het volume van het monster was bekend doordat de stand van de buret na de monsternamen opnieuw werd afgelezen. Aangezien de hoeveelheid HCl bekend was, kon door terug te titreren met NaOH de ammoniakconcentratie van wand en dispers water bepaald worden.

De bepaling van de concentratie van de lucht geschiedde door hiervan een bepaald volume in een fles op te vangen, de ammoniak erin met een overmaat HCl te absorberen en de overmaat zuur dan terug te titreren.





Door het onderste deel van een fles van ca 5 liter steekt een luchttoevoerbuisje. In de hals van de fles bevindt zich een scheidtrechter welke evenals het buisje voorzien is van een kraan (fig. IV).

Worden beide kranen nu geopend dan zal lucht uit de stromingsbuis (overdruk) via een cycloontje en een rubber-slang door de gasfles stromen.

Na ca 15 minuten zal alle lucht die zich oorspronkelijk in de fles bevond verdrongen zijn, d.w.z. de lucht in de fles zal na deze tijd dezelfde concentratie bezitten als die in de stromingsbuis (wanneer de lucht in de stromingsbuis geëxpandeerd zou zijn tot dezelfde druk als in de fles heerst. De bepaalde concentraties ( $N_g$ ) dienen dus vermenigvuldigd te worden met  $P$  buis/ $P$  atmosfeer.).

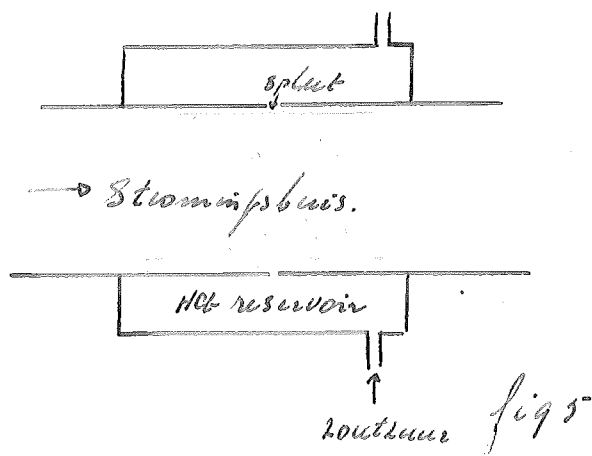
Door nu het onderste kraantje te sluiten en vervolgens het bovenste is een representatief gasmonster verkregen. Door de scheidtrechter wordt nu, nadat deze eerst met perslucht is doorgespoeld om ammoniak af te voeren die zich daar nog in bevond, zoutzuur in de fles gedruppeld. De fles wordt dan gedurende enige minuten geschud en vervolgens wordt de overmaat zuur teruggetitreerd.

Bij ijking bleek deze bepaling maximaal 2 % fout te zijn.

#### F. De apparatuur voor de uitwisselingsmetingen

Hoewel de pogingen om de uitwisseling tussen wand en disperse vloeistof te bepalen niet gelukten zal de daarbij gebruikte apparatuur toch beschreven worden i.v.m. soortgelijke metingen welke nog voor ringstroming door verticale buizen verricht zullen worden.

Het injectieapparaatje voor HCl (fig. V) is geheel van perspex vervaardigd en bestaat uit een buisje, met een spleet over de hele omtrek, en daaromheen een reservoir voor het HCl.



Uit een drukvat wordt een 2,5 N HCl-oplossing m.b.v. perslucht in het reservoir gedreven en stroomt van daaruit door de spleet in de wandvloeistof. Bij inleidende proeven, waarbij aan het zuur methyloord als indicator werd toegevoegd, bleek bijna alle HCl door het benedenste deel van de spleet de stromingsbuis in te vloeien. Dit treedt op, omdat de druk beneden ca

20 mm HCl-oplossing groter is dan boven. Omdat voorts in de film geen tangentiële menging optreedt (hetgeen bleek uit proeven met kaliumpermanganaat-oplossing) leidt dit tot foutieve metingen.

Daarom werden de proeven herhaald met een zeer kleine spleet ( 0,1 mm). Over zulk een nauwe spleet treedt bij stroming een grote drukval op, zodat het hydraulisch drukverschil dan zo goed als geen invloed bezit op het debiet. Het bleek echter, dat zulk een nauwe spleet zeer gemakkelijk deformaties ondergaat, zodat het middel erger is dan de kwaal.

De enige nog resterende mogelijkheid is het construeren van een apparaatje van staal, dus van een materiaal dat niet gemakkelijk gedeformeerd wordt.

Bij verticale buizen kan rustig een bredere spleet toegepast worden. Zulk een spleet zal dan geringe percentuele breedteverschillen vertonen en omdat bij verticale buizen het hydraulische drukverschil niet optreedt, zullen de vermelde moeilijkheden daar niet ontstaan. Wel zal het moeilijk zijn om een constant zoutzuurdebiet in de film te voeren. De in de buis heersende drukfluctuaties bleken namelijk sterke variaties in het kleine zoutzuurdebiet te veroorzaken.

De oplossing om dan een groot debiet in te voeren van een verdunde zoutzuuroplossing, zal echter tot ernstige vergrotingen van de film-dikte kunnen leiden.

## 5. Waarnemingen en stofbalansen

### A. Waarnemingen

In tabel I worden de gemeten wandvloeistofconcentraties gegeven, terwijl tabel II de concentraties van de disperse vloeistof en tabel III de gasconcentraties (bij 760 mm Hg en 20°C) geven. Elk van deze tabellen bestaat uit 9 series, I, II ..... IX. Voor elke serie werd een andere combinatie van het luchtdebiet bij 760 mm Hg en 20°C ( $\phi_L$ ), het totale waterdebiet ( $\phi_w$ ) en het totale ammoniakdebiet ( $\phi_{NH_3}$  in gmolen/sec) gebezigd. De debieten worden steeds uitgedrukt in  $m^3/sec$ .

De indices 1, 2, 3 en 4 bij de verschillende grootheden hebben betrekking op respectievelijk het eerste meetpunt (0,191 m van de plaats waar ammoniak aan de lucht wordt toegevoerd), het tweede meetpunt (0,846 m), het derde meetpunt (1,29 m) en het vierde meetpunt (1,65 m).

Wanneer  $\phi_L$  en  $\phi_{NH_3}$  van indices voorzien zijn, betekent dit dat de concentraties op het desbetreffende meetpunt apart zijn uitgevoerd. De concentraties op de andere meetpunten moesten dan uiteraard, voor dezelfde serie, bij dezelfde lucht- en ammoniakdebieten gemeten worden. De concentraties welke gevonden werden staan alle uitgedrukt in  $gmol/m^3$ .

De concentratie van de disperse vloeistof op het derde meetpunt werd niet gemeten, omdat dit weinig zinvol leek.

De concentratiemetingen werden steeds in triplo verricht en bleken daarbij maximaal 2 % uiteen te lopen.

In tabel IV worden de gemiddelde concentraties ( $C_m$ ) van het water weergegeven. Deze werden berekend uit de luchtconcentraties, het lucht- en het ammoniakdebiet volgens  $\phi_w C_m + \phi_L N_g = \phi_{NH_3}$ . Ook deze concentraties staan uitgedrukt in  $gmol/m^3$ .

De verschillende absolute drukken op de meetpunten 1, 2, 3 en 4 ( $P_1$  .....  $P_4$ ) staan, uitgedrukt in mm Hg, in tabel V. Ook hier weer gegroepeerd in 9 series.

De grafieken I t/m IX geven het verloop van de vloeistofconcentraties weer. De nummering heeft betrekking op de serienummers I t/m IX. Op dezelfde manier corresponderen de grafieken X t/m XVIII met de serie I t/m IX en zij tonen het verloop van de gasconcentraties ( $N_g$ ; d.w.z. bij 760 mm en 20°C).

Grafiek XIX geeft het verloop van de gemiddelde vloeistofconcentratie ( $C_m$ ) weer. De nummering 1, 2, 3 ..... en 9 komt ook hier weer overeen met de series I, II, III en IX.

### B. Stofbalansen

Door middel van stofbalansen werd nagegaan of de door Zijlker gemeten disperse waterdebieten ( $\phi_{d_a}$ ) overeenkwamen met die, welke volgens de gemeten ammoniakconcentraties moeten optreden. Voor het eerste meetpunt, bijvoorbeeld, geldt:

$$\phi_{wand} C_{w_1} + \phi_d C_{d_1} + \phi l N_{g_1} = \phi_{NH_3} \quad \text{en}$$

$$\phi_{wand} + \phi_d = \phi_w.$$

(Alle symbolen staan vermeld in een aparte lijst.)

Uit deze twee vergelijkingen zijn  $\phi_{wand}$  en  $\phi_d$  te berekenen. Het debiet dat aldus voor meetpunt 1 berekend werd ( $\phi_{d_a}$  genoemd) en het debiet voor de meetpunten 2 en 4 ( $\phi_{d_c}$  en  $\phi_{d_b}$  respectievelijk) zijn tesamen met de door Zijlker gevonden debieten ( $\phi_{d_a}$ ) in tabel VI bij elkaar gegroepeerd.

Ter verdere controle werd nu het berekende disperse debiet,  $\phi_{d_b}$  ingevuld in de stofbalans voor de meetpunten 2 en 4 (i.p.v.  $\phi_{d_c}$  en  $\phi_{d_d}$ ) en uit de stofbalans werd nu  $\phi_{NH_3}$  berekend. De percentuele verschillen welke aldus ontstonden, tussen het gemeten en berekende ammoniakdebiet, staan als Fout 1 en 2, respectievelijk voor het 2<sup>o</sup> en 4<sup>o</sup> meetpunt, in tabel VI vermeld. De opgetreden fouten moeten slechts gezien worden als een illustratie voor het feit, dat de meetpunten 2 en 4 door het geringe verschil tussen  $C_w$  en  $C_d$  ongeschikt zijn voor de berekening van het disperse waterdebiet. Wel geven zij aan, dat de gasconcentraties juist zijn gemeten, omdat anders deze balans niet zou kloppen.

In tabel VI staan al deze gegevens weer vermeld met hun serienummer en het lucht- en waterdebiet daarbij.

Een beantwoording van de vraag of de concentratiemetingen voor de disperse phase juist zijn, wordt door deze stofbalans-resultaten niet gegeven.

Hoe groot het disperse waterdebiet is blijft dus onbekend.

## 6. Stofoverdrachtsberekeningen<sup>\*</sup>

### A. Berekening van $K_{gd} A_d$

Volgens een stofbalans is het uit de lucht aan het water overgedragen aantal gmolen  $NH_3$  gelijk aan de toename van het aantal gmol  $NH_3$  in

---

\* De betekenis van de gebruikte symbolen staat apart vermeld in de symbolenlijst.

de wandvloeistof, vermeerderd met de toename van het aantal gmol  $\text{NH}_3$  in de disperse vloeistof.

Over een klein deel van de stromingsbuis,  $dx$ , geldt dus:

$$\phi_L d N_g + \phi_d d C_d + \phi_{wand} d C_w = 0 \dots \dots \dots (1)$$

Voor de overdracht geldt voorts:

$$-\phi_L \frac{d N_g}{dx} = K_{gd} A_d (C_g - C_d^*) + K_{gw} A_w (C_g - C_w^*) \dots \dots \dots (2)$$

en voor de disperse phase apart geldt nog:

$$\phi_d \frac{d C_d}{dx} = K_{gd} A_d (C_g - C_d^*) - K_{dw} A_w (C_d - C_w) \dots \dots \dots (3)$$

Vergelijking (2) drukt dus uit, dat de hoeveelheid ammoniak (in gmolen/sec) welke uit de lucht aan het water wordt overgedragen, voor één deel, groot  $K_{gd} A_d (C_g - C_d^*)$ , door de disperse vloeistof wordt opgenomen en het andere deel, groot  $K_{gw} A_w (C_g - C_w^*)$  door de wandvloeistof.

Vergelijking (3) toont hoe de vermeerdering van het aantal gmolen in de disperse vloeistof voortkomt uit het door overdracht ontvangen deel,  $\{ K_{gd} A_d (C_g - C_d^*) \}$ , verminderd met het door uitwisseling aan de wandvloeistof afgestane deel  $\{ K_{dw} A_w (C_d - C_w) \}$ . Is de laatste term dus groter dan zal de concentratie van de disperse vloeistof dalen.

Geldt nu, dat  $K_{gd} A_d \gg K_{gw} A_w$ , dan kan voor een bepaald meetpunt in de stromingsbuis de volgende vergelijking (4) opgesteld worden:

$$-\phi_L \frac{d N_g}{dx} = K_{gd} A_d (C_g - C_d^*) \dots \dots \dots (4)$$

Volgens Henry geldt tevens voor  $C_d^*$ :

$$C_d^* = H C_d \dots \dots \dots (5)$$

Uit literatuurgegevens (Litt. 2 en 3), welke de partiële drukken geven boven ammoniakale oplossingen, werd  $H$  berekend ( $= 0,31 \cdot 10^{-3}$ ), waarbij beide concentraties uitgedrukt werden in  $\text{gmol/m}^3$ .

\* De betekenis van de gebruikte symbolen staat apart vermeld in de symbolenlijst.

Uit vergelijking (4) werd nu, na eerst  $\frac{dN}{dx}$  grafisch bepaald te hebben ( $\frac{dN}{dx}$  is de helling van de gasconcentratielijne)  $K_{gd} A_d$  berekend. De daarbij gevonden waarden worden getoond in tabel IX en grafiek XXI.

Daarbij blijkt, dat bij een waterdebiet van  $22,4 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3/\text{sec}$   $K_{gd} A_d$  zo goed als constant wordt bij hogere luchtdebieten, en dat in het algemeen bij grotere lucht- of waterdebieten  $K_{gd} A_d$  toeneemt. Dat hogere luchtsnelheden een toename van  $K_{gd} A_d$  geven was te verwachten, omdat  $K_{gd}$  toeneemt en ditzelfde ook geldt voor  $A_d$ , dank zij de verdere verstuuving van de disperse druppels in kleinere, waardoor het totaal oppervlak  $A_d$  toeneemt en door de eventuele vergroting van het deel van het water dat als disperse phase wordt getransporteerd.

Om deze laatste reden is ook te verwachten dat  $A_d$  zal toenemen bij grotere waterdebieten.

Naast deze ruwe specificaties kan bij gebrek aan voldoende gegevens hierover niet meer verteld worden.

#### B. De berekening van KA

Het systeem kan ook in zijn geheel beschouwd worden. Het is namelijk mogelijk om een (hypothetische) vergelijking op te stellen als:

$$NH_3 = KA \cdot \left( \frac{(C_{g1} - C_{m1}^*) - (C_{g2} - C_{m2}^*)}{\ln \left( \frac{C_{g1} - C_{m1}^*}{C_{g2} - C_{m2}^*} \right)} \right) \dots \dots \dots (6)$$

In vergelijking (6) stelt  $NH_3$  de in totaal tussen de meetpunten 1 en 2 overgedragen hoeveelheid ammoniak voor per seconde. De vergelijking is dus analoog aan die voor warmtewisselaars.

Doordat de gemiddelde evenwichtsconcentraties ( $C_m^*$ ) geen fysieke grondslag bezitten, en ditzelfde dus ook geldt voor de veronderstelde drijvende krachten, heeft deze beschouwing slechts een praktische betekenis. Men kan ermee nagaan in hoeverre deze absorptiebuis als zodanig voldoet.

De voor KA berekende waarden staan in tabel IV, terwijl grafiek XX toont hoe KA varieert met de water- en luchtdebieten. Daaruit blijkt, dat een vergroting van deze debieten ook een sterke vergroting geeft van KA. De redenen hiervoor zijn dezelfde als in het geval van  $K_{gd} A_d$ .

Wel is de rol van het waterdebiet dubbelzinniger, omdat een groter waterdebiet tevens de drijvende kracht vergroot door de verlaging van  $C_m$  en aangezien de drijvende kracht in deze vergelijking geen juiste fysische definiëring heeft gekregen, speelt het waterdebiet dus ook mee in de grootte van KA.

De krommen van grafiek XX blijken, geometrisch gezien althans, een "beter" verloop te hebben dan die voor  $K_{gd} A_d$  in grafiek XXI, waarmee dus niet gezegd wil worden dat de betekenis hiervan duidelijk is.

Doordat er te weinig gegevens beschikbaar zijn kan men er slechts uit concluderen, dat de absorptie toeneemt bij grotere lucht- en waterdebieten.

## 7. Conclusies

1. In het ringstromingsgebied van tweefasen stroming verloopt de absorptie van ammoniak door water uit een mengsel van lucht en ammoniak snel en neemt bij verhoging van de lucht- en waterdebieten nog verder toe.

2. Voor berekeningen moest het gebied vlak achter het toevoerbuisje voor ammoniak vervallen, doordat het gas door inhomogeen is en het buisje voorts verstoring van de ringstroming geeft, met name van de verdeling van het waterdebiet over disperse en wandvloeistof.

Daarom verdient een vooraf mengen van de ammoniak in de lucht de voorkeur en zal men er beter aan doen het instromingsstuk dan op de koop toe te nemen.

3. De vraag of de gemeten disperse vloeistofconcentraties juist zijn kan niet met zekerheid beantwoord worden.

Eenzijds mag men verwachten, dat ze representatief zijn voor de heersende concentraties, aangezien ze in triplo gemeten werden en daarbij, hoewel de monsters met verschillende snelheden afgetapt werden, toch dezelfde concentraties gaven ( $\pm 2\%$ ).

Bij verschillende aftapsnelheden immers, zou het extra-concentraat, zo dit optreedt, aanleiding moeten geven tot een veel hogere ammoniakconcentratie voor het langzaamst afgetapte monster, aangezien evenwicht tussen gas en disperse vloeistofconcentraties daar, vooral bij het eerste meetpunt, nog niet is ingesteld.

Anderzijds echter staan de door Zijlker gemeten disperse vloeistofdebieten in sterk contrast met die, welke hier uit concentratiegegevens met een stofbalans berekend werden.

Aangezien andere stofbalansen de overtuiging wekken, dat de gemeten gas en wandvloeistofconcentraties juist zijn, kan men daar slechts uit concluderen, dat de disperse vloeistofconcentraties te hoog zijn uitgevallen.

4. Zijn de gemeten concentraties echter juist dan speelt de disperse vloeistof bij de absorptie een vooraanstaande rol en zou de wandvloeistof een voornaam deel van de ammoniak toegevoerd krijgen via de uitwisseling. Tevens mag dan gesteld worden dat de neiging bestaat van de gas- en disperse vloeistofconcentraties om in evenwicht te raken en dan als een geheel slechts uit te wisselen met de wandvloeistof.

5. Stofoverdrachtsberekeningen toonden aan, dat  $KA$  en  $K_{gd} A_d$  toenemen bij hogere lucht- en waterdebieten.

De waarden van  $K_{gd}$  en  $A_d$  bieden een rommelig beeld, hetgeen veroorzaakt kan zijn door eventueel onjuiste disperse vloeistofconcentraties en de onnauwkeurige grafische bepaling van de helling van de evenwichtslijn ofwel het waterdebiet veroorzaakt deze onoverzichtelijkheid. Dat de waarden voor  $K_{gd}$  en  $A_d$  toenemen bij grotere waterdebieten en constante luchtdebieten is begrijpelijk indien men bedenkt dat het disperse debiet, en het contactoppervlak daarvan vermoedelijk ook, toenemen bij grotere waterdebieten. Vergroting van de luchtsnelheid leidt tot een betere stofoverdrachtscoëfficiënt, tot grotere disperse debieten en tevens tot kleinere druppels, zodat het evident is dat het product  $K_{gd} A_d$  dan ook toeneemt.

De waarden van "KA" zijn dubbelzinnig omdat grotere waterdebieten tot een kleinere gemiddelde concentratie leiden en de onjuist gedefinieerde drijvende krachten dus sterk beïnvloeden.

6. Zolang de disperse waterdebieten en de grootte van de uitwisseling niet bekend zijn zal het mechanisme niet opgehelderd kunnen worden. Beide doelen kunnen verwezenlijkt worden, indien injectie van zoutzuur op een adequate wijze verwezenlijkt kan worden.



Appendix: Ruwe uitwisselingstheorie

A. Uitwisseling en drukval

Druppeltjes welke door de lucht uit de wandvloeistof worden losgemaakt worden door deze lucht tevens op snelheid gebracht.

Stel dat  $N$  druppeltjes/ $m^2$  sec het vloeistofoppervlak aan de wand treffen en dit dus ook verlaten en dat het gemiddeld volume van zo'n druppeltje  $V$  is, terwijl hun gemiddelde snelheid in de lucht  $V_d$  m/sec is.

De wandvloeistofsnelheid is  $V_w$  en de omtrek van de buis  $S$ .

Over een afstand  $dx$  worden dan uit de wandvloeistof losgemaakt  $N S dx$  druppeltjes/sec. Deze vertegenwoordigen een verandering in hoeveelheid van beweging:

$$d \sum m V = N S dx \quad V (V_d - V_w) = - dp \cdot F$$

Er geldt dus:  $\frac{dp}{dx} = - \frac{N S}{F} V (V_d - V_w)$ .

Dit drukverlies komt echter naast het drukverlies te staan, dat normaal optreedt bij een stroming van een gas door een droge buis ( $P_g$ ). De in bovenstaande vergelijking voorkomende  $\frac{dp}{dx}$  is dus gelijk aan de totale drukval over een lengte  $dx$  ( $P$ ) en die welke zou optreden, als lucht door de droge buis een afstand  $dx$  zou afleggen  $P_g$ .

Indien tevens verondersteld wordt, dat de druppeltjes een snelheid bereiken die gelijk is aan de luchtsnelheid, dus dat  $V_D = V$ , dan is uit drukverliesmetingen  $N V$  te berekenen. In tabel VII staan de aldus uit metingen van Zijlker berekende waarden van  $N V$  volgens

$$N V = \frac{P}{L} \cdot \frac{F}{S} \frac{1}{\text{water}} \frac{1}{(V - V_w)}$$

waarbij  $N V$  in  $m^3/m^2$  sec is uitgedrukt.

- $P$  =  $P_{T.P.}$  (drukval bij tweefasen stroming) verminderd met  $P_g$   
(drukval tengevolge van stroming van lucht door droge buis)
- $L$  = lengte waarover de drukval plaats heeft in m ( $L = 2,6$  m)
- $F$  = oppervlak van een dwarsdoorsnede van de buis in  $m^2$
- $\text{water}$  = dichtheid van water,  $kg/m^3$
- $V_L$  = luchtsnelheid in m/sec
- $V_w$  = snelheid van de wandvloeistof in m/sec (gemeten door Zijlker).

Doordat  $\Delta P$  evenredig is met de luchtsnelheid, blijkt  $N V$  zo goed als onafhankelijk te zijn van de luchtsnelheid.

Grafiek XXII demonstreert deze afhankelijkheid naast de rol van het waterdebiet. Een tweemaal groter waterdebiet blijkt de uitwisseling ook ca tweemaal groter te maken.

### B. Uitwisseling en stofoverdracht

De stofoverdracht tengevolge van uitwisseling zal hier bezien worden voor een stof welke niet in de lucht oplost. Zo bijvoorbeeld HCl.

Stel, dat over een lengte  $dx$  van de buis de concentratie aan HCl in de disperse fase door uitwisseling met de wandvloeistof stijgt met een bedrag:  $d C_d$ .

Dit vertegenwoordigt een totale stofoverdracht over de lengte  $dx$  gelijk aan  $\phi_d d C_d$ . Deze stofoverdracht vindt plaats doordat een volume water  $N V S dx$  van de ene fase naar de andere wordt overgedragen over een lengte  $dx$  van de buis. Dit volumetransport veroorzaakt een stoftransport van HCl gelijk aan:

$$N V S dx (C_w - C_d)$$

en dit moet volgens de stofbalans gelijk zijn aan

$$\phi_d d C_d = - \phi_w d C_w.$$

Er geldt dus:

$$\phi_d d C_d = N V S dx (C_w - C_d) = - \phi_w d C_w.$$

Deze vergelijking is gelijk aan een normale stofoverdrachtsvergelijking tussen twee fasen, zodat ook hier, omdat het systeem gesloten is, geschreven mag worden

$$\phi_{HCl} = N V S L \frac{C_o - C_e}{\ln C_o / C_e}.$$

Voor  $N V$  kan ook de grootheid  $K d_w$  geschreven worden.  $S L$  stelt wandoppervlak voor  $= A_w'$ .  $\phi_{HCl}$  de totaal overgedragen hoeveelheid HCl over een lengte van  $x$  meter.

Bovenstaande vergelijking is toegepast op de  $NH_3$ -concentratiegegevens welke verkregen werden bij de metingen. Daarbij is ruwweg aangenomen, dat na meetpunt 2 geen ammoniakoverdracht van de lucht naar het water meer plaats vindt. Tussen meetpunt 2 en 4 heeft dus slechts uitwisseling plaats tussen de disperse en wandvloeistofphase.

Toepassing van de vergelijking voor HCl uitwisseling maakt dan een berekening van NV mogelijk. De op deze ruwe wijze gevonden waarden staan vermeld in tabel VIII. Zij bieden slechts een rommelig beeld.

C. Conclusies:

- 1) De uit drukvalgegevens berekende N V blijkt 5 à 10 maal zo groot als die welke ruwweg uit de ammoniakconcentraties is bepaald, doch omdat met de voortgaande ammoniakoverdracht bij de tweede wijze van berekening geen rekening is gehouden, is een grotere overeenstemming mogelijk.

Voorts steunen de N V berekeningen uit drukvalgegevens op de aanname, dat de druppeltjes zeer snel de snelheid van de lucht bereiken en dat de botsing van de druppeltjes met de wandvloeistof volkomen onelastisch plaats heeft, terwijl bij een derde aanname voor de drukval tengevolge van stroming door een droge buis ( $\Delta P_g$ ), geen door de aanwezigheid van het water vergrote ruwheid in rekening is gebracht. Van deze aannamen geven de eerste twee voor de berekende N V een te lage uitkomst, terwijl de derde aanname een te hoge uitkomst geeft.

- 2) Slechts uitwisselingsgegevens uit proeven met HCl injectie in de wandvloeistof zullen een nadere waardering van de theorie mogelijk maken.

Lijst van gebruikte symbolen

- $N_g$  : luchtconcentratie bij 760 mm Hg en 20°C (gmol/m<sup>3</sup>)
- $C_g$  : luchtconcentratie bij de heersende druk (gmol/m<sup>3</sup>)
- $C_d$  : concentratie van de disperse phase (gmol/m<sup>3</sup>)
- $C_w$  : concentratie van de wandvloeistof (gmol/m<sup>3</sup>)
- $C_m$  : gemiddelde concentratie van alle water (gmol/m<sup>3</sup>)
- $C_d^*$  : concentratie van lucht welke in evenwicht is met water van een concentratie  $C_d$  (gmol/m<sup>3</sup>)
- $C_w^*$  : concentratie van lucht welke in evenwicht is met water van een concentratie  $C_w$  (gmol/m<sup>3</sup>)
- $C_m^*$  : concentratie van lucht in evenwicht met water van een concentratie  $C_m$  (gmol/m<sup>3</sup>)
- H : constante van Henry bij concentraties welke uitgedrukt zijn in gmol/m<sup>3</sup> en bij 10°C
- $\phi_L$  : luchtdebiet bij 760 mm Hg en 20°C (m<sup>3</sup>/sec)
- $\bar{\phi}_L$  : gemiddeld luchtdebiet (m<sup>3</sup>/sec)
- $\phi_w$  : waterdebiet (m<sup>3</sup>/sec)
- $\phi_{wand}$  : wandvloeistofdebiet (m<sup>3</sup>/sec)
- $\phi_d$  : dispers waterdebiet (m<sup>3</sup>/sec)
- $K_{gd}$  : overall stofoverdrachtscoëfficiënt van lucht naar disperse vloeistof (m/sec)
- $K_{gw}$  : overall stofoverdrachtscoëfficiënt van lucht naar wandvloeistof (m/sec)
- $K_{dw}$  : stofoverdrachtscoëfficiënt tussen disperse vloeistof en wandvloeistof door de uitwisseling (m/sec)
- $A_d$  : totale oppervlak van de disperse vloeistof per meter (m<sup>2</sup>/m)
- $A_w$  : totale oppervlak van de wandvloeistof per meter (m<sup>2</sup>/m)
- $A_w'$  : oppervlak van de stromingsbuis per meter (m<sup>2</sup>/m)
- KA : overall grootheid voor het hele systeem: product van stofoverdrachtscoëfficiënt K en oppervlak A (m<sup>2</sup>/sec)
- x : afstand van het punt van NH<sub>3</sub>-toevoer (m)

- N : aantal druppels dat per sec in het oppervlak duikt ( $\frac{1}{m^2 \text{sec}}$ )
- V : gemiddeld volume van de druppels in de disperse phase ( $m^3$ )
- S : omtrek van de stromingsbuis aan de binnenzijde (m)
- $V_d$  : gemiddelde snelheid van de druppels in de disperse phase (m/sec)
- $\bar{V}_w$  : gemiddelde snelheid van de wandvloeistof (m/sec)
- P : druk ( $N/m^2$ , tenzij anders vermeld)
- $\bar{V}$  : gemiddelde snelheid van de lucht (m/sec)
- $\Delta P_{TP}$  : drukval over 2,6 m ( $N/m^2$ ) bij tweefasen stroming
- $\Delta P_g$  : drukval over 2,6 m bij stroming van hetzelfde luchtdebiet door een droge buis ( $N/m^2$ )
- $\Delta P = \Delta P_{TP} - \Delta P_g$  ( $N/m^2$ )
- $D_i$  : inwendige diameter van de stromingsbuis (m)
- L : lengte van een buisdeel (m).

De indices 1, 2, 3 en 4 hebben respectievelijk betrekking op het 1<sup>o</sup> meetpunt ( $x = 0,191$  m), het 2<sup>o</sup> meetpunt ( $x = 0,846$  m), het 3<sup>o</sup> meetpunt ( $x = 1,29$  m) en het 4<sup>o</sup> meetpunt ( $x = 1,65$  m).

Litteratuur

- 1) A.W. Zijlker: Problemen bij tweefasestroming.
- 2) Perman: J. Chem. Soc. (London) 83 (1903) 1168.
- 3) de Wijs: Dissertatie Delft, 1923.
- 4) H. Isbin, R.H. Moen, D.R. Mosher:  
Atomic Energy Commission A.E.C.U. 2994: "Two phase pressure drops".
- 5) J.O. Hinze: Appl. Sci. Res., Vol. A<sub>1</sub>, pag. 273.
- 6) J.O. Hinze: 6<sup>me</sup> Congr. Intern. de la Mécanique Appliquée,  
Paris 22/29 - 9 - 1946, Section II.
- 7) J.O. Hinze: Werkgroep Technologische Stromingsverschijnselen, Oct.1950.
- 8) A.E. Abramson: J. Appl. Mechanics 19 (1952) 267.
- 9) R.C. Martinelli, Y.A. Putnam en R.W. Lockhart:  
Trans. Am. Inst. Chem. Engrs 42 (1946) 681.

Tabel I.  $\text{NH}_3$ -concentratie in de wandvloeistof op de verschillende meetpunten.

	$\phi_w$ $\text{m}^3/\text{sec}$	$\phi_L$ $\text{m}^3/\text{sec}$	$\phi_{\text{NH}_3}$ $\text{gmol}/\text{sec}$	$C_{w1}$ $\frac{\text{gmol}}{\text{m}^3}$	$C_{w2}$ $\frac{\text{gmol}}{\text{m}^3}$	$C_{w3}$ $\frac{\text{gmol}}{\text{m}^3}$	$C_{w4}$ $\frac{\text{gmol}}{\text{m}^3}$
I	$22,4 \cdot 10^{-6}$	$10,6 \cdot 10^{-3}$	$11,74 \cdot 10^{-3}$	91,1	373,2	413,6	427,0
II	$22,4 \cdot 10^{-6}$	$13,8 \cdot 10^{-3}$	$14,62 \cdot 10^{-3}$	101,1	489,8	526,7	530,5
III	$22,4 \cdot 10^{-6}$	$16,6 \cdot 10^{-3}$	$17,58 \cdot 10^{-3}$	114,5	626,9	657,4	645,0
IV	$22,4 \cdot 10^{-6}$	$18,8 \cdot 10^{-3}$	$19,92 \cdot 10^{-3}$	122,6	716,6	747,4	728,9
V	$47,5 \cdot 10^{-6}$	$11,2 \cdot 10^{-3}$	$11,60 \cdot 10^{-3}$	39,6	181,5	202,6	214,5
VI	$47,5 \cdot 10^{-6}$	$13,6 \cdot 10^{-3}$	$14,20 \cdot 10^{-3}$	49,3	233,7	261,4	264,8
VII	$47,5 \cdot 10^{-6}$	$16,5 \cdot 10^{-3}$	$17,49 \cdot 10^{-3}$	52,2	291,4	324,2	329,5
VIII	$76,6 \cdot 10^{-6}$	$11,2 \cdot 10^{-3}$	$11,62 \cdot 10^{-3}$	34,5	120,2	127,7	133,6
IX	$76,6 \cdot 10^{-6}$	$13,4 \cdot 10^{-3}$	$14,21 \cdot 10^{-3}$	30,8	137,2	152,2	155,8

Tabel II.  $\text{NH}_3$ -concentratie in de disperse vloeistof op de verschillende meetpunten.

	$\phi_w$ $\text{m}^3/\text{sec}$	$\phi l_1$ $\text{m}^3/\text{sec}$	$\phi_{\text{NH}_3 1}$ $\text{gmol}/\text{sec}$	$C_{d1}$ $\frac{\text{gmol}}{\text{m}^3}$	$\phi l_2$ $\text{m}^3/\text{sec}$	$\phi_{\text{NH}_3 2}$ $\text{gmol}/\text{sec}$	$C_{d2}$ $\frac{\text{gmol}}{\text{m}^3}$
I	$22,4 \cdot 10^{-6}$	$10,4 \cdot 10^{-3}$	$11,64 \cdot 10^{-3}$	703,9	$10,4 \cdot 10^{-3}$	$11,78 \cdot 10^{-3}$	581,3
II	$22,4 \cdot 10^{-6}$	$13,63 \cdot 10^{-3}$	$13,80 \cdot 10^{-3}$	733,9	$13,63 \cdot 10^{-3}$	$14,00 \cdot 10^{-3}$	632,9
III	$22,4 \cdot 10^{-6}$	$16,6 \cdot 10^{-3}$	$17,08 \cdot 10^{-3}$	764,0	$16,6 \cdot 10^{-3}$	$17,00 \cdot 10^{-3}$	716,4
IV	$22,4 \cdot 10^{-6}$	$19,3 \cdot 10^{-3}$	$19,77 \cdot 10^{-3}$	760,0	$19,16 \cdot 10^{-3}$	$19,84 \cdot 10^{-3}$	796,5
V	$47,5 \cdot 10^{-6}$	$11,2 \cdot 10^{-3}$	$11,50 \cdot 10^{-3}$	579,2	$11,2 \cdot 10^{-3}$	$11,65 \cdot 10^{-3}$	377,5
VI	$47,5 \cdot 10^{-6}$	$13,63 \cdot 10^{-3}$	$14,00 \cdot 10^{-3}$	608,3	$13,63 \cdot 10^{-3}$	$14,25 \cdot 10^{-3}$	446,5
VII	$47,5 \cdot 10^{-6}$	$16,3 \cdot 10^{-3}$	$17,53 \cdot 10^{-3}$	623,5	$16,50 \cdot 10^{-3}$	$17,32 \cdot 10^{-3}$	505,7
VIII	$76,6 \cdot 10^{-6}$	$11,3 \cdot 10^{-3}$	$11,66 \cdot 10^{-3}$	522,7	$11,20 \cdot 10^{-3}$	$11,71 \cdot 10^{-3}$	296,1
IX	$76,6 \cdot 10^{-6}$	$13,5 \cdot 10^{-3}$	$14,34 \cdot 10^{-3}$	567,6	$13,53 \cdot 10^{-3}$	$14,23 \cdot 10^{-3}$	357,5

Tabel III.  $\text{NH}_3$ -concentraties in de lucht bij  $P = 760 \text{ mm}$  en  $T = 20^\circ \text{C}$ .

	$\phi_w$ $\text{m}^3/\text{sec}$	$N_{g1}$ $\frac{\text{gmol}}{\text{m}^3}$	$\phi l_1$ $\text{m}^3/\text{sec}$	$\phi_{\text{NH}_3 1}$ $\text{gmol}/\text{sec}$	$N_{g2}$ $\frac{\text{gmol}}{\text{m}^3}$	$\phi l_2$ $\text{m}^3/\text{sec}$	$\phi_{\text{NH}_3 2}$ $\text{gmol}/\text{sec}$
I	$22,4 \cdot 10^{-6}$	0,8146	$10,4 \cdot 10^{-3}$	$11,72 \cdot 10^{-3}$	0,2754	$10,4 \cdot 10^{-3}$	$11,76 \cdot 10^{-3}$
II	$22,4 \cdot 10^{-6}$	0,7456	$13,7 \cdot 10^{-3}$	$13,67 \cdot 10^{-3}$	0,2466	$13,63 \cdot 10^{-3}$	$13,72 \cdot 10^{-3}$
III	$22,4 \cdot 10^{-6}$	0,8012	$16,66 \cdot 10^{-3}$	$17,1 \cdot 10^{-3}$	0,2721	$16,6 \cdot 10^{-3}$	$17,19 \cdot 10^{-3}$
IV	$22,4 \cdot 10^{-6}$	0,8474	$19,3 \cdot 10^{-3}$	$20,10 \cdot 10^{-3}$	0,2816	$19,2 \cdot 10^{-3}$	$19,93 \cdot 10^{-3}$
V	$47,5 \cdot 10^{-6}$	0,4499	$11,2 \cdot 10^{-3}$	$11,59 \cdot 10^{-3}$	0,1192	$11,2 \cdot 10^{-3}$	$11,63 \cdot 10^{-3}$
VI	$47,5 \cdot 10^{-6}$	0,5212	$13,63 \cdot 10^{-3}$	$14,14 \cdot 10^{-3}$	0,1284	$13,7 \cdot 10^{-3}$	$14,16 \cdot 10^{-3}$
VII	$47,5 \cdot 10^{-6}$	0,5861	$16,5 \cdot 10^{-3}$	$17,11 \cdot 10^{-3}$	0,1381	$16,5 \cdot 10^{-3}$	$17,31 \cdot 10^{-3}$
VIII	$76,6 \cdot 10^{-6}$	0,3420	$11,2 \cdot 10^{-3}$	$11,48 \cdot 10^{-3}$	0,0714	$11,2 \cdot 10^{-3}$	$11,56 \cdot 10^{-3}$
IX	$76,6 \cdot 10^{-6}$	0,4381	$13,63 \cdot 10^{-3}$	$14,28 \cdot 10^{-3}$	0,0808	$13,63 \cdot 10^{-3}$	$14,30 \cdot 10^{-3}$



$\phi_{4}$ $\frac{m^3}{sec}$	$\phi_{NH_3_4}$ gmol/sec	$C_{d_4}$ $\frac{gmol}{m^3}$
10,4 $10^{-3}$	11,81 $10^{-3}$	496,1
13,63 $10^{-3}$	14,00 $10^{-3}$	549,2
16,60 $10^{-3}$	17,29 $10^{-3}$	651,4
19,3 $10^{-3}$	20,13 $10^{-3}$	738,0
11,2 $10^{-3}$	11,57 $10^{-3}$	264,6
13,7 $10^{-3}$	14,28 $10^{-3}$	311,7
16,6 $10^{-3}$	17,33 $10^{-3}$	381,6
11,2 $10^{-3}$	11,76 $10^{-3}$	159,7
13,5 $10^{-3}$	14,45 $10^{-3}$	234,4

$N_{g_3}$ $\frac{gmol}{m^3}$	$\phi_3$ $\frac{m^3}{sec}$	$\phi_{NH_3_3}$ gmol/sec	$N_{g_4}$ $\frac{gmol}{m^3}$	$\phi_4$ $\frac{m^3}{sec}$	$\phi_{NH_3_4}$ gmol/sec
0,1906	10,4 $10^{-3}$	11,78 $10^{-3}$	0,1814	10,4 $10^{-3}$	11,72 $10^{-3}$
0,1937	13,7 $10^{-3}$	13,73 $10^{-3}$	0,1818	13,7 $10^{-3}$	13,75 $10^{-3}$
0,2191	16,66 $10^{-3}$	17,22 $10^{-3}$	0,2091	16,7 $10^{-3}$	17,23 $10^{-3}$
0,2412	19,30 $10^{-3}$	20,01 $10^{-3}$	0,2332	19,3 $10^{-3}$	20,26 $10^{-3}$
0,0838	11,20 $10^{-3}$	11,60 $10^{-3}$	0,0765	11,2 $10^{-3}$	11,72 $10^{-3}$
0,0957	13,63 $10^{-3}$	14,10 $10^{-3}$	0,0900	13,6 $10^{-3}$	14,23 $10^{-3}$
0,1077	16,63 $10^{-3}$	17,29 $10^{-3}$	0,1034	16,6 $10^{-3}$	17,37 $10^{-3}$
0,0505	11,20 $10^{-3}$	11,50 $10^{-3}$	0,0476	11,2 $10^{-3}$	11,67 $10^{-3}$
0,0558	13,63 $10^{-3}$	14,37 $10^{-3}$	0,0571	13,6 $10^{-3}$	14,49 $10^{-3}$

Tabel IV. De gemiddelde  $\text{NH}_3$ -concentraties van het water berekend met een stofbalans en de berekende KA-waarden.

	$\phi_w$ $\text{m}^3/\text{sec}$	$\phi_L$ $\text{m}^3/\text{sec}$	$\phi_{\text{NH}_3}$ $\text{gmol}/\text{sec}$	$C_{m1}$ $\frac{\text{gmol}}{\text{m}^3}$	$C_{m2}$ $\frac{\text{gmol}}{\text{m}^3}$	$C_{m3}$ $\frac{\text{gmol}}{\text{m}^3}$	$C_{m4}$ $\frac{\text{gmol}}{\text{m}^3}$	KA $\text{m}^2/\text{sec}$
I	$22,4 \cdot 10^{-6}$	$10,4 \cdot 10^{-3}$	$11,72 \cdot 10^{-3}$	144,9	396,3	437,4	440,0	$19,5 \cdot 10^{-3}$
II	$22,4 \cdot 10^{-6}$	$13,7 \cdot 10^{-3}$	$13,67 \cdot 10^{-3}$	154,2	460,2	494,5	499,0	$26,7 \cdot 10^{-3}$
III	$22,4 \cdot 10^{-6}$	$16,66 \cdot 10^{-3}$	$17,09 \cdot 10^{-3}$	167,1	561,3	605,6	607,1	$31,1 \cdot 10^{-3}$
IV	$22,4 \cdot 10^{-6}$	$19,30 \cdot 10^{-3}$	$20,10 \cdot 10^{-3}$	167,2	648,3	685,1	696,5	$35,9 \cdot 10^{-3}$
V	$47,5 \cdot 10^{-6}$	$11,20 \cdot 10^{-3}$	$11,59 \cdot 10^{-3}$	137,9	216,1	224,4	226,2	$22,9 \cdot 10^{-3}$
VI	$47,5 \cdot 10^{-6}$	$13,63 \cdot 10^{-3}$	$14,14 \cdot 10^{-3}$	148,1	261,9	269,4	273,2	$30,4 \cdot 10^{-3}$
VII	$47,5 \cdot 10^{-6}$	$16,50 \cdot 10^{-3}$	$17,11 \cdot 10^{-3}$	156,7	316,5	326,3	329,7	$37,5 \cdot 10^{-3}$
VIII	$76,6 \cdot 10^{-6}$	$11,20 \cdot 10^{-3}$	$11,48 \cdot 10^{-3}$	99,9	140,5	142,7	145,4	$26,7 \cdot 10^{-3}$
IX	$76,6 \cdot 10^{-6}$	$13,63 \cdot 10^{-3}$	$14,28 \cdot 10^{-3}$	108,5	172,3	177,0	179,2	$32,5 \cdot 10^{-3}$

Tabel V. De drukken op de verschillende meetplaatsen.

	$\phi_w$ $\text{m}^3/\text{sec}$	$\phi_L$ $\text{m}^3/\text{sec}$	$\phi_{\text{NH}_3}$ $\text{m}^3/\text{sec}$	$P_1$ mm Hg.	$P_2$ mm Hg	$P_3$ mm Hg	$P_4$ mm Hg
I	$22,4 \cdot 10^{-6}$	$10,4 \cdot 10^{-3}$	$11,72 \cdot 10^{-3}$	883	853	857	814
II	$22,4 \cdot 10^{-6}$	$13,7 \cdot 10^{-3}$	$13,67 \cdot 10^{-3}$	926	900	865	840
III	$22,4 \cdot 10^{-6}$	$16,66 \cdot 10^{-3}$	$17,09 \cdot 10^{-3}$	964	939	894	863
IV	$22,4 \cdot 10^{-6}$	$19,3 \cdot 10^{-3}$	$20,10 \cdot 10^{-3}$	1010	977	919	898
V	$47,5 \cdot 10^{-6}$	$11,2 \cdot 10^{-3}$	$11,59 \cdot 10^{-3}$	969	933	887	878
VI	$47,5 \cdot 10^{-6}$	$13,63 \cdot 10^{-3}$	$14,14 \cdot 10^{-3}$	1026	973	925	909
VII	$47,5 \cdot 10^{-6}$	$16,5 \cdot 10^{-3}$	$17,11 \cdot 10^{-3}$	1081	993	964	942
VIII	$76,6 \cdot 10^{-6}$	$11,2 \cdot 10^{-3}$	$11,48 \cdot 10^{-3}$	1050	993	946	929
IX	$76,6 \cdot 10^{-6}$	$13,63 \cdot 10^{-3}$	$14,28 \cdot 10^{-3}$	1118	1065	992	972

Tabel VI. De berekende waarden voor het disperse vloeistofdebiet ( $\phi_{d_b}$ ,  $\phi_{d_c}$  en  $\phi_{d_d}$ ) en de door Zijlker gemeten waarden ( $\phi_{d_a}$ )

	$\phi_{d_a}$ m <sup>3</sup> /sec	$\phi_{d_b}$ m <sup>3</sup> /sec	$\phi_{d_c}$ m <sup>3</sup> /sec	$\phi_{d_d}$ m <sup>3</sup> /sec	Fout 2 %	Fout 4 %	$\phi_w$ m <sup>3</sup> /sec	$\phi_L$ m <sup>3</sup> /sec
I	5,0 10 <sup>-6</sup>	1,97 10 <sup>-6</sup>	2,48 10 <sup>-6</sup>	4,9 10 <sup>-6</sup>	-1	-1,5	22,4 10 <sup>-6</sup>	10,4 10 <sup>-3</sup>
II	8,6 10 <sup>-6</sup>	1,88 10 <sup>-6</sup>	1,73 10 <sup>-6</sup>	13,2 10 <sup>-6</sup>	-0,1	-1,5	22,4 10 <sup>-6</sup>	13,7 10 <sup>-3</sup>
III	10,4 10 <sup>-6</sup>	1,81 10 <sup>-6</sup>	11,4 10 <sup>-6</sup>	---	+0,8	+2	22,4 10 <sup>-6</sup>	16,7 10 <sup>-3</sup>
IV	11,6 10 <sup>-6</sup>	1,57 10 <sup>-6</sup>	---	1,03 10 <sup>-6</sup>	+8	+4,5	22,4 10 <sup>-6</sup>	19,3 10 <sup>-3</sup>
V	15,6 10 <sup>-6</sup>	8,65 10 <sup>-6</sup>	8,44 10 <sup>-6</sup>	11,0 10 <sup>-6</sup>	+0,5	-1	47,5 10 <sup>-6</sup>	11,2 10 <sup>-3</sup>
VI	22,1 10 <sup>-6</sup>	8,37 10 <sup>-6</sup>	6,3 10 <sup>-6</sup>	8,47 10 <sup>-6</sup>	+3	0	47,5 10 <sup>-6</sup>	13,65 10 <sup>-3</sup>
VII	27,6 10 <sup>-6</sup>	9,02 10 <sup>-6</sup>	6,16 10 <sup>-6</sup>	1,2 10 <sup>-6</sup>	+3,5	+2,5	47,5 10 <sup>-6</sup>	16,5 10 <sup>-3</sup>
VIII	29,6 10 <sup>-6</sup>	10,54 10 <sup>-6</sup>	9,18 10 <sup>-6</sup>	33,5 10 <sup>-6</sup>	+2,5	-5	76,6 10 <sup>-6</sup>	11,2 10 <sup>-3</sup>
IX	38,2 10 <sup>-6</sup>	11,1 10 <sup>-6</sup>	12,1 10 <sup>-6</sup>	20,1 10 <sup>-6</sup>	-1,5	-3	76,6 10 <sup>-6</sup>	13,63 10 <sup>-3</sup>

Tabel IX. De voor  $K_{gd} A_d$  berekende waarden.

	$\phi_w$ m <sup>3</sup> /sec	$\phi_L$ m <sup>3</sup> /sec	$\phi_{NH_3}$ gmol/sec	$K_{gd} A_d$ m <sup>2</sup> /sec
I	22,4 10 <sup>-6</sup>	10,4 10 <sup>-3</sup>	11,72 10 <sup>-3</sup>	15,9 10 <sup>-3</sup>
II	22,4 10 <sup>-6</sup>	13,7 10 <sup>-3</sup>	13,67 10 <sup>-3</sup>	24,1 10 <sup>-3</sup>
III	22,4 10 <sup>-6</sup>	16,6 10 <sup>-3</sup>	17,09 10 <sup>-3</sup>	25,8 10 <sup>-3</sup>
IV	22,4 10 <sup>-6</sup>	19,3 10 <sup>-3</sup>	20,10 10 <sup>-3</sup>	28,4 10 <sup>-3</sup>
V	47,5 10 <sup>-6</sup>	11,2 10 <sup>-3</sup>	11,59 10 <sup>-3</sup>	24,7 10 <sup>-3</sup>
VI	47,5 10 <sup>-6</sup>	13,6 10 <sup>-3</sup>	14,14 10 <sup>-3</sup>	31,8 10 <sup>-3</sup>
VII	47,5 10 <sup>-6</sup>	16,5 10 <sup>-3</sup>	17,11 10 <sup>-3</sup>	43,2 10 <sup>-3</sup>
VIII	76,6 10 <sup>-6</sup>	11,2 10 <sup>-3</sup>	11,48 10 <sup>-3</sup>	37,0 10 <sup>-3</sup>
IX	76,6 10 <sup>-6</sup>	13,63 10 <sup>-3</sup>	14,28 10 <sup>-3</sup>	36,4 10 <sup>-3</sup>

Tabel VII.  $N V$  (berekend uit drukkvalgegevens van Zijlker volgens

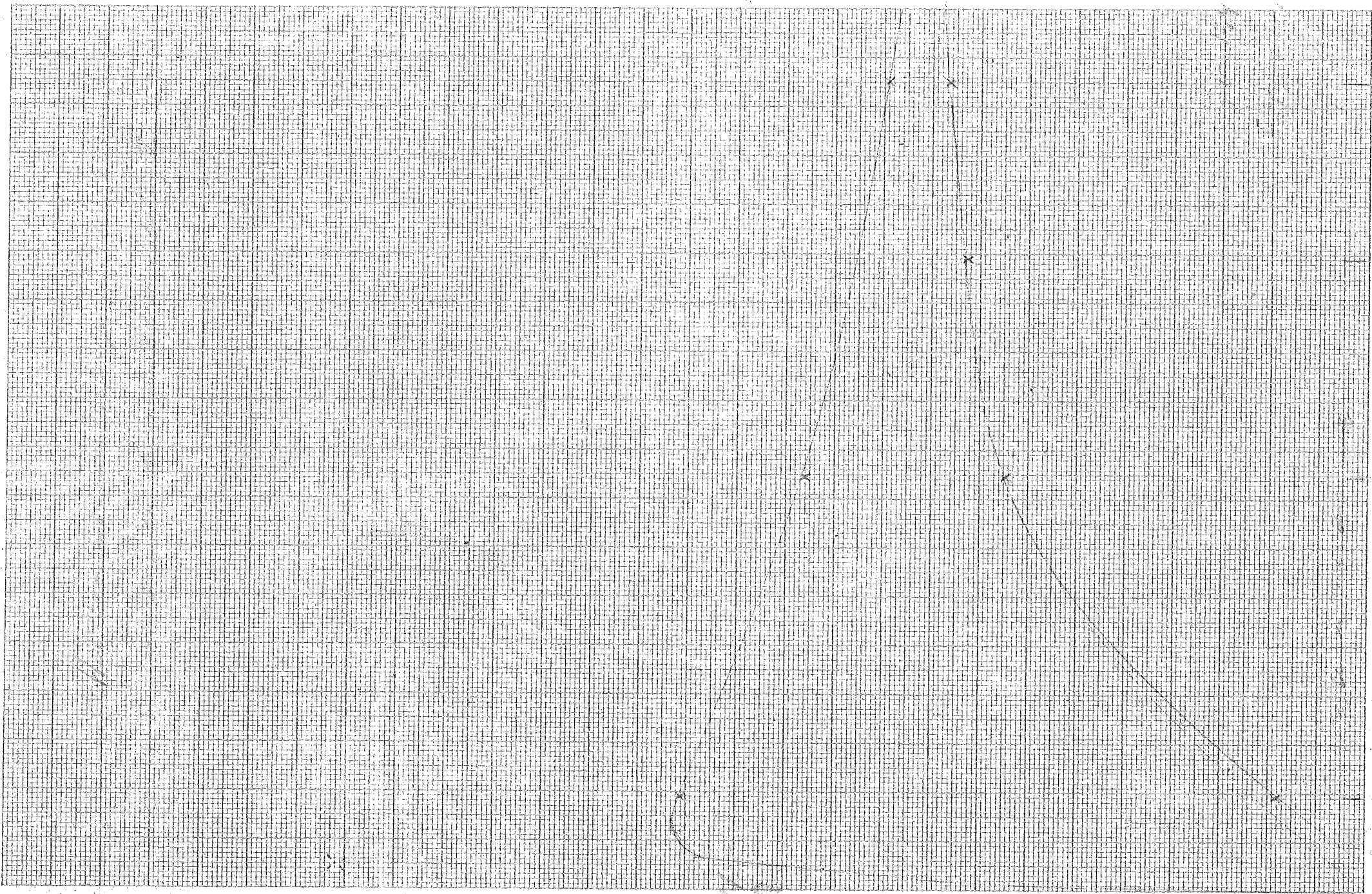
$$N V = \frac{\Delta P}{L} \frac{F}{S} \frac{1}{w} \frac{1}{(\bar{V} - V_w)}$$

$\Delta P = \Delta P_{TP} - \Delta P_g$ in $N/m^2$	$\phi_L$ $m^3/sec$	$\bar{\phi}_L$ $m^3/sec$	$\bar{V}_w$	$\phi_w$ $m^3/sec$	$N V$ $m^3/m^2 sec$
103,2	$10^{-3}$	$10^{-3}$			
130,6	$10^{-3}$	$10^{-3}$			
145,0	$10^{-3}$	$10^{-3}$			
159,8	$10^{-3}$	$10^{-3}$			
179,0	$10^{-3}$	$10^{-3}$			
203,0	$10^{-3}$	$10^{-3}$			
228,0	$10^{-3}$	$10^{-3}$			
252,7	$10^{-3}$	$10^{-3}$			
294,2	$10^{-3}$	$10^{-3}$			
235	$10^{-2}$	$10^{-3}$			
267,9	$10^{-2}$	$10^{-3}$			
297,4	$10^{-2}$	$10^{-3}$			
321	$10^{-2}$	$10^{-3}$			
342	$10^{-2}$	$10^{-3}$			
368,7	$10^{-2}$	$10^{-3}$			
395	$10^{-2}$	$10^{-3}$			
411,7	$10^{-2}$	$10^{-3}$			
434,1	$10^{-2}$	$10^{-3}$			
460,3	$10^{-2}$	$10^{-3}$			
491	$10^{-2}$	$10^{-3}$			
202,2	$10^{-2}$	$10^{-3}$			
247	$10^{-2}$	$10^{-3}$			
293	$10^{-2}$	$10^{-3}$			
341	$10^{-2}$	$10^{-3}$			
418	$10^{-2}$	$10^{-3}$			
500	$10^{-2}$	$10^{-3}$			
584	$10^{-2}$	$10^{-3}$			
8,38	$10^{-3}$	$10^{-3}$			
10,03	$10^{-3}$	$10^{-3}$			
11,32	$10^{-3}$	$10^{-3}$			
12,06	$10^{-3}$	$10^{-3}$			
13,56	$10^{-3}$	$10^{-3}$			
15,57	$10^{-3}$	$10^{-3}$			
17,55	$10^{-3}$	$10^{-3}$			
19,77	$10^{-3}$	$10^{-3}$			
23,26	$10^{-3}$	$10^{-3}$			
9,94	$10^{-3}$	$10^{-3}$			
11,08	$10^{-3}$	$10^{-3}$			
11,94	$10^{-3}$	$10^{-3}$			
13,35	$10^{-3}$	$10^{-3}$			
14,15	$10^{-3}$	$10^{-3}$			
15,02	$10^{-3}$	$10^{-3}$			
15,98	$10^{-3}$	$10^{-3}$			
16,71	$10^{-3}$	$10^{-3}$			
17,48	$10^{-3}$	$10^{-3}$			
18,48	$10^{-3}$	$10^{-3}$			
20,58	$10^{-3}$	$10^{-3}$			
7,01	$10^{-3}$	$10^{-3}$			
8,18	$10^{-3}$	$10^{-3}$			
9,51	$10^{-3}$	$10^{-3}$			
10,92	$10^{-3}$	$10^{-3}$			
13,25	$10^{-3}$	$10^{-3}$			
15,47	$10^{-3}$	$10^{-3}$			
17,74	$10^{-3}$	$10^{-3}$			
4,5 % van $\bar{V}$					
6,7 % van $\bar{V}$					
8 % van $\bar{V}$					
25	$10^{-6}$				
50	$10^{-6}$				
75	$10^{-6}$				
489	$10^{-6}$				
524	$10^{-6}$				
518	$10^{-6}$				
559	$10^{-6}$				
563	$10^{-6}$				
568	$10^{-6}$				
569	$10^{-6}$				
566	$10^{-6}$				
574	$10^{-6}$				
940	$10^{-6}$				
960	$10^{-6}$				
990	$10^{-6}$				
956	$10^{-6}$				
961	$10^{-6}$				
976	$10^{-6}$				
982	$10^{-6}$				
979	$10^{-6}$				
987	$10^{-6}$				
990	$10^{-6}$				
948	$10^{-6}$				
1165	$10^{-6}$				
1219	$10^{-6}$				
1244	$10^{-6}$				
1260	$10^{-6}$				
1273	$10^{-6}$				
1304	$10^{-6}$				
1328	$10^{-6}$				

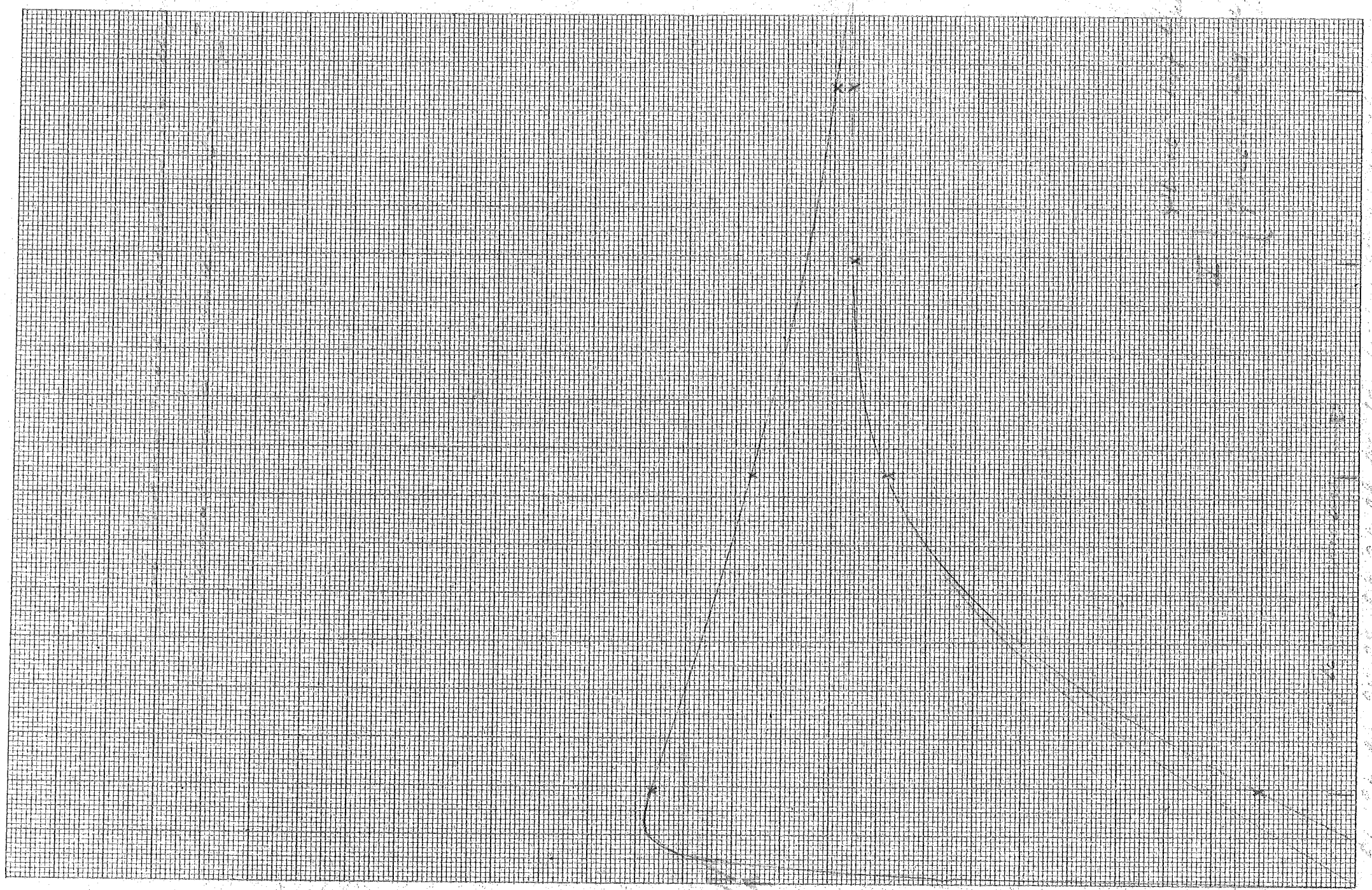
Tabel VIII.  $N V$  berekend uit eigen gegevens m.b.v.

$$N V = \frac{\phi_{wand} C_w}{\bar{u} D_i L} \frac{\ln C_o / C_l}{C_o - C_l}$$

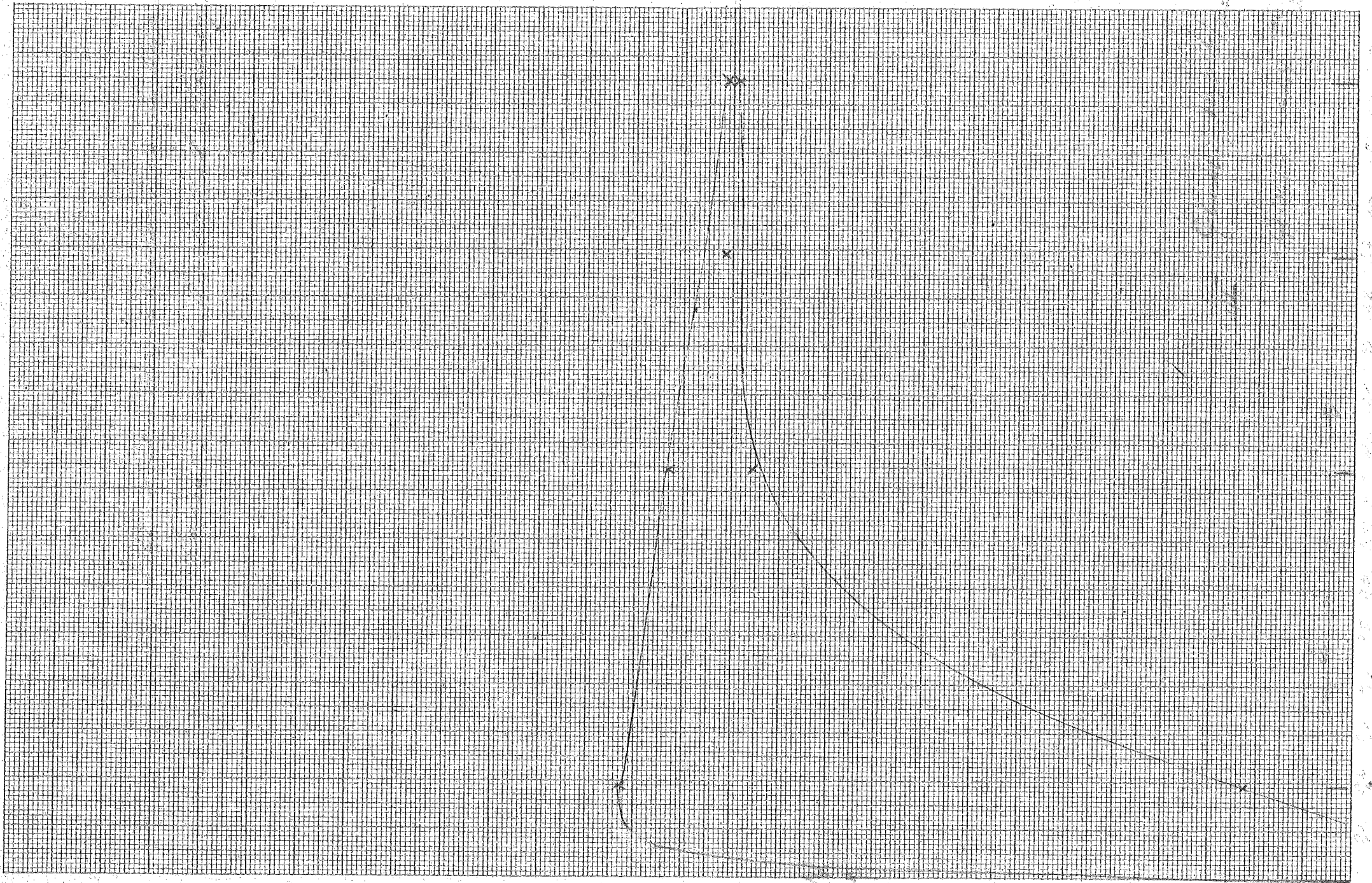
	$\phi_w$ m <sup>3</sup> /sec	$\phi_l$ m <sup>3</sup> /sec	$\phi_{wand}$ m <sup>3</sup> /sec	$C_w$ gmol m <sup>3</sup>	$C_o$ gmol m <sup>3</sup>	$C_l$ gmol m <sup>3</sup>	$\bar{u} D_i L$ m <sup>2</sup>	$N V$ m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> sec
I	22,4 10 <sup>-6</sup>	10,4 10 <sup>-3</sup>	17,4 10 <sup>-6</sup>	53,8	208,1	69,1		174 10 <sup>-6</sup>
II	22,4 10 <sup>-6</sup>	13,7 10 <sup>-3</sup>	13,8 10 <sup>-6</sup>	40,7	143,1	18,7		247 10 <sup>-6</sup>
III	22,4 10 <sup>-6</sup>	16,6 10 <sup>-3</sup>	12,0 10 <sup>-6</sup>	18,1	89,5	6,4	4,3 10 <sup>-2</sup>	160,5 10 <sup>-6</sup>
IV	22,4 10 <sup>-6</sup>	19,3 10 <sup>-3</sup>	10,8 10 <sup>-6</sup>	12,3	79,9	9,1		94,9 10 <sup>-6</sup>
V	47,5 10 <sup>-6</sup>	11,2 10 <sup>-3</sup>	31,9 10 <sup>-6</sup>	33,0	196,0	50,1		229 10 <sup>-6</sup>
VI	47,5 10 <sup>-6</sup>	13,6 10 <sup>-3</sup>	25,4 10 <sup>-6</sup>	31,1	212,8	46,9		167,6 10 <sup>-6</sup>
VII	47,5 10 <sup>-6</sup>	16,5 10 <sup>-3</sup>	20,0 10 <sup>-6</sup>	38,1	214,3	52,1		154,6 10 <sup>-6</sup>
VIII	76,6 10 <sup>-6</sup>	11,2 10 <sup>-3</sup>	47,0 10 <sup>-6</sup>	13,4	175,9	26,1		186,7 10 <sup>-6</sup>
IX	76,6 10 <sup>-6</sup>	13,63 10 <sup>-3</sup>	38,4 10 <sup>-6</sup>	18,6	220,3	78,6		120,9 10 <sup>-6</sup>





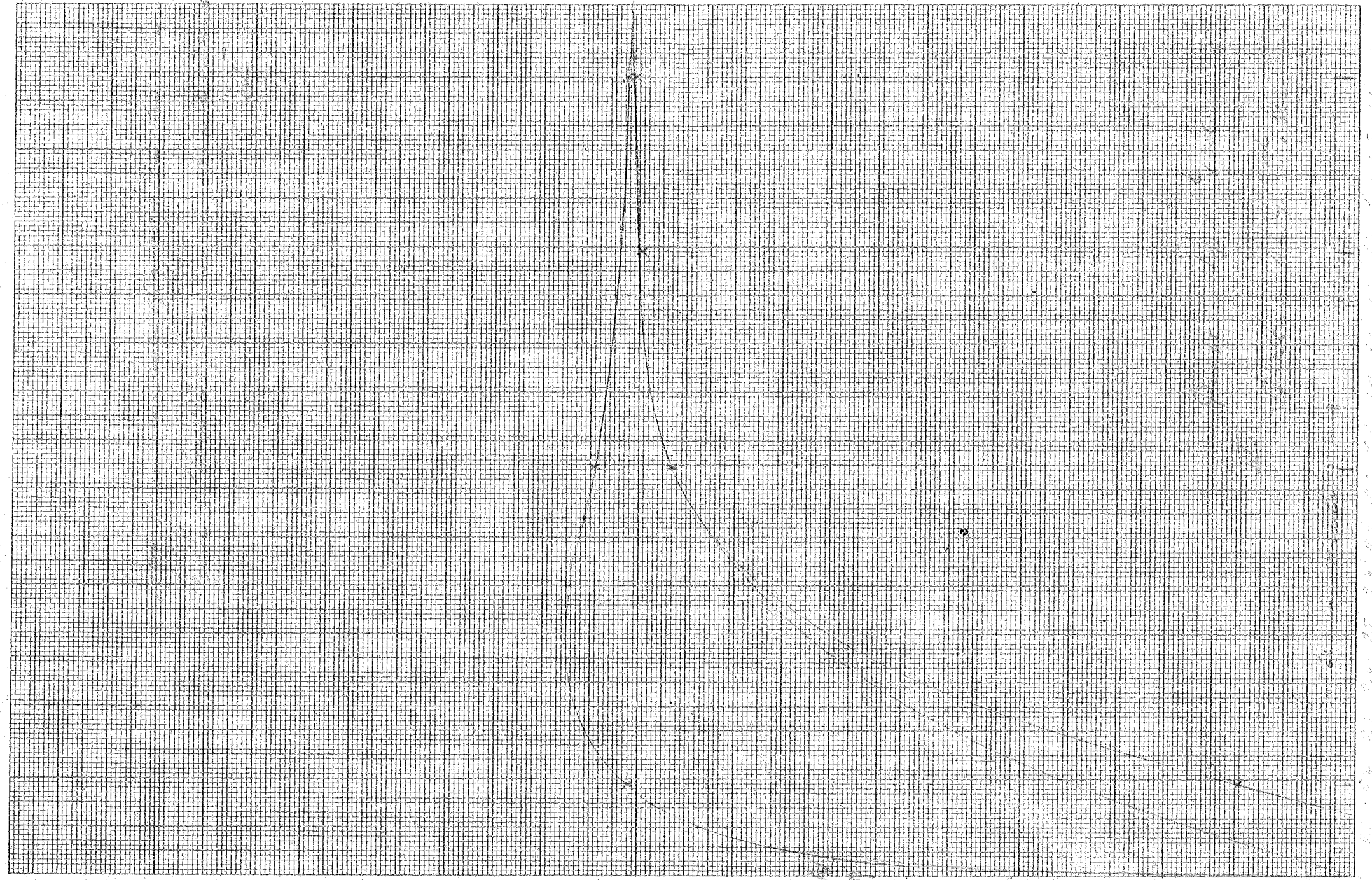


Handwritten notes on the right margin, including the number '170' and some illegible text.



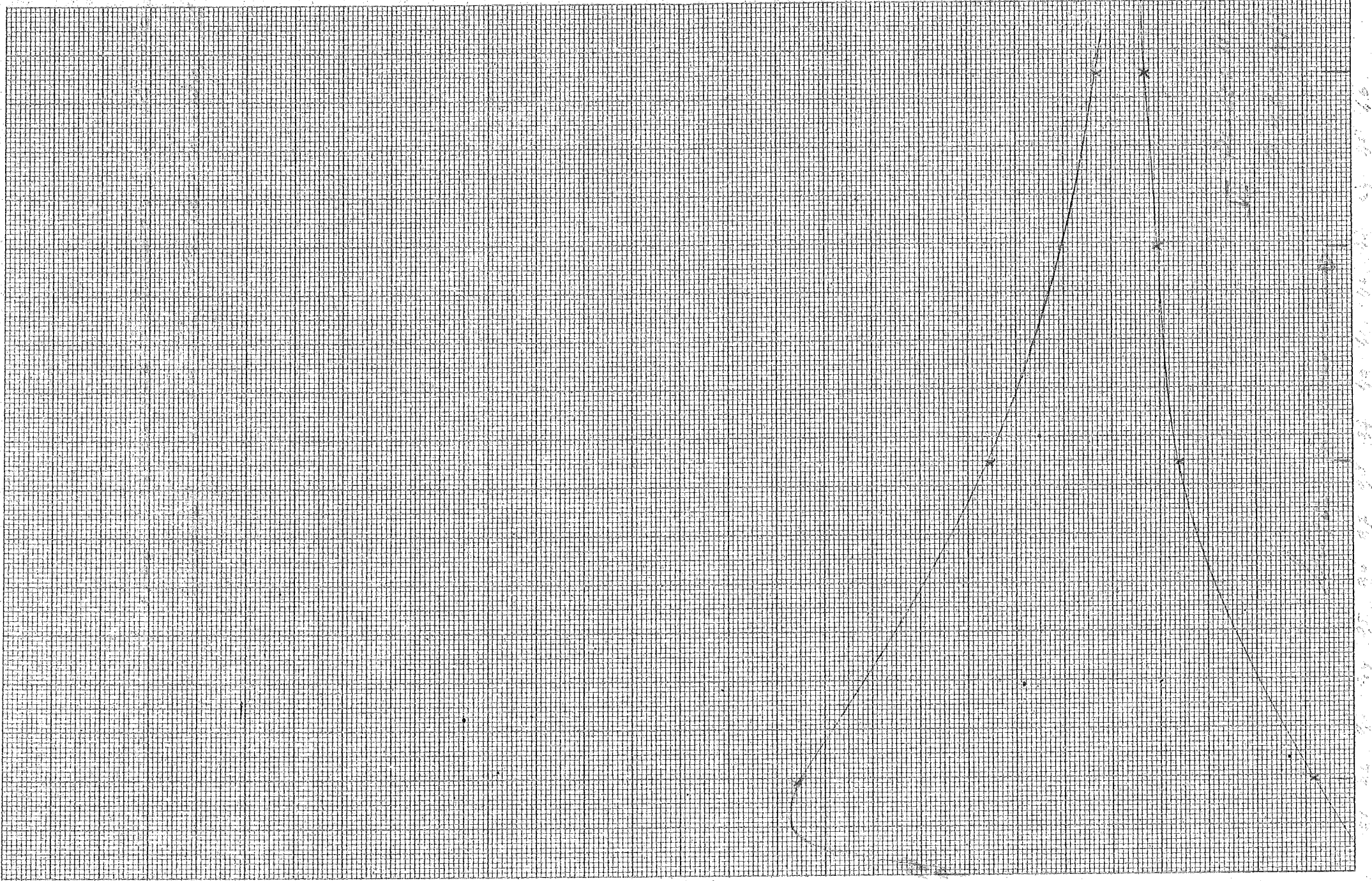
1.0 2.0 3.0 4.0 5.0 6.0 7.0 8.0 9.0 10.0  
0 0.2 0.4 0.6 0.8 1.0





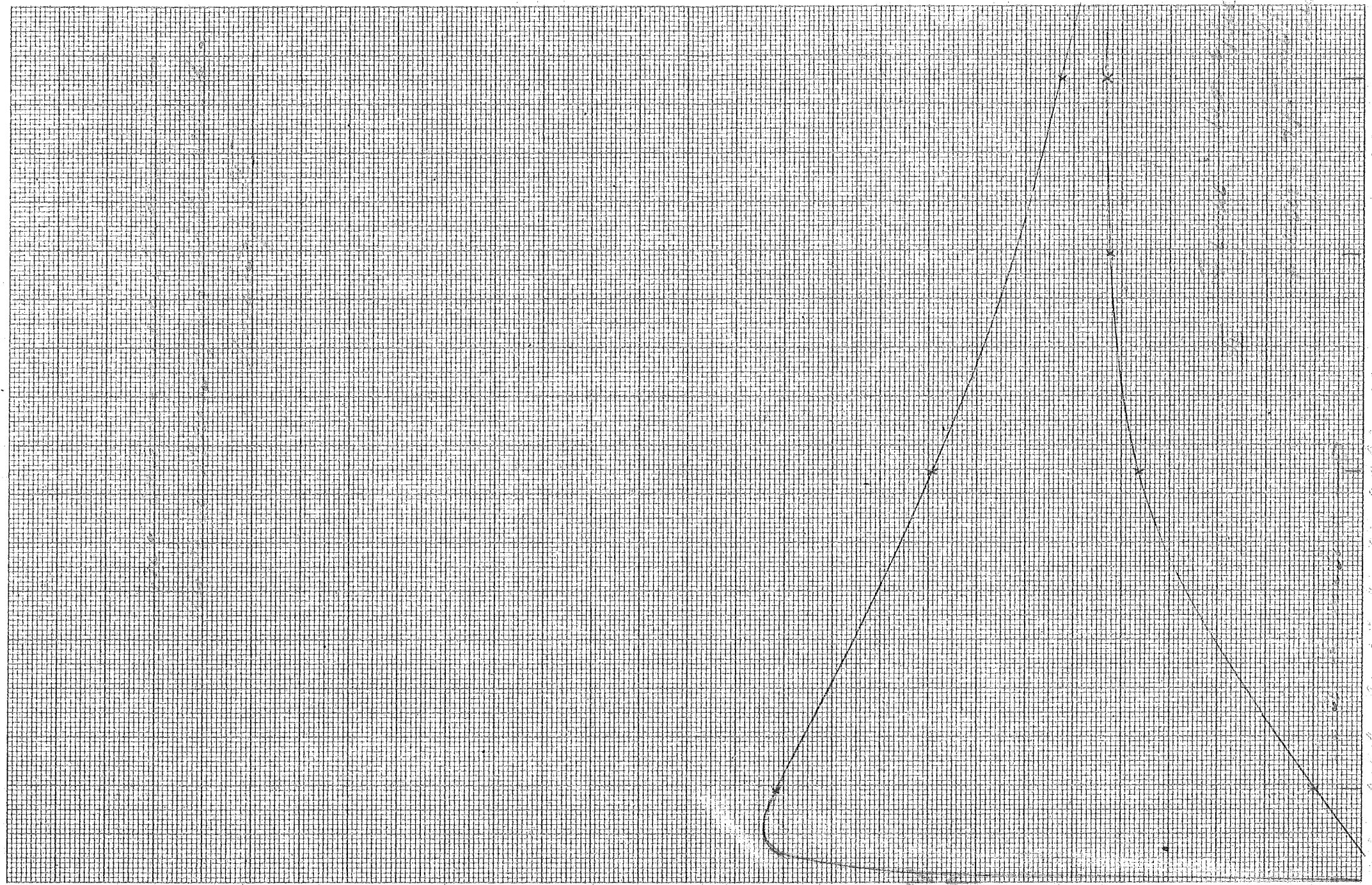
1.0 1.2 1.4 1.6 1.8 2.0 2.2 2.4 2.6 2.8 3.0

0.0 0.2 0.4 0.6 0.8 1.0



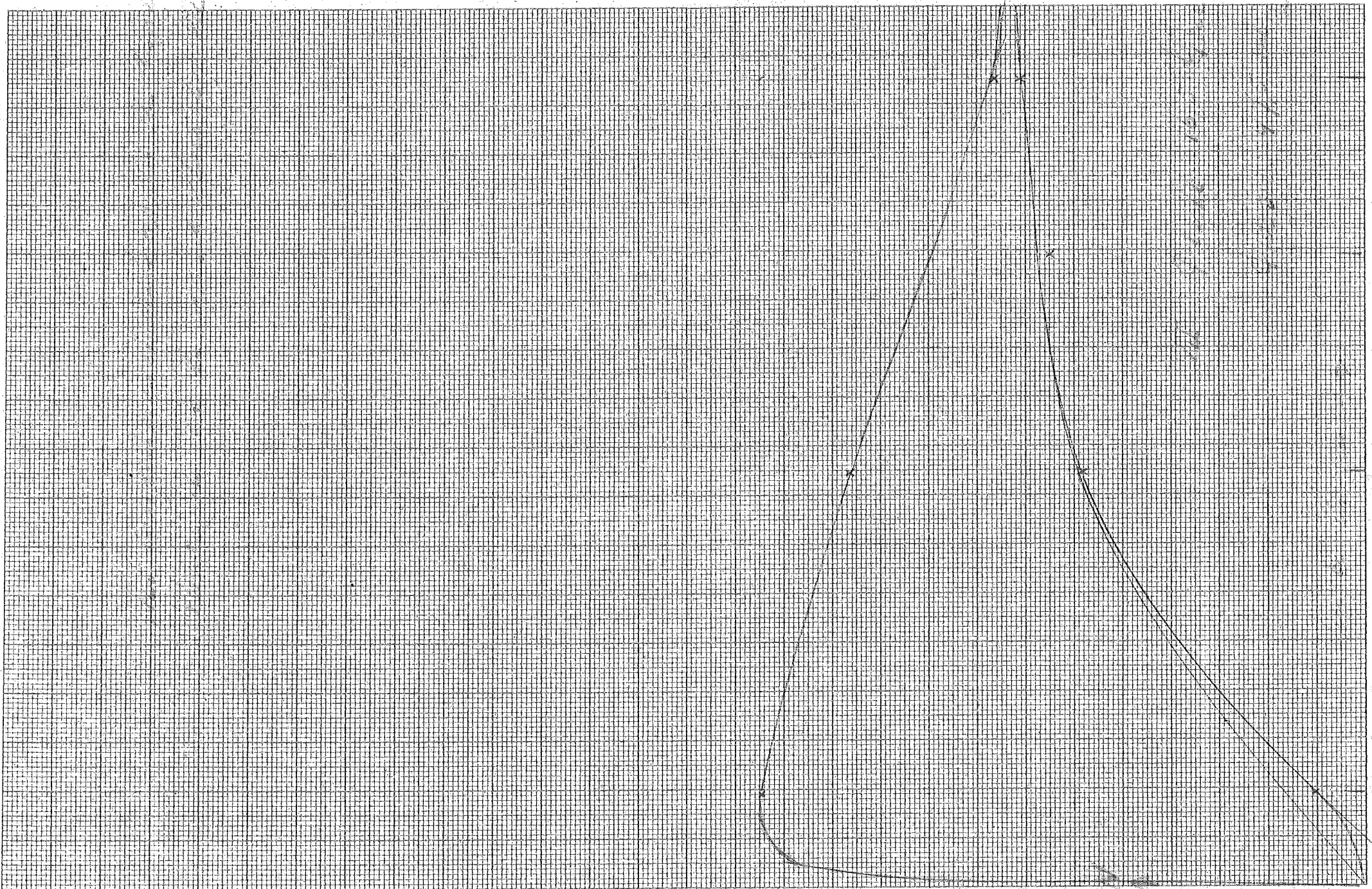
Handwritten text on the right margin:  $1000 \times 10^{-6} = 10^{-3}$





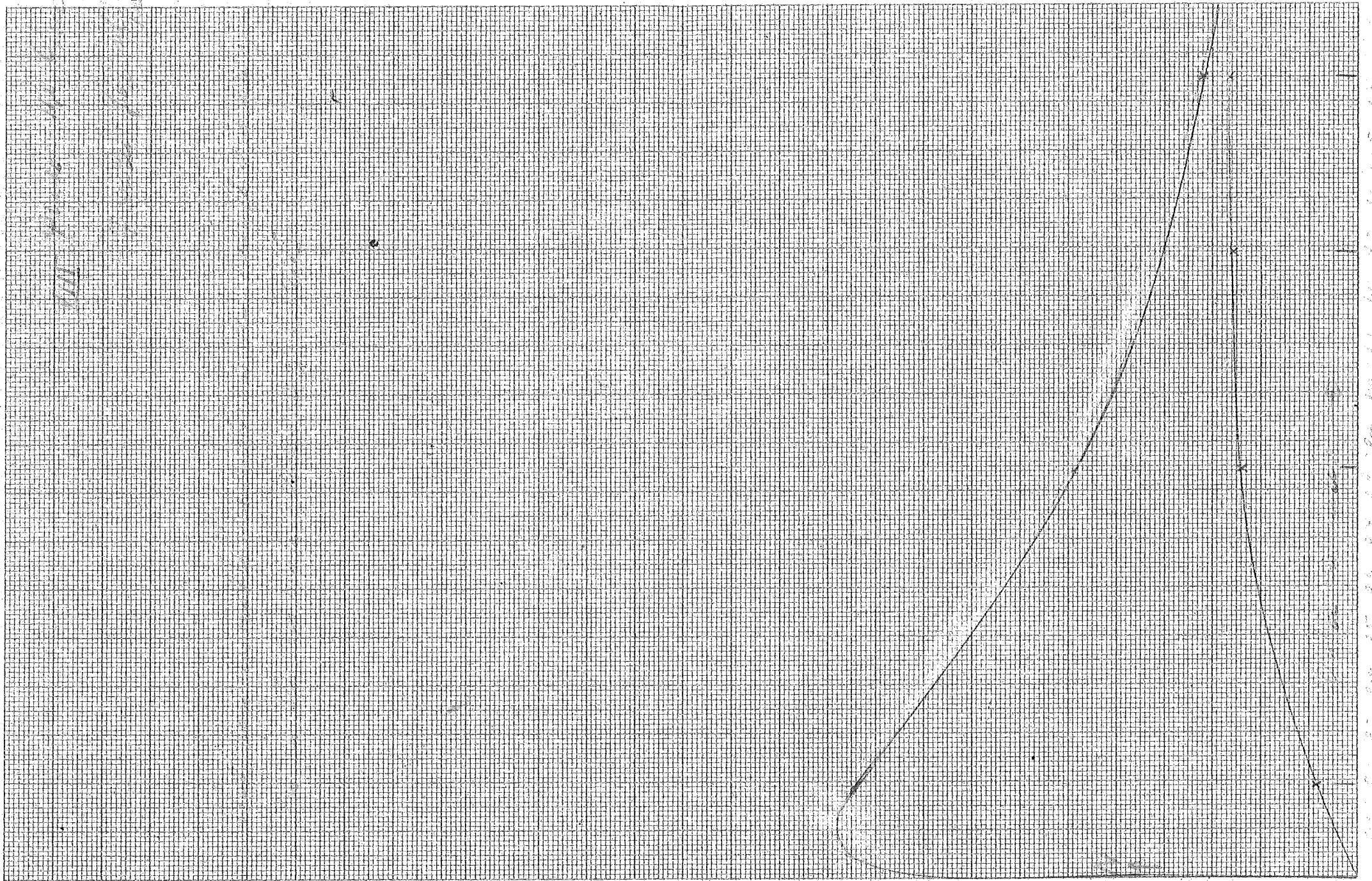
Handwritten notes on the right margin, including a vertical line and some illegible text.

Handwritten numerical values along the bottom edge of the page, including 100, 120, 140, 160, 180, 200, 220, 240, 260, 280, 300, 320, 340, 360, 380, 400, 420, 440, 460, 480, 500, 520, 540, 560, 580, 600, 620, 640, 660, 680, 700, 720, 740, 760, 780, 800, 820, 840, 860, 880, 900, 920, 940, 960, 980, 1000.



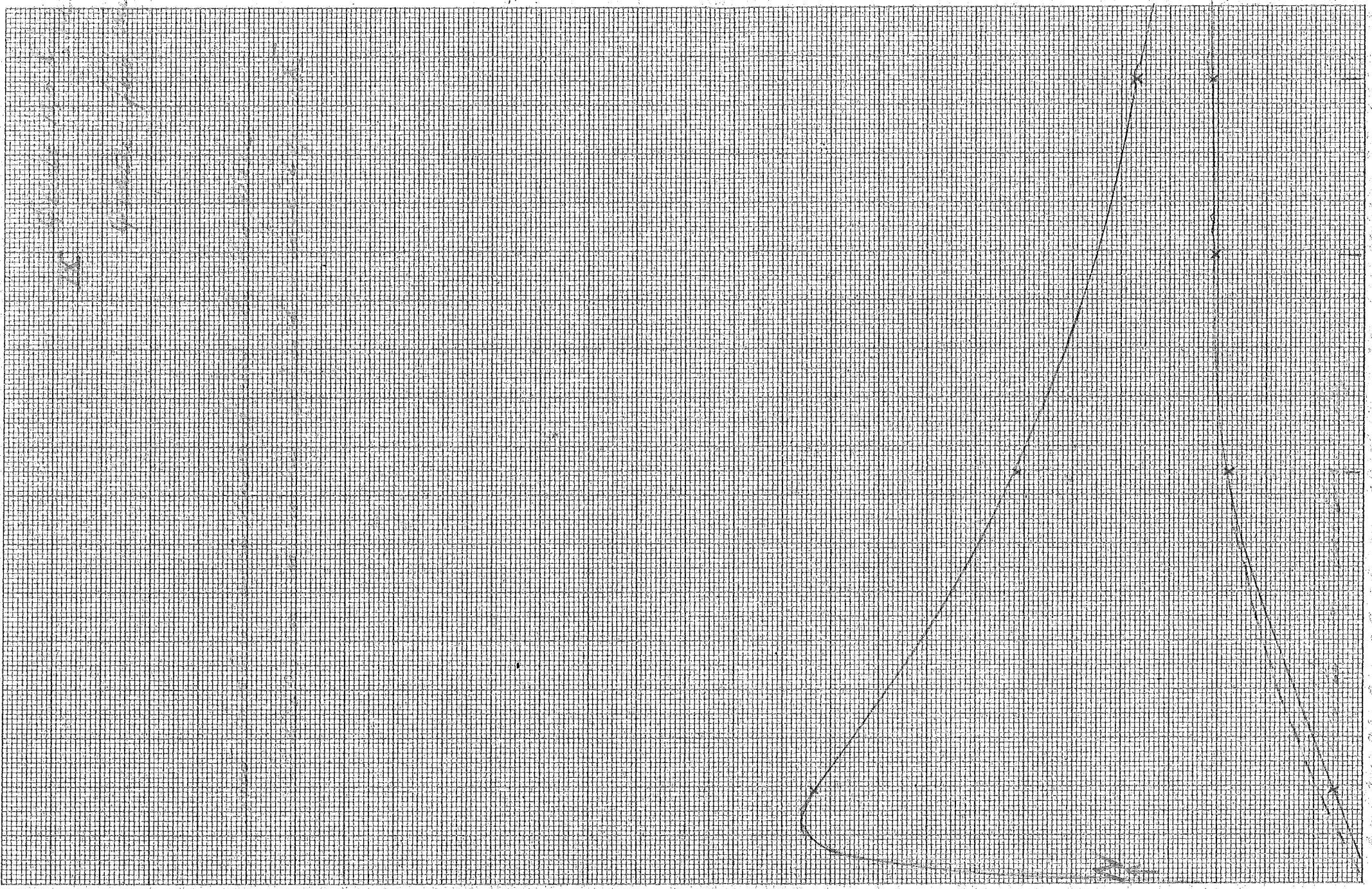
672  
673  
674  
675  
676  
677  
678  
679  
680  
681  
682  
683  
684  
685  
686  
687  
688  
689  
690  
691  
692  
693  
694  
695  
696  
697  
698  
699  
700





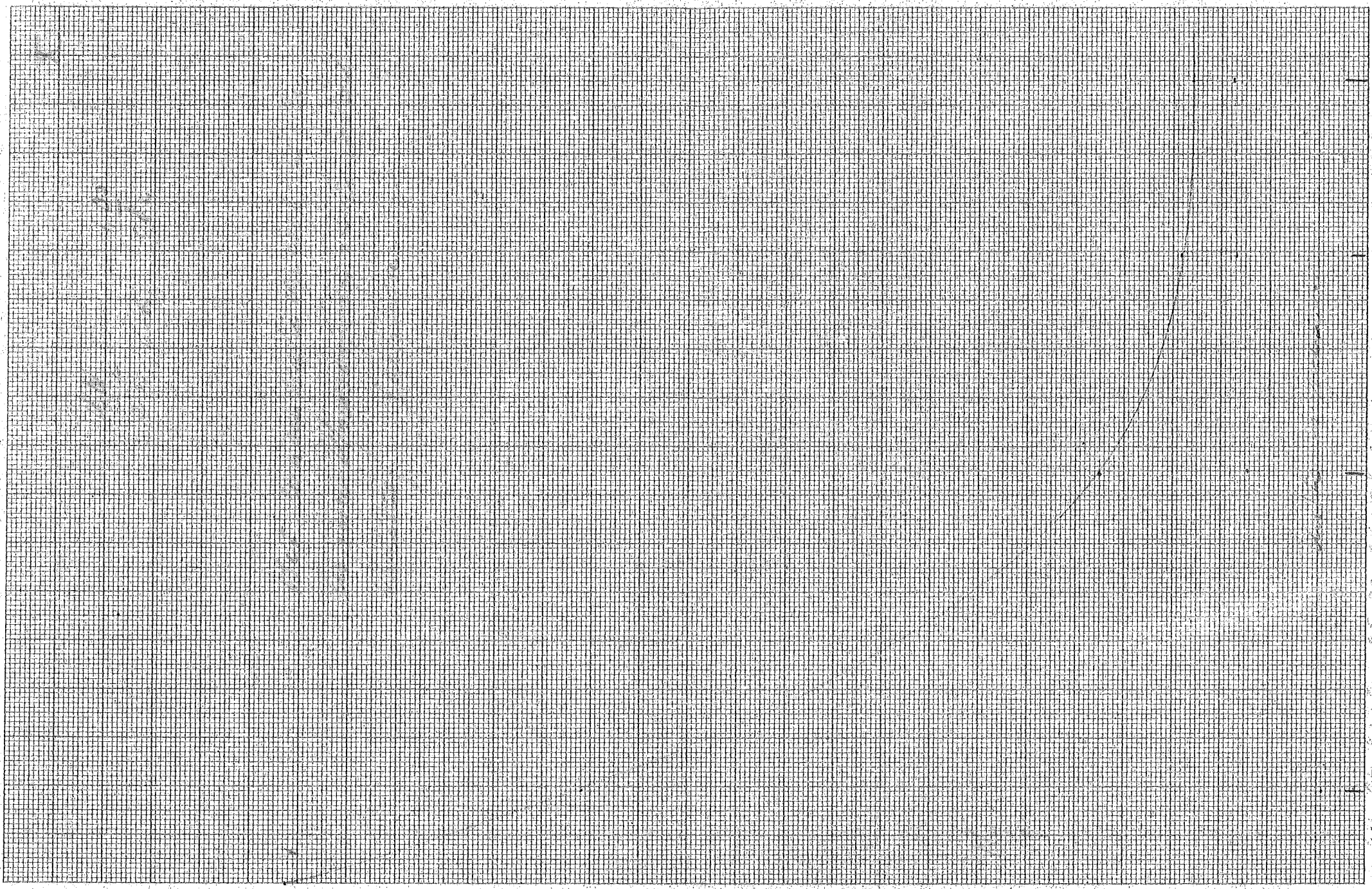
0.5 1.0 1.5 2.0 2.5 3.0 3.5 4.0 4.5 5.0 5.5 6.0 6.5 7.0 7.5 8.0 8.5 9.0 9.5 10.0

0.0 0.5 1.0 1.5 2.0 2.5 3.0 3.5 4.0 4.5 5.0 5.5 6.0 6.5 7.0 7.5 8.0 8.5 9.0 9.5 10.0



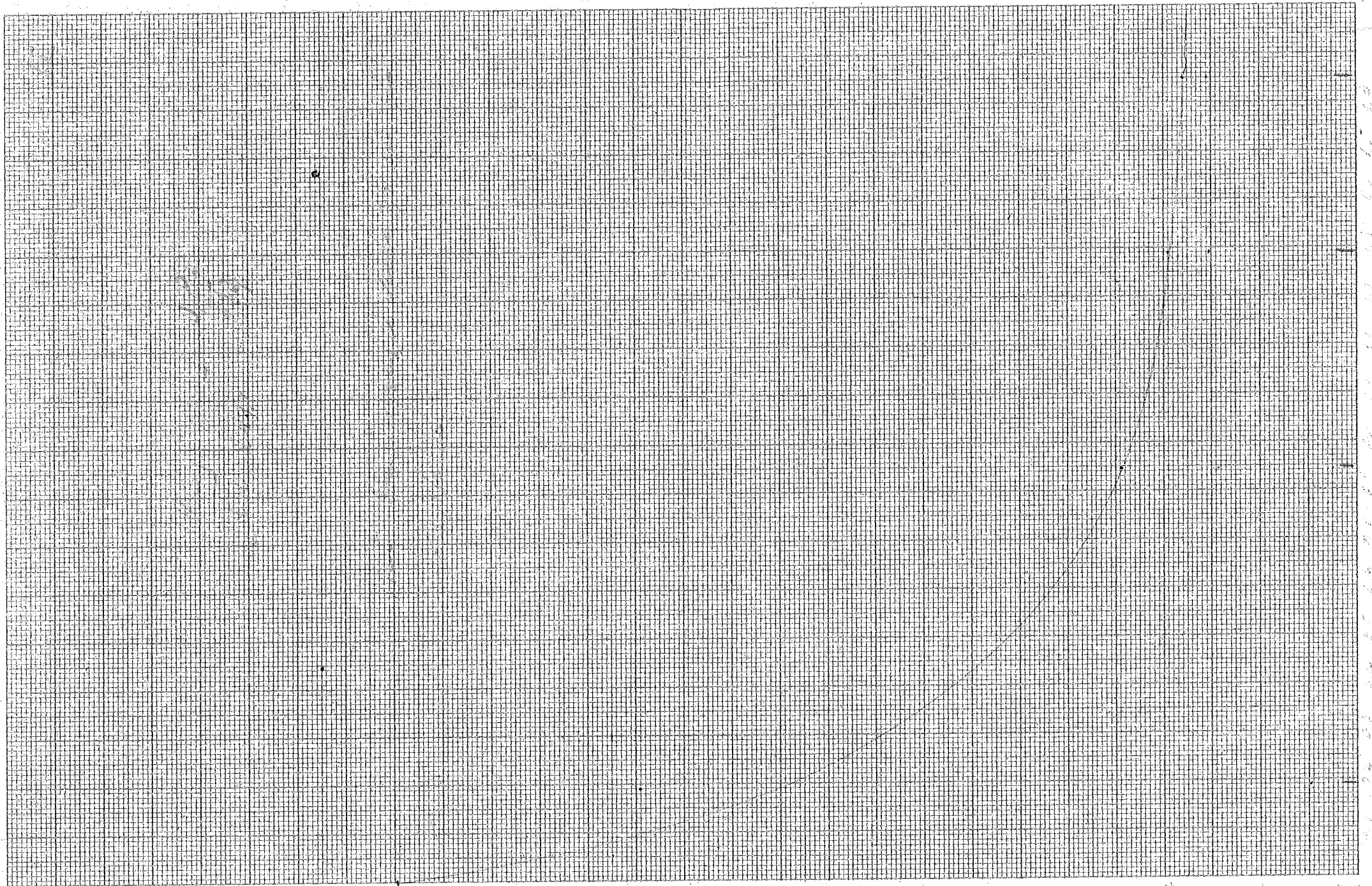
Handwritten text on the right margin, possibly a date or a note, including the number 1900.





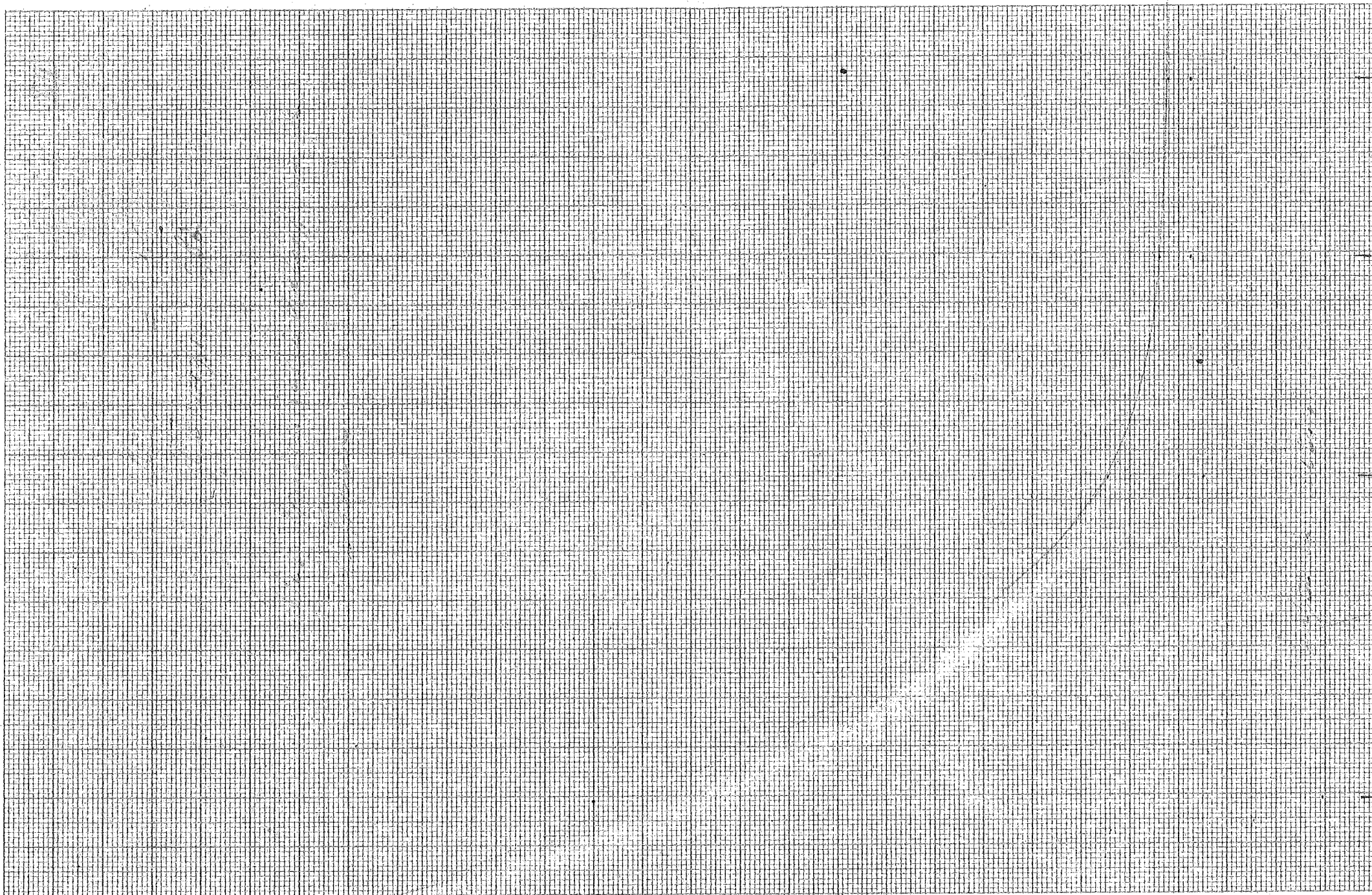
Handwritten text on the right edge of the page, possibly a date or page number, including the number '10'.

Handwritten text at the bottom right corner, possibly a signature or initials.

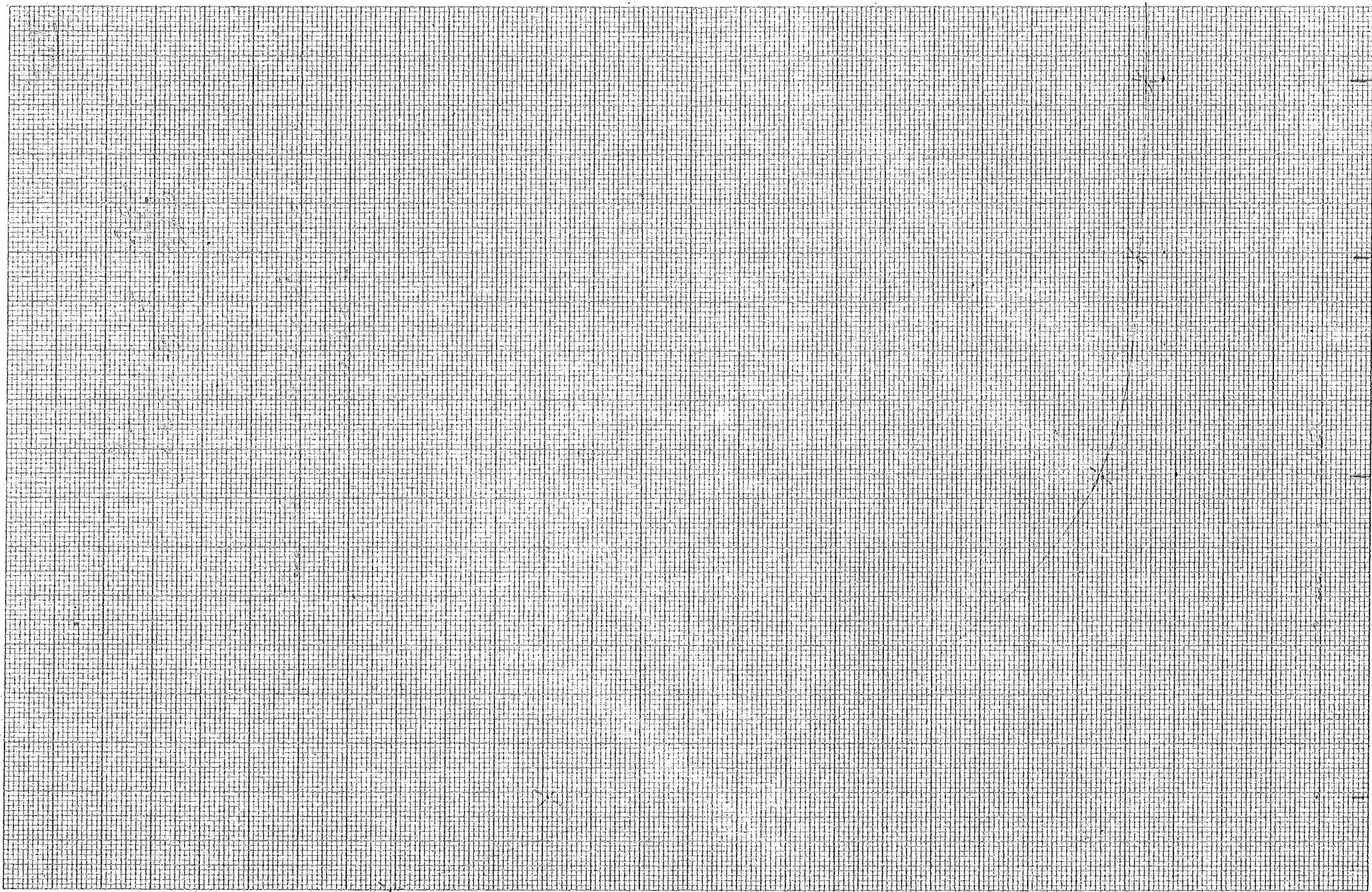


Handwritten text on the right edge of the page, possibly a page number or a date, which is mostly illegible due to the angle and fading.

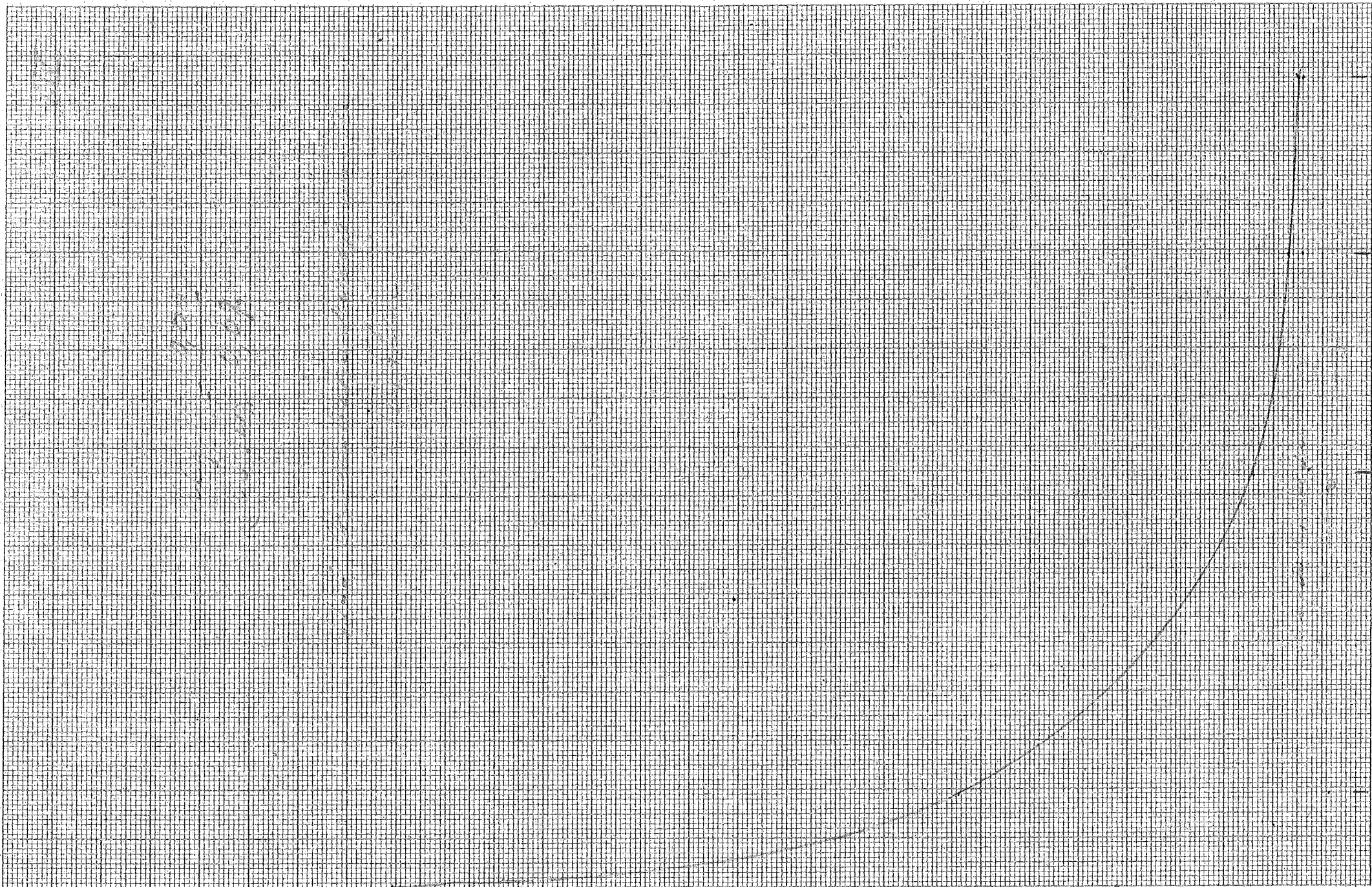




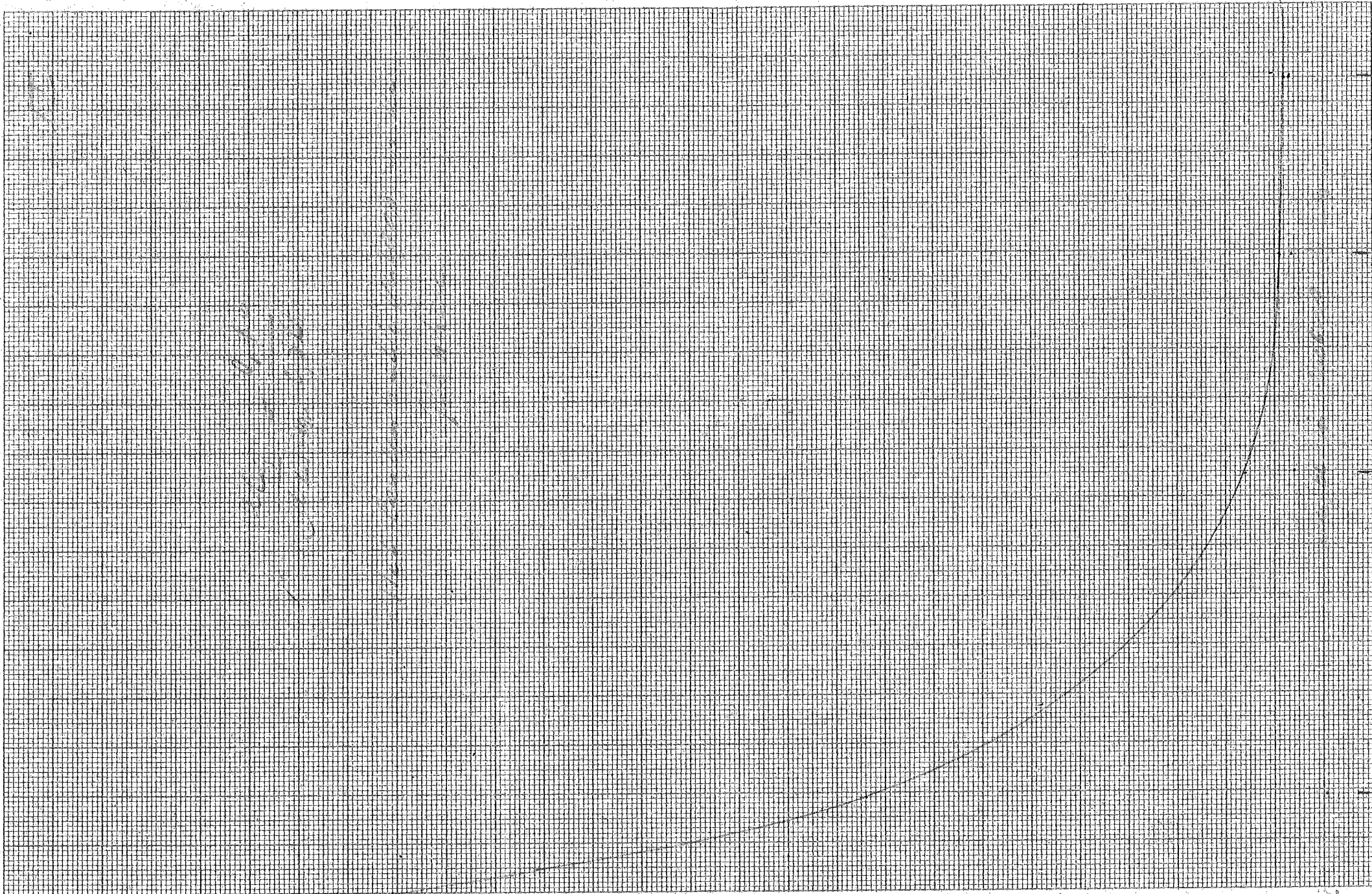
Handwritten text on the right edge of the page, partially cut off. The text is difficult to read but appears to be a list or notes.







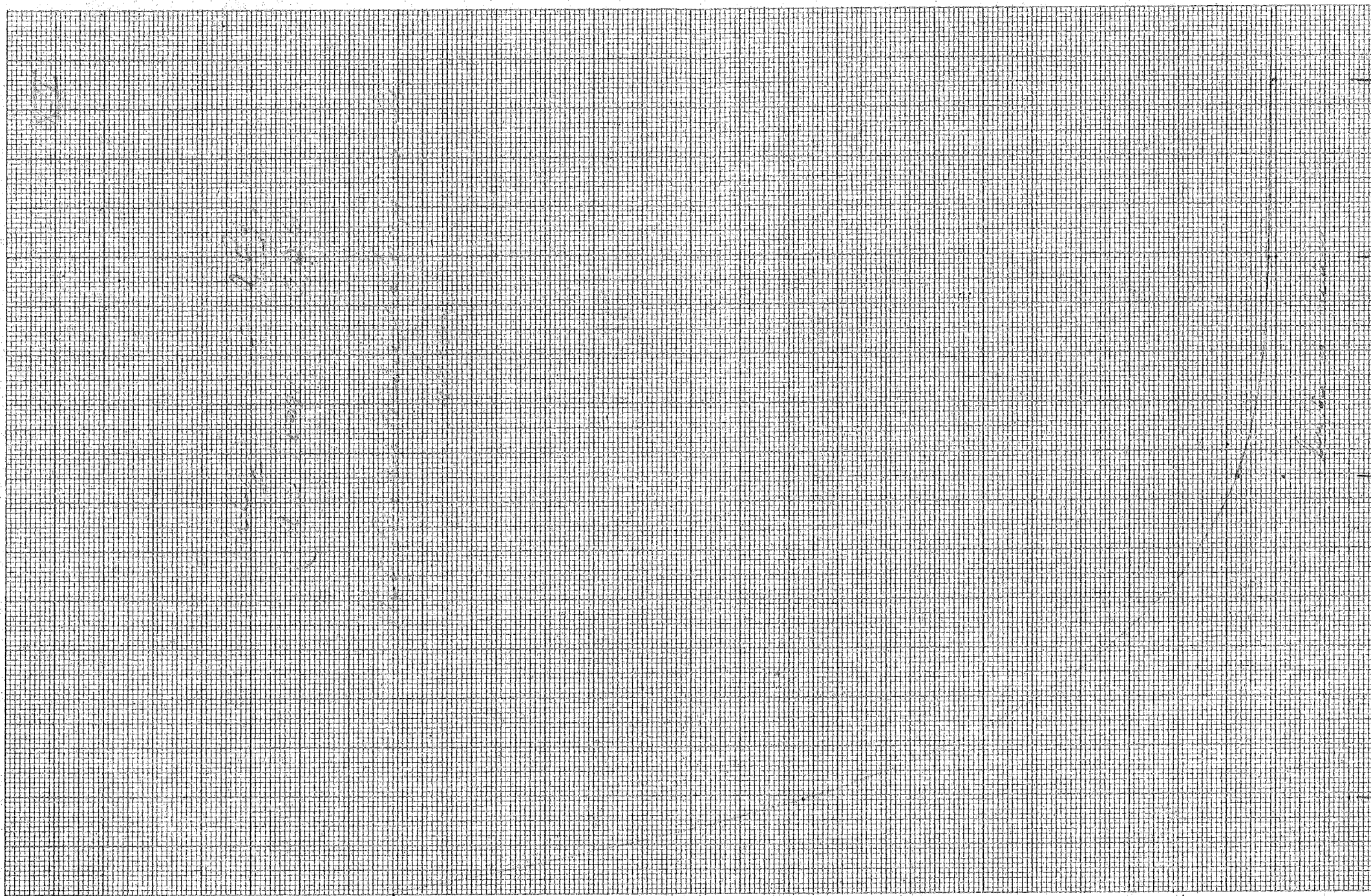
Handwritten text on the right margin, possibly a page number or a reference number, which is mostly illegible due to fading and the angle of the page.



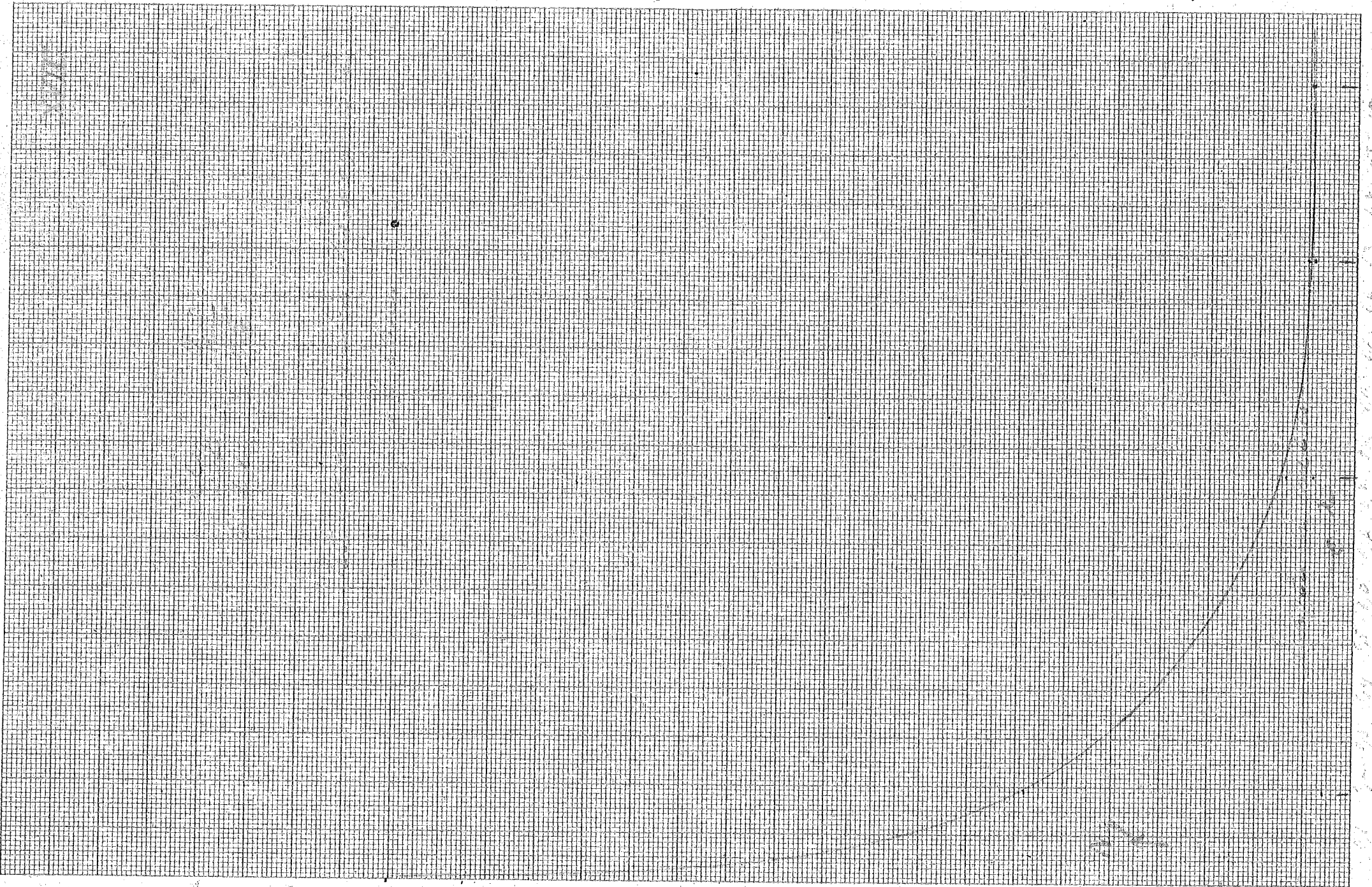
Handwritten text on the right edge of the page, possibly a date or page number, which is mostly illegible due to fading and orientation. It appears to contain a date like "19... 19..." and some other characters.

Handwritten text at the bottom of the page, possibly a name or signature, which is mostly illegible due to fading and orientation. It appears to contain several characters, possibly a name like "J. J. ...".

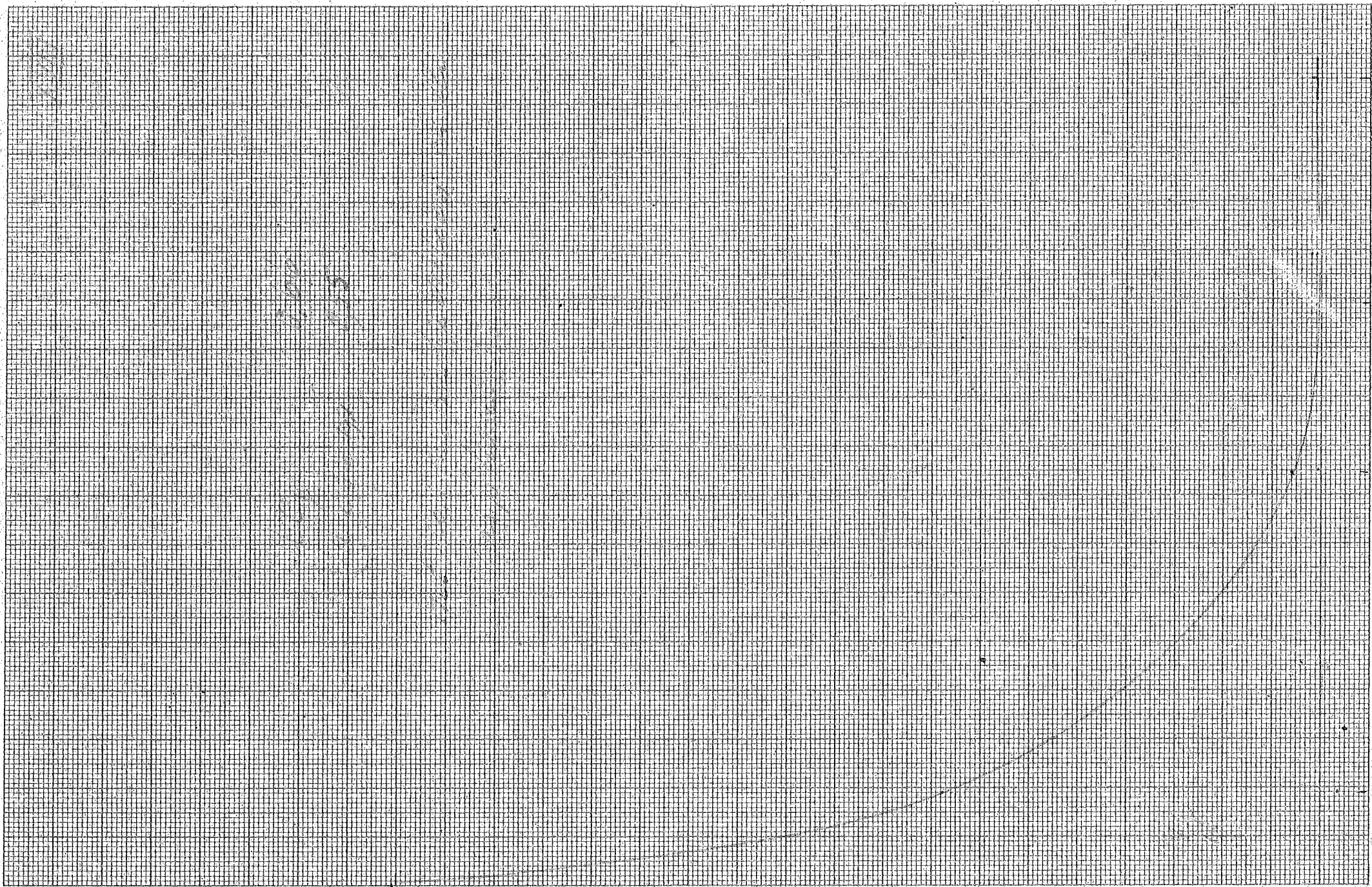




10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 34 35 36 37 38 39 40 41 42 43 44 45 46 47 48 49 50 51 52 53 54 55 56 57 58 59 60 61 62 63 64 65 66 67 68 69 70 71 72 73 74 75 76 77 78 79 80 81 82 83 84 85 86 87 88 89 90 91 92 93 94 95 96 97 98 99 100

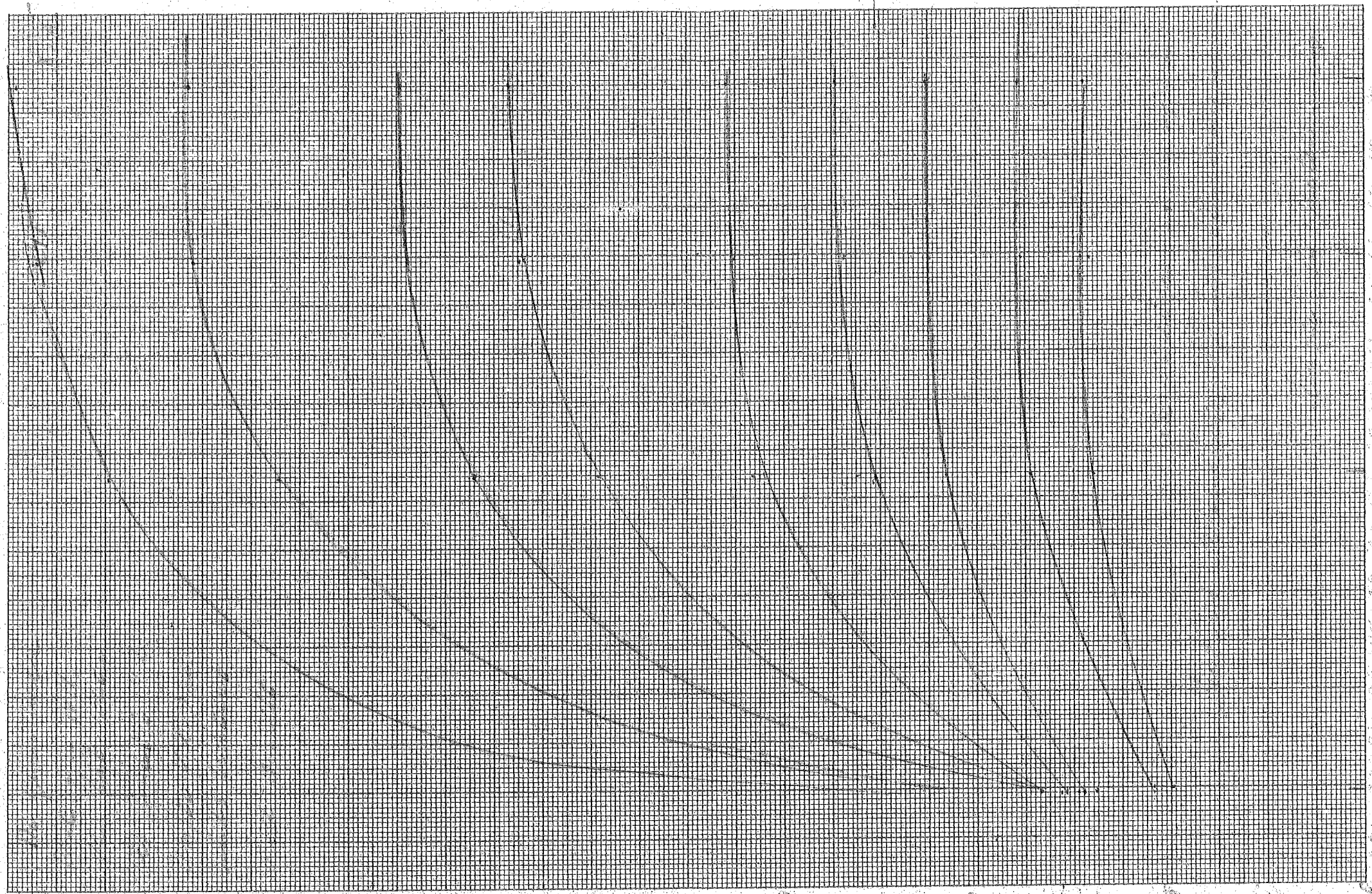






0 10 20 30 40 50 60 70 80 90 100  
0 10 20 30 40 50 60 70 80 90 100  
Dr. G. ...

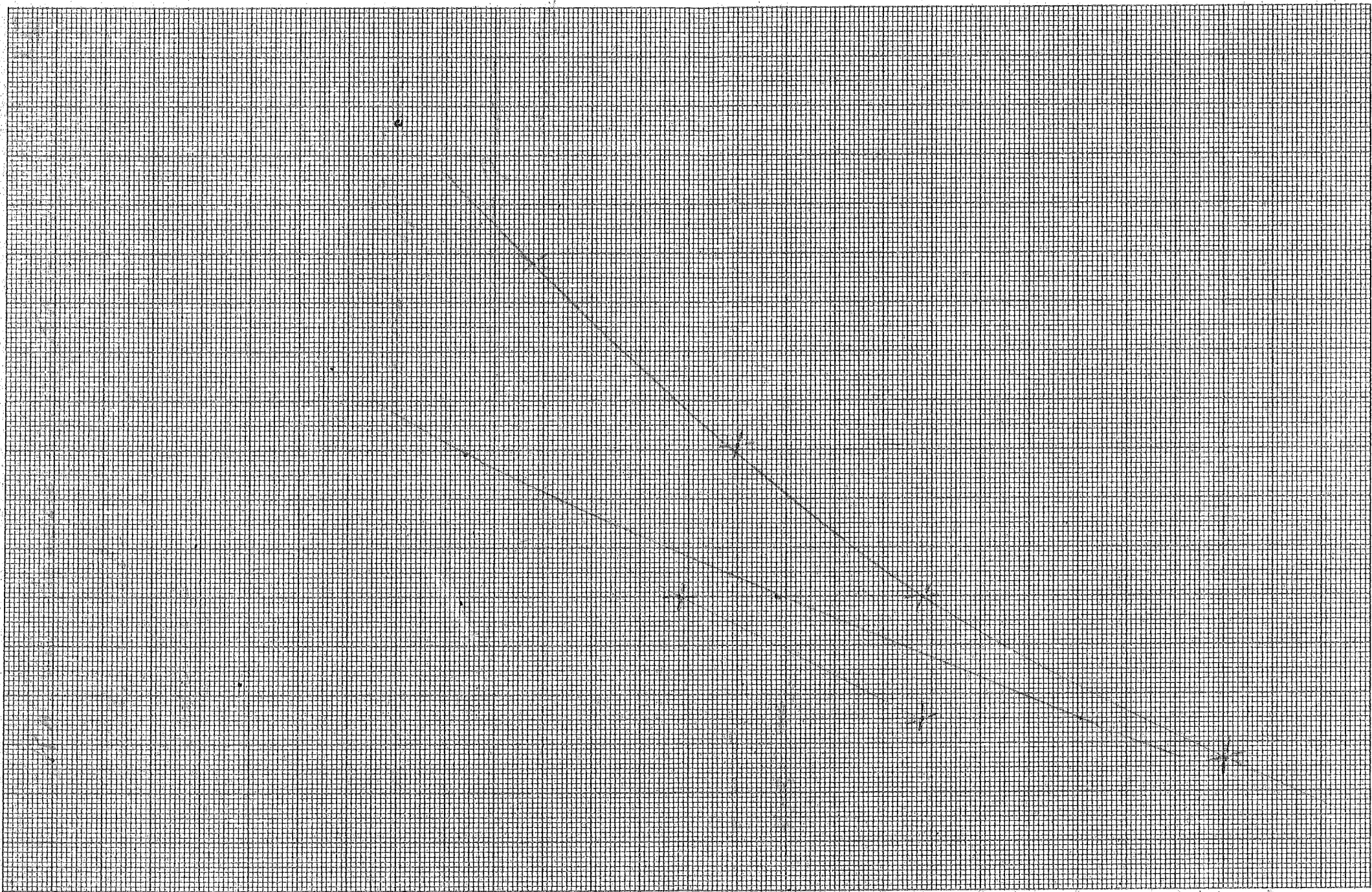
11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 34 35 36 37 38 39 40 41 42 43 44 45 46 47 48 49 50 51 52 53 54 55 56 57 58 59 60 61 62 63 64 65 66 67 68 69 70 71 72 73 74 75 76 77 78 79 80 81 82 83 84 85 86 87 88 89 90 91 92 93 94 95 96 97 98 99 100



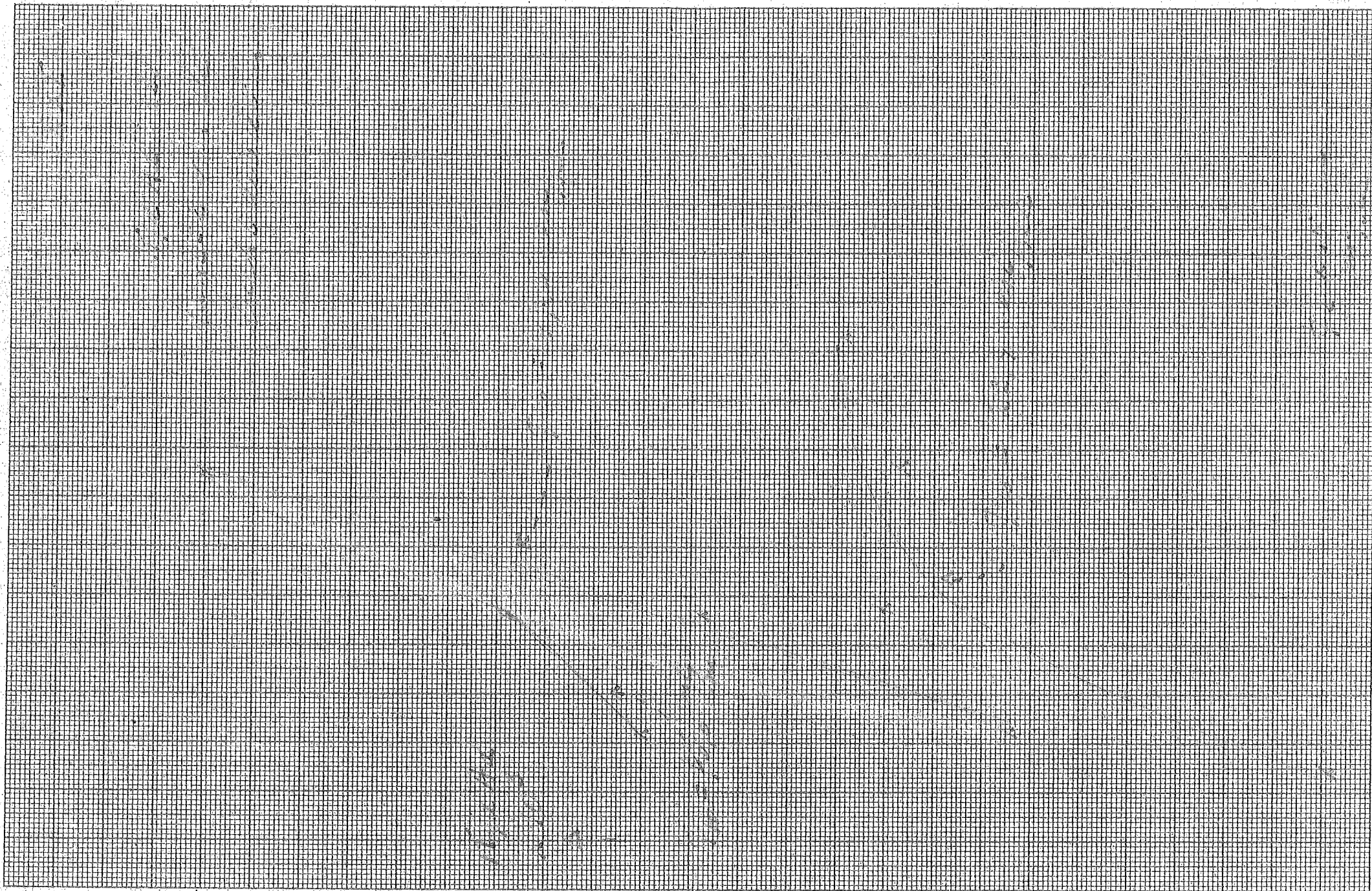
0.70  
0.75  
0.80  
0.85  
0.90  
0.95  
1.00  
1.05  
1.10  
1.15  
1.20  
1.25  
1.30  
1.35  
1.40  
1.45  
1.50

0.70  
0.75  
0.80  
0.85  
0.90  
0.95  
1.00  
1.05  
1.10  
1.15  
1.20  
1.25  
1.30  
1.35  
1.40  
1.45  
1.50



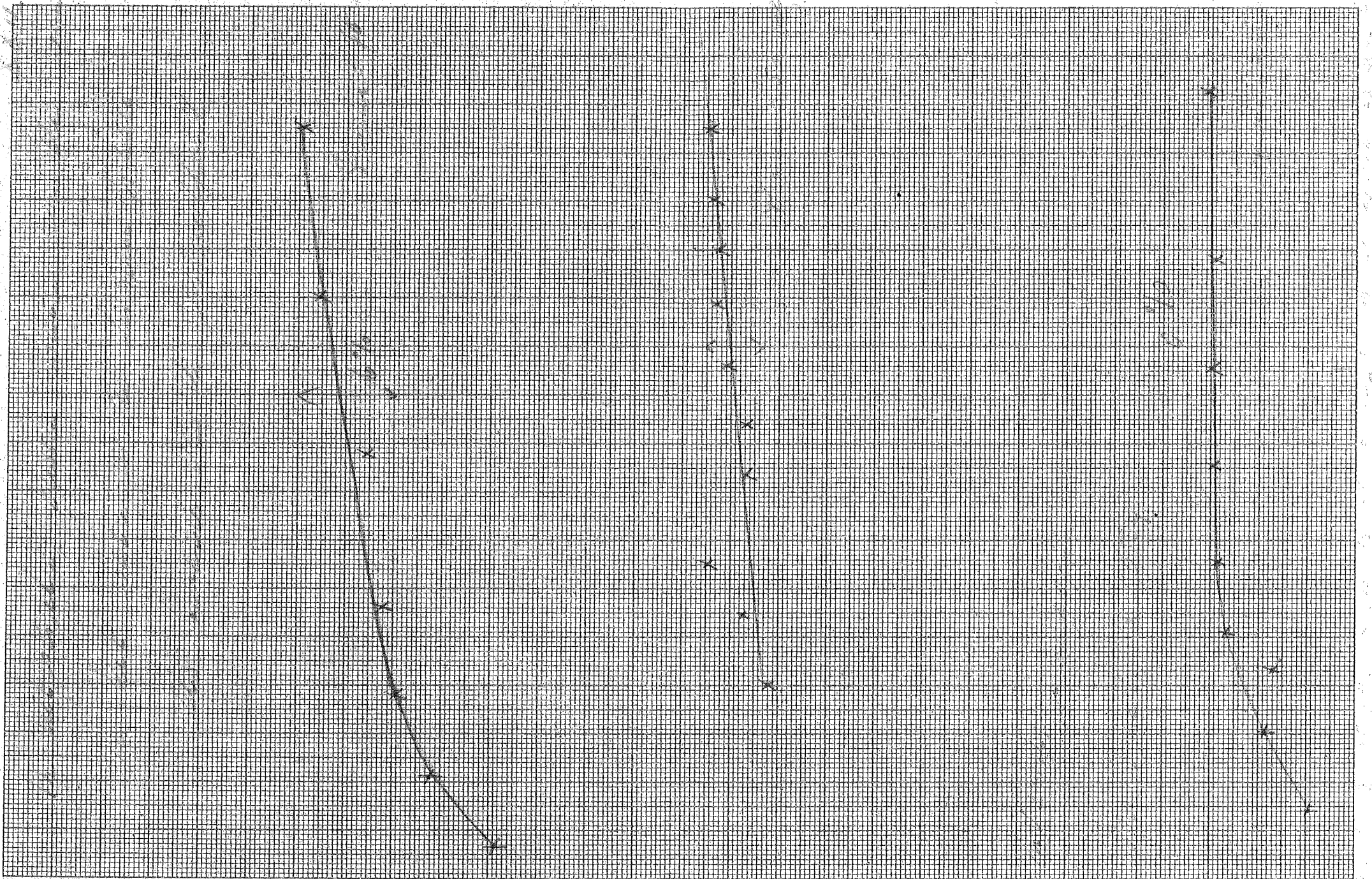


Handwritten text on the right margin, possibly a page number or reference: "Page 10 of 10"









1000  
2000  
3000  
4000  
5000  
6000  
7000  
8000  
9000  
10000  
11000  
12000  
13000  
14000  
15000  
16000  
17000  
18000  
19000  
20000