

Denne rapport
tilhører

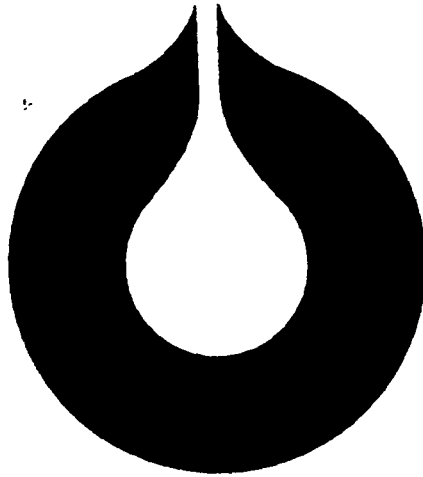


L&U DOK. SENTER

L. NR. 30284210009

KODE Well 31/2-9 nr. 11

Returneres etter bruk



statoil

OVERLAGRINGSTRYKK
FOR BRØNN 31/2-9

Den norske stats oljeselskap a.s



Grødering

Oppdragsgiver

31/2 TROLL LISENS

Undertittel

OVERLAGRINGSTRYKK

Tittel

OVERLAGRINGSTRYKK
FOR BRØNN 31/2-9

Utarbeidet

April '84 Rune Nicolaysen

Godkjent

11.5.84

Josef Tving

Oppsummering:

Det er blitt utført 10 overlagringstrykk-målinger av frosne kjerner tatt med "fiberliner" på brønn 31/2-9. Disse gir en overlagringsfaktor på 0.9615 (s.der: 0.0102), og samsvarer med prøver fra brønn 31/2-6 (0.9777) og brønn 31/2-8 (0.9650).

OVERLAGRINGSTRYKK FOR BRØNN 31/2-9

OPPSUMMERING

INNHold

1. Bakgrunn
2. Generelle porøsitets korreksjoner
3. Målinger i laboratorium under stress
4. Porøsitet ved in-situ betingelser. Uniaxialt stress
5. Applikasjon for 31/2-9
6. Sammenfatning
7. Referanser

Tabell 1 Porøsitetsverdier

Fig. 3.1-3.10 $\phi_{\text{IN-SITU}}/\phi_{\text{ATM}}$ mot trykk

1. Bakgrunn

Målinger av porøsitet, permeabilitet og formasjonsfaktor under stress er nødvendig for å bestemme reservoar parametre under in-situ forhold. Det er vanskelig ved laboratoriemålinger å etterligne de reservoar-betingelser som er aktuelle. Stress-virkningen, in-situ, er ikke kjent, og prøvene kan derfor vanskelig bli tilbakeført til opprinnelig stress-betingelse under laboratoriemålingene. Flere modeller og teorier er satt opp under spesifiserte forhold som ikke alltid kan oppfylles. Dette gir en usikkerhet ved kalkulering av overlagingstrykkets effekt på reservoar parametrene.

Ved kjerneboring vil kjernen bli avlastet fra den stress den in-situ er utsatt for. Den vil under transporten fra reservoaret til boredekk bli utsatt for en temperatur- og trykkforandring og en væskeekspansjon. Om kjernen fryses etter optakningen, vil dette også gi effekter på kjerne-materialet. Preparering av kjernen i laboratorium vil også her omfatte en temperatur-forandring (rengjøring, tørking). Når kjernen er klar for måling, er den helt stressavlastet, og etter som in-situ stressen ikke er kjent, kan en ikke føre kjernematerialet tilbake til opprinnelig stress-betingelse.

2. Generelle porøsitets-korreksjoner

Normalt er helium porøsitet målt på pluggene som er tatt av kjernen for hver 30. cm nedover. En kan så få en porøsitets profil over det intervallet som det er tatt kjerner fra, og denne verdien blir kalt total porøsitet. Forutsatt at ikke innesluttet porevolum er tilstede, kan noen av pluggene bli knust. Således kan korntetthets-porøsitet bli målt og korrelert mot helium porøsitet. Dette kan være den første korreksjon på porøsiteten. Av rent praktiske grunner er det

vanlig bare å la noen få plugger bli knust for å måle korntetthets-porøsitet.

Den neste korreksjon innbefatter korrigering av total porøsitet til effektiv porøsitet. Ved rensing og tørking av kjernepluggene blir leirbundet vann fjernet på grunn av fordamping og oppløsningsevnen. Det er generelt forstått at ett eller to molekyllag av absorbert vann skal medregnes som del av bergvolumet for å beskrive reservoar porøsiteten. Disse ett til to lag kan beholdes ved at kjernepluggene blir tørket i et varmeskap ved 60°C med over 40% humiditet. Man måler igjen den effektive porøsitet for noen plugger og korrelerer resultatene til den totale porøsitet for så å bestemme en korreksjonsfaktor. Denne effekt er størst for kjerner som har høyt skiferinnhold, og derfor bør prøvene velges med et stort porøsitetsspekter.

Til slutt skal porøsiteten bli korrigert for reservoar-betingelser på grunnlag av netto overlagingstrykk og temperatur. Nede i reservoaret er kjerneprøven utsatt for overlagingseffekt minus reservoar formasjonsvæske/poretrykk, kalt netto overlagingstrykk. Et slikt forhold kan bli simulert i laboratoriet, og helium porøsitet kan bli målt. I laboratoriet er trykket fordelt i tre dimensjoner, kalt hydraulisk trykk, mens i reservoaret er trykket fordelt mer i en akse fordi pluggen er begrenset i de horisontale retninger, men belastet i den vertikale retning. Det er bevist at en stress-korreksjonsfaktor på

$$\frac{1}{3} \frac{(1 + \nu)}{(1 - \nu)}$$

tar hånd om ovennevnte forhold hvor ν er Poissons forholdet opphøyd i annen potens (dvs. $\nu = (\text{Poisson Ratio})^2$).

Ovennevnte teori er ikke akseptert universelt, og noen foretrekker å bruke det reelle reservoar netto trykk fra laboratorie-målinger. Dette fører sjelden til store

porøsitetsforandringer siden den største porøsitetsforandring skjer under den første perioden av trykkbelastningen.

3. Målinger i laboratorium under stress

Normalt måles porøsiteten under stress under isostatisk betingelse (hydrostatisk trykk) dvs. alle trykk er like i de tre forskjellige retningene ($\sigma_1 = \sigma_2 = \sigma_3$). Disse betingelser er like det for triaxialt stress, men i den triaxiale målecellen kan de forskjellige trykk forandres slik at $\sigma_1 \neq \sigma_2 \neq \sigma_3$. Prøvene utsettes for et visst initialt trykk omkring 200 psi for å forhindre endeeffekter.

Porøsiteten målt under isostatisk betingelse gis av ligningen

$$\phi_{iso} = \frac{v_p - \Delta v_{pi}}{v_b - \Delta v_{pi}} \quad (1)$$

der

ϕ_{iso} = porøsitet under isostatisk stress
 v_p = porevolumet ved atmosfærisk betingelse
 v_b = bulkvolumet ved atmosfærisk betingelse
 Δv_{pi} = forandringen i porevolumet ved trykket P_i .

En antar at matriks-kompressibiliteten er liten i forhold til porekompressibiliteten, dvs. $\Delta v_b = \Delta v_p$:

Ligningen i (1) kan skrives

$$\phi_{iso} = \frac{1 - \Delta v_{pi}/v_p}{v_b/v_p - \Delta v_{pi}/v_p} \quad (2)$$

og der v_p/v_b er porøsiteten ved atmosfærisk betingelse.
En får så ligningen:

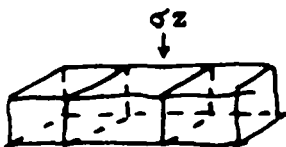
$$\phi_{iso} = \frac{1 - \Delta v_{pi}/v_p}{1/\phi_{atm} - \Delta v_{pi}/v_p} \quad (3)$$

4. Porøsitet ved in-situ betingelser. Uniaxialt stress

Det som er vanskelig ved laboratorie-målinger, er å anbringe et stress som tilsvarer de en har i reservoaret. Teorier er satt opp der en på en toretisk måte under visse betingelser relaterer målinger ved isostatisk trykk (triaxialt) til uniaxialt trykk. Ifølge disse teorier er hovedstressen vertikal og lik stressen grunnet vekten av overlagrede bergartsmasser. Dette overlagingstrykk kan antas å være 1 psi/ft eller kan beregnes ved å integrere FDC loggen. Netto overlagingstrykket får en hvis en reduserer dette trykket med poretrykket i reservoaret fra RFT målinger, eller om en antar 0.5 psi/ft.

Hvis en ser på et enhetskutt i reservoaret, se fig. 1, og antar at den prinsipale stressen er vertikal, σ_z , og at grensene til omrensende naboelement er fikserte, dvs. at bevegelser og forandringer ikke skjer, vil forandringen hos elementet være tilknyttet σ_z . En antar videre at reservoaret er oppbygget av et materiale som er isotropt og elastisk.

Fig. 1



hvilket med god tilnærming vil være tilfelle med en godt sementert sandstein. Hvis en har en ukonsolidert sand, dvs, en dårlig sementert sand, vil denne ikke følge en elastisk deformasjon, men en visko-elastisk, plastisk deformasjon. En leirholdig sand og skifer vil på denne måten bli klassifisert til å følge et plastisk deformasjonsforløp.

Ifølge de antagelser som ble diskutert ovenfor, vil dette bli

$$E_x = E_y = 0$$

dvs. kompaksjon i horisontal retning er null, men $E_z \neq 0$. Dersom en videre antar at kompaksjonen kun er avhengig av reduksjonen i porevolumet, dvs, den totale bulk kompresjonen er meget større enn matriks kompresjonen ($\Delta V_b \gg \Delta V_{ma}$). Dette medfører at bulkkompresjonen kan antas å være lik porevolum-reduksjonen, dvs. $\Delta V_b = \Delta V_p$, og at in-situ kompaksjonen under uniaxialt trykk E_z er relatert til den triaxiale volumetriske kompaksjonen, e , under laboratoriebetingelser ifølge ligningen:

$$E_z = \frac{1}{3} \left(\frac{1 + \nu}{1 - \nu} \right) e \quad (4)$$

ved samme uniaxiale og triaxiale trykk.

ν er Poissons ratio, og varierer ifølge litteraturen (D. Teeuw, Geertsma) mellom 0.25 - 0.35. Faktoren $\frac{1}{3} \left(\frac{1 + \nu}{1 - \nu} \right)$ kan med de antagelser som er diskutert, brukes til å korrigere reduksjonen i porevolumet fra triaxialt (isostatisk) til uniaxialt (in-situ) betingelser for like trykk.

Dette innebærer da at hvis en har en forandring i porevolumet ΔV_{pi} ved et triaxialt trykk, p_i , vil dette resultere i en in-situ reduksjon av porevolumet som er gitt ved ligningen:

$$\frac{1}{3} \left(\frac{1}{1 - \nu} \right)$$

Poissons ratio, ν , er ikke kjent, og måles normalt ikke. En kan anta at ν vil variere mellom 0.25 - 0.35 og vanligvis brukes en verdi på $\nu = 0.3$. Hvis dette er riktig, vil en få en korreksjonsfaktor som er $0.62 \Delta V_{pi}$.

In-situ porøsiteten vil derfor kunne beregnes fra laboratoriemålingene under triaxialt trykk (isostatisk) ifølge ligningen

$$\phi_{in-situ} = \frac{V_p - 0.62 \Delta V_{pi}}{V_b - 0.62 \Delta V_{pi}} \quad (5)$$

eller

$$\phi_{\text{in-situ}} = \frac{1 - 0.62 \Delta V_{pi}/V_p}{1/\phi_{\text{atm}} - 0.62 \Delta V_{pi}/V_p} \quad (6)$$

5. Applikasjon for 31/2-9

| | |
|------------------------|------------------------------|
| Total overburden | 5100 psi |
| Fluid pressure | <u>2800 psi</u> |
| Netto overlagingstrykk | 2300 psi (158 bar) ved dybde |

På brønn 31/2-9 er det blitt utført 10 målinger av porøsitetsreduksjon innen intervallet 1555 m til 1623 m (kjernedybde angitt). Disse målingene er blitt utført hos GECO, Norge A/S. Målingene er tatt ved følgende trykk: 50, 100, 150 og 200 bar.

De verdier som er brukt, er $\Delta V_p/V_p$ ved de forskjellige hydrostatiske trykk, og disse er deretter brukt til å kalkulere $\phi_{\text{HYD}}/\phi_{\text{ATM}}$. Det er antatt at teoriene for elastisk, isotropt og $\Delta V_b = \Delta V_p$ er oppfylt. Det er også antatt at Poissons tall $\nu = 0.3$, hvilket gir en faktor 0.62. På denne måten er $\phi_{\text{in-situ}}/\phi_{\text{ATM}}$ kalkulert. En kan skjematisk vise i figur 2 hvordan dette blir hvis en plotter $\phi_{\text{in-situ}}/\phi_{\text{ATM}}$ mot hydrostatisk trykk. (Se også fig. 3.1 til 3.10).

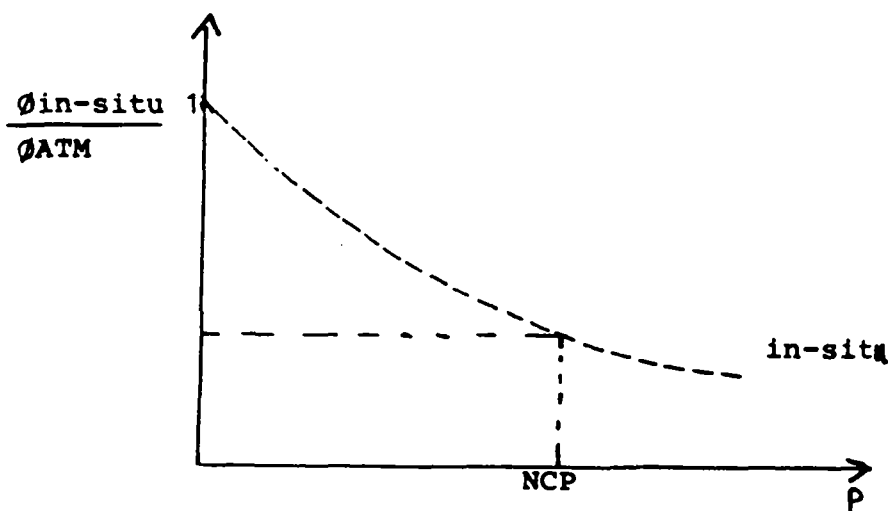


Fig. 2

Hvis en bruker Peff = PNCP (netto overlagingstrykk), vil dette gi en korreksjonsfaktor under reservoarbetingelser basert fra teoretisk synsvinkel.

I tabell 1 er PY/ PV orig og \emptyset in-situ/ \emptyset ATM kalkulert for de forskjellige prøvedybde. Porøsitetene er beregnet fra ligningene (3) og (6). Korreksjonsfaktoren for porøsiteten er kalkulert basert på diskusjonen i fig. 3.

6. Sammenfatning

Overlagingstrykket for brønn 31/2-9 er blitt studert, og en beregning basert på porøsitetmålinger under varierende stress er utført. Faktoren på overlagingstrykket for porøsiteten er funnet til 0.9615 (s.der: 0.0102) ut ifra de 10 kjerneprøver som er tatt. Kjernene har vært frosset og tatt med hjelp av "fiberliner". Beregningene er basert på en teori der en antar

1. elastisk deformasjon
2. isotropt materiale
3. Poissons ration = 0.3
4. $\Delta V_{bulk} \gg \Delta V_{ma}$ dvs. $\Delta V_{bulk} = \Delta V_{por}$.

Ovennevnte antagelser er ikke helt gyldige for blokk 31/2. En har en ukonsolidert sand med varierende mengde av glimmer-innhold. En vil sannsynligvis ikke oppfylle antagelsene om elastisk deformasjon og isotropt materiale.

På basis av den teori som er brukt, vil faktoren på 0.9615 være en indikasjon på størrelsen. Den vil foreløpig bli brukt i evalueringen av brønnen 31/2-9, og samsvarer med tidligere data fra brønnene 31/2-6 og 31/2-8.

7. Referanser

- Teeuw, D. 1971 Predictions of Formation Compaction from Laboratory Compressibility Data SPEJ Sept. 1971 (p. 263-271).
- Teeuw, D. 1973 Laboratory Measurement of Compaction Properties of Groningen Reservoir Rock Verhandlingen Kon. Ned. Geol. Mijnbouwk, Gen. Vol. 28 (p. 19-32).
- van der Knaap, W. Nonlinear Behaviour of Elastic Poroos Media Petr. Transaction Vol. 216 (p. 179-186).
- Geertsma, J. 1957 The effect of fluid pressure decline on volumetric Changes of Porous Rocks. Petr. Transactions Vol. 210 (p. 331-339).

| Dybde | $\Delta_{PV} / PV \text{ orig.}$ | | | | $\emptyset_{IN-SITU} / \emptyset_{ATM}$ | | | | Faktor OB v/158 bar |
|---------|----------------------------------|-------|-------|-------|---|--------|--------|--------|---|
| | 50 | 100 | 150 | 200 | 50 | 100 | 150 | 200 | |
| 1555.65 | 0.018 | 0.033 | 0.044 | 0.054 | 0.9913 | 0.9841 | 0.9788 | 0.9739 | 0.9776 R2 = 0.9879 a = 1.0417 b = -0.0125 |
| 1576.50 | 0.037 | 0.069 | 0.092 | 0.113 | 0.9845 | 0.9710 | 0.9611 | 0.9520 | 0.9589 R2 = 0.9879 a = 1.0816 b = -0.0238 |
| 1577.20 | 0.047 | 0.078 | 0.099 | 0.117 | 0.9809 | 0.9681 | 0.9593 | 0.9517 | 0.9576 R2 = 0.9935 a = 1.0678 b = -0.0215 |
| 1582.80 | 0.031 | 0.053 | 0.068 | 0.082 | 0.9862 | 0.9763 | 0.9695 | 0.9632 | 0.9680 R2 = 0.9912 a = 1.0535 b = -0.0167 |
| 1585.50 | 0.051 | 0.083 | 0.105 | 0.122 | 0.9790 | 0.9655 | 0.9562 | 0.9489 | 0.9547 R2 = 0.9959 a = 1.0691 b = -0.0224 |
| 1592.20 | 0.019 | 0.041 | 0.050 | 0.061 | 0.9920 | 0.9827 | 0.9788 | 0.9741 | 0.9774 R2 = 0.9948 a = 1.0429 b = -0.0128 |
| 1594.00 | 0.045 | 0.074 | 0.092 | 0.107 | 0.9814 | 0.9692 | 0.9616 | 0.9552 | 0.9602 R2 = 0.9974 a = 1.0588 b = -0.0193 |
| 1601.20 | 0.035 | 0.063 | 0.078 | 0.091 | 0.9834 | 0.9701 | 0.9629 | 0.9566 | 0.9614 R2 = 0.9990 a = 1.0623 b = -0.0197 |
| 1611.55 | 0.056 | 0.088 | 0.108 | 0.122 | 0.9729 | 0.9572 | 0.9474 | 0.9404 | 0.9461 R2 = 0.9995 a = 1.0709 b = -0.0245 |
| 1622.25 | 0.047 | 0.079 | 0.095 | 0.108 | 0.9776 | 0.9621 | 0.9544 | 0.9480 | 0.9530 R2 = 0.9991 a = 1.0654 b = -0.0220 |

Gj.snitt: 0.9615

Sder: 0.0102

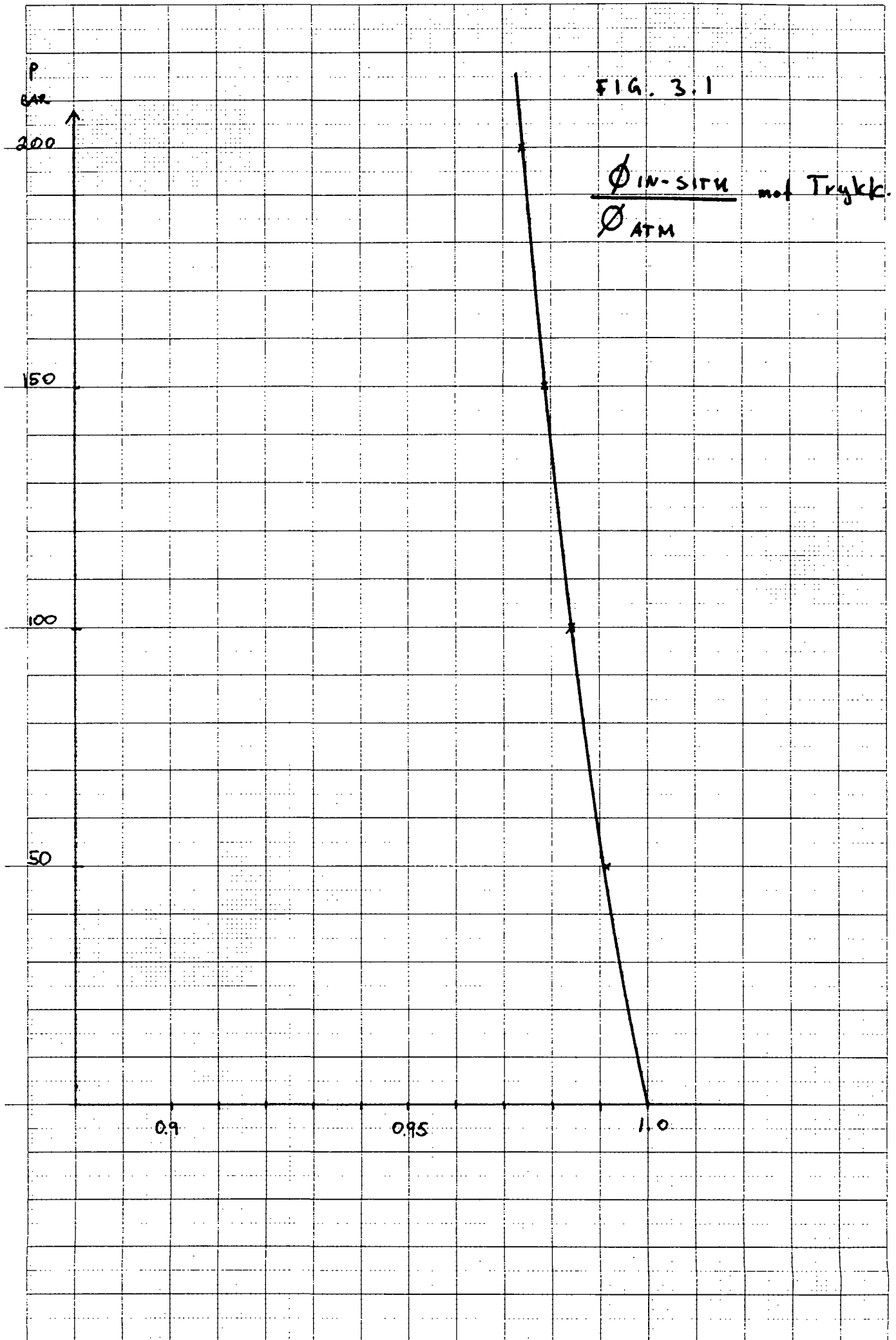


Fig. 3.2

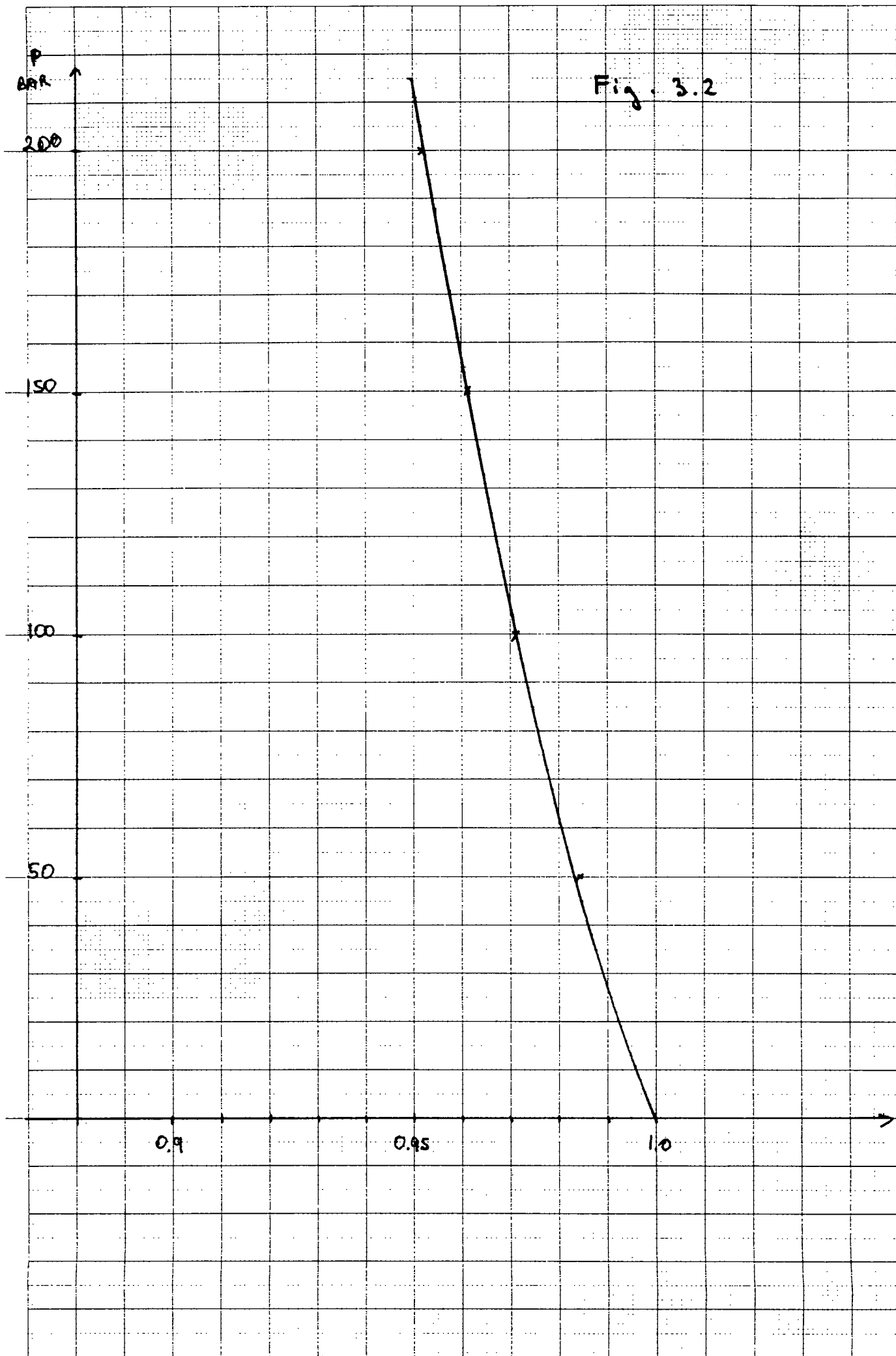
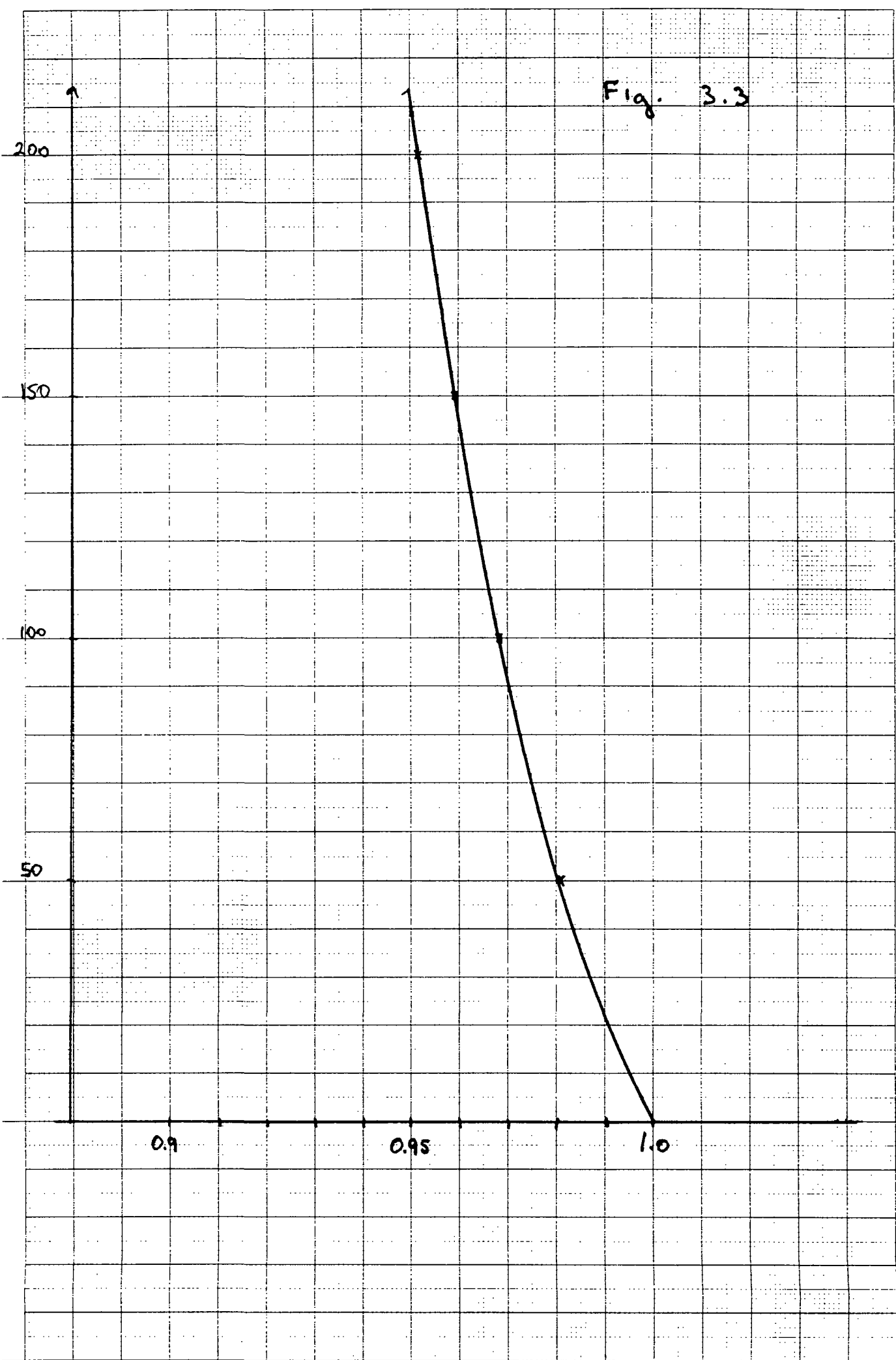


Fig. 3.3



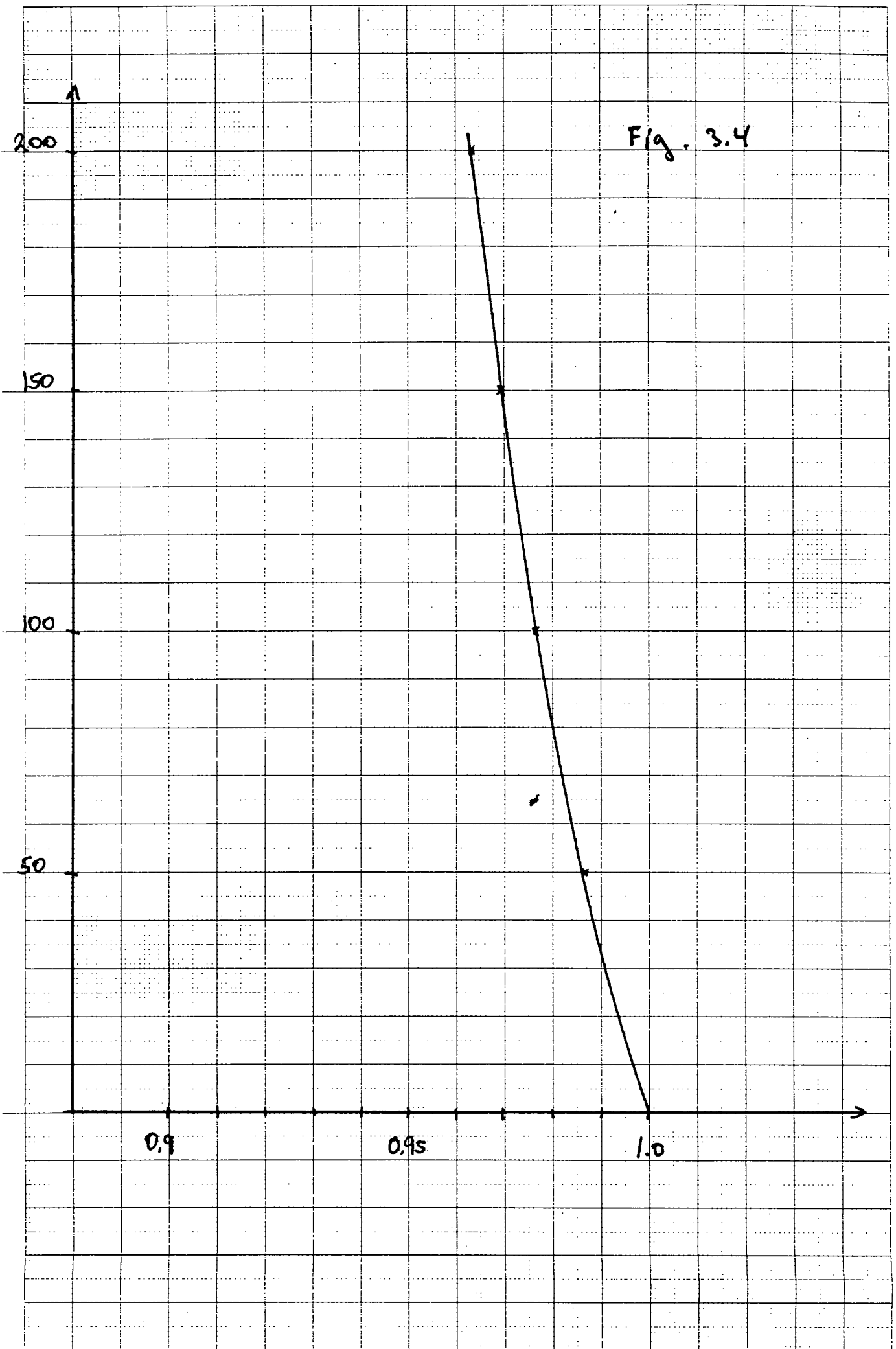


Fig. 3.4

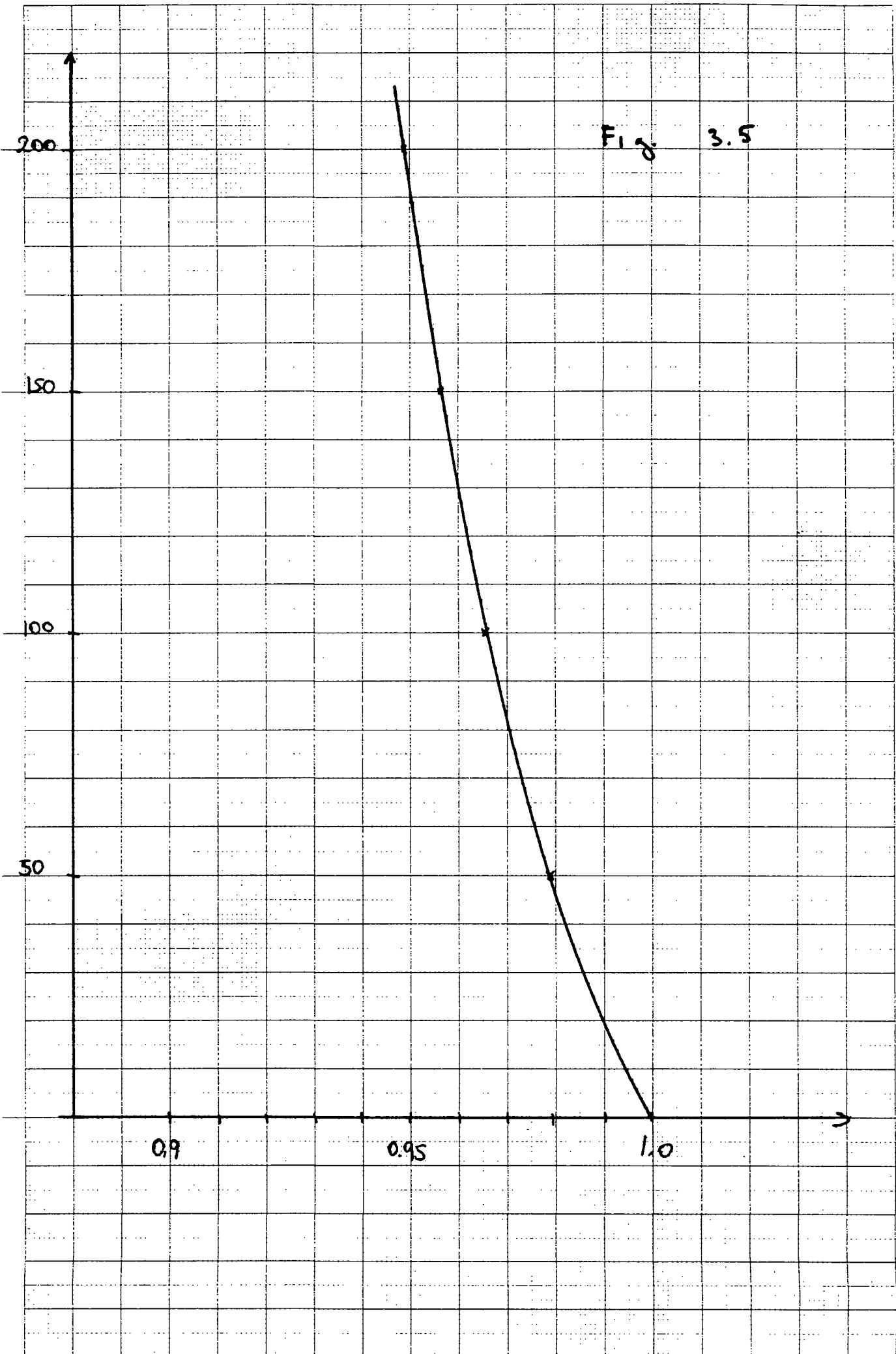
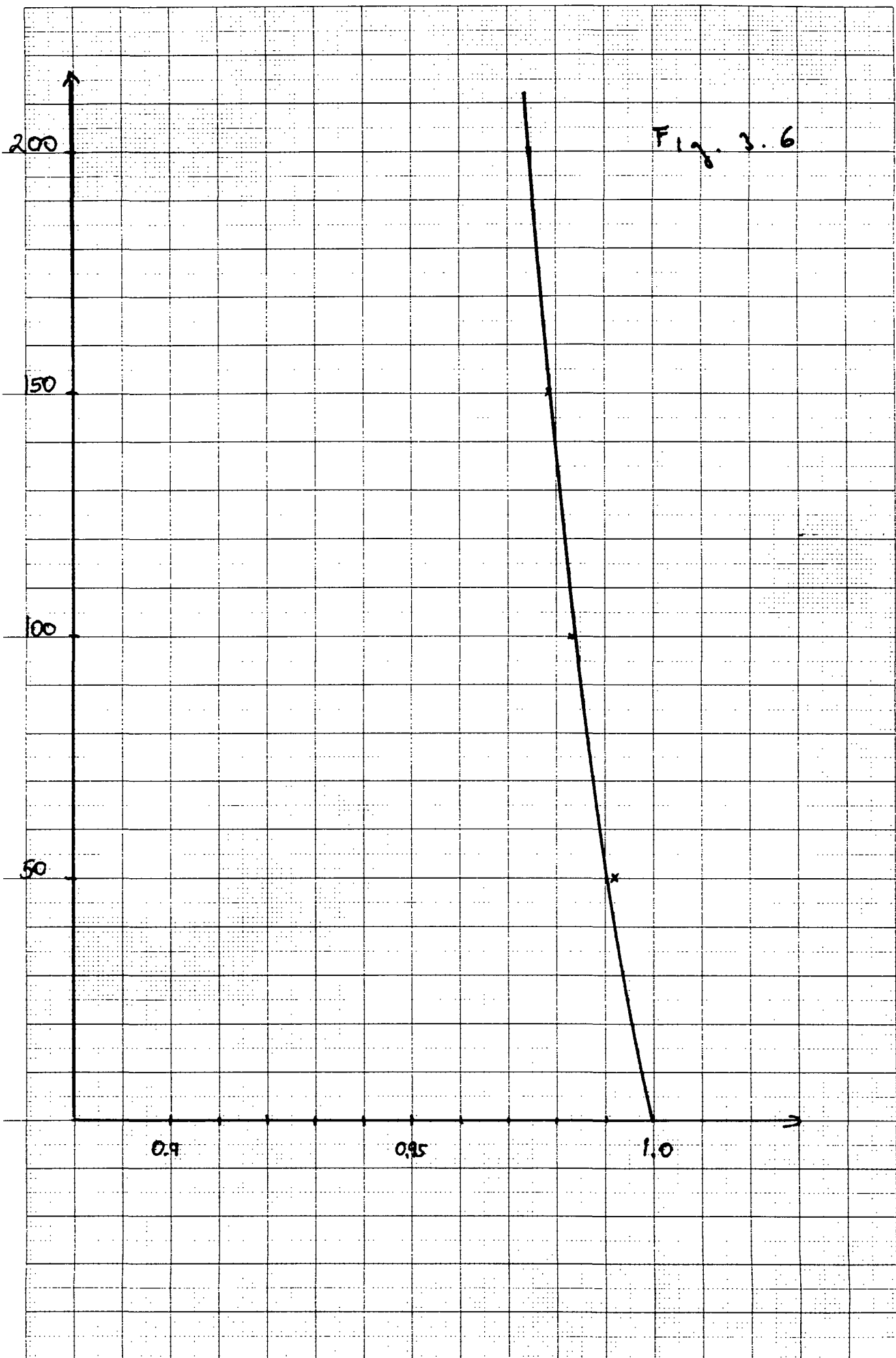


Fig. 3.5



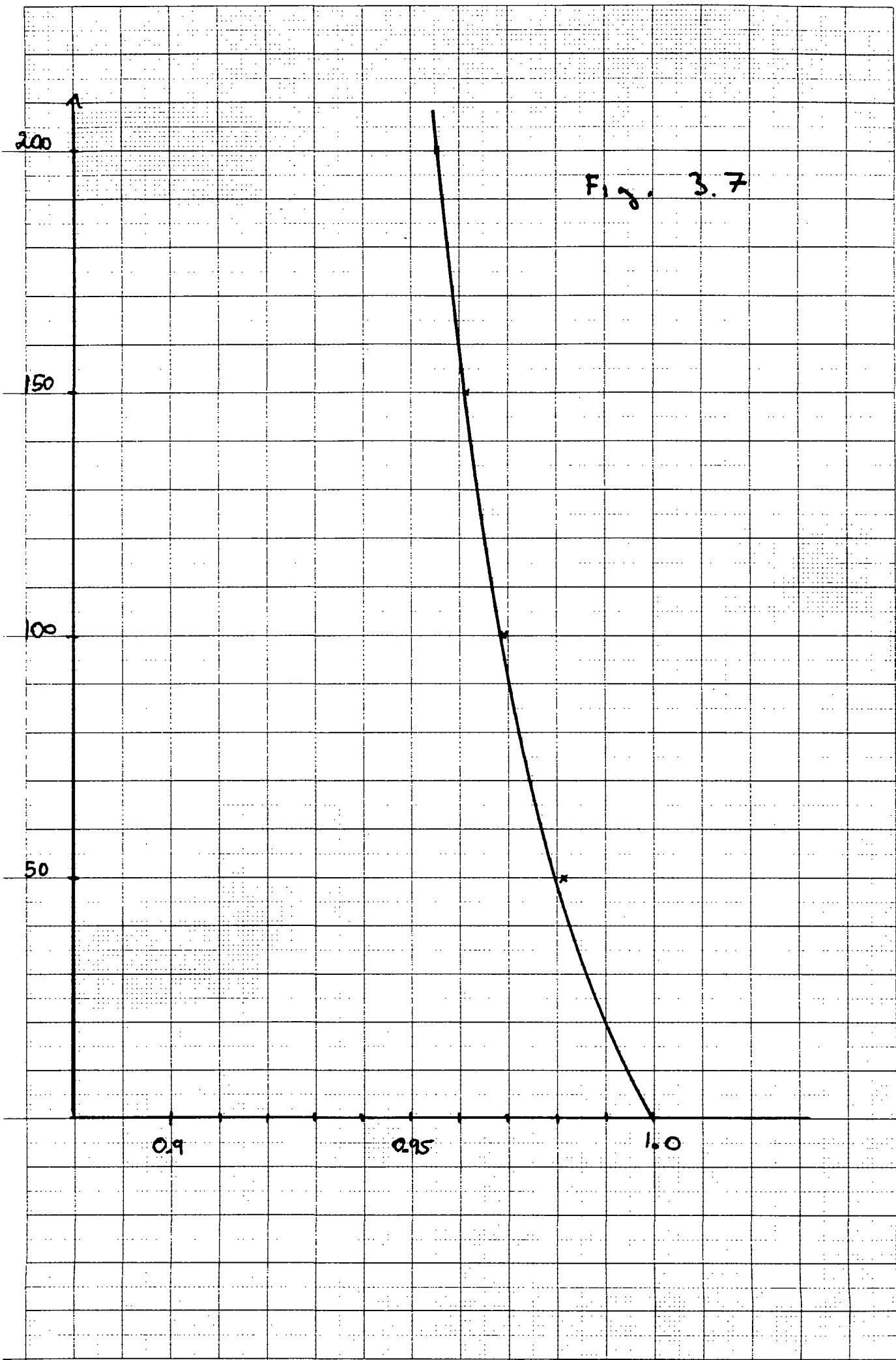


Fig. 3.7

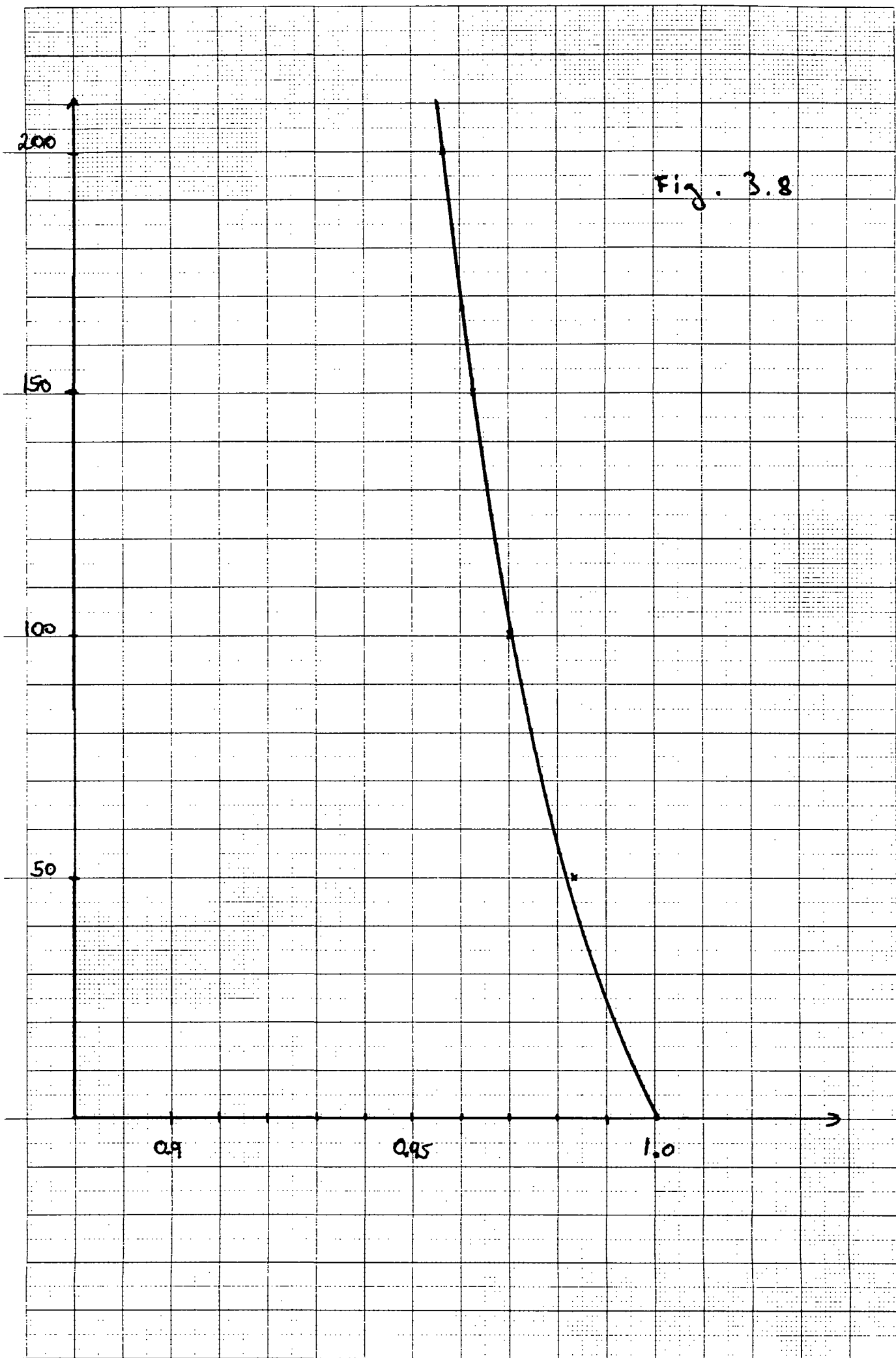


Fig. 3.8

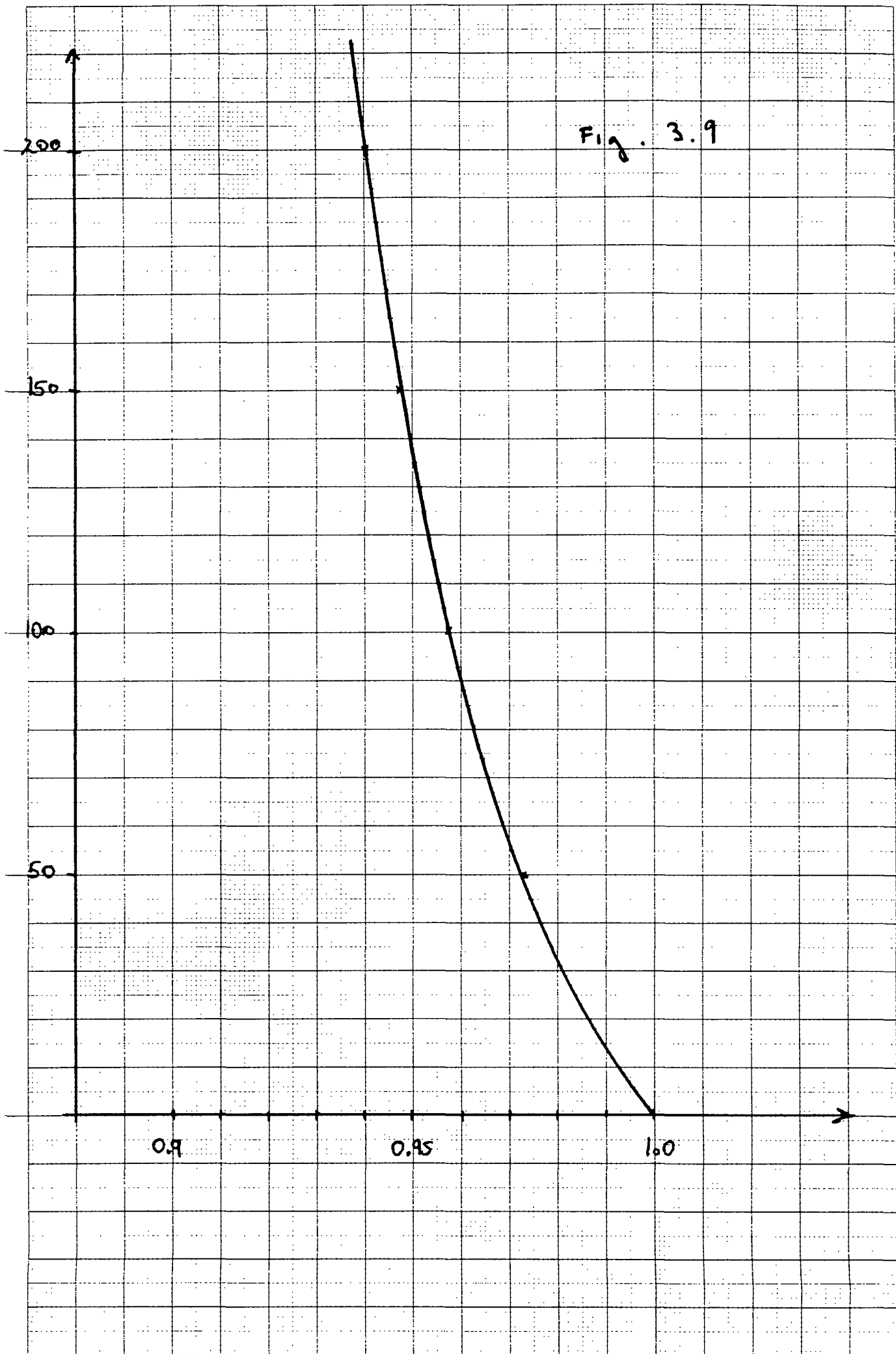


Fig. 3.9

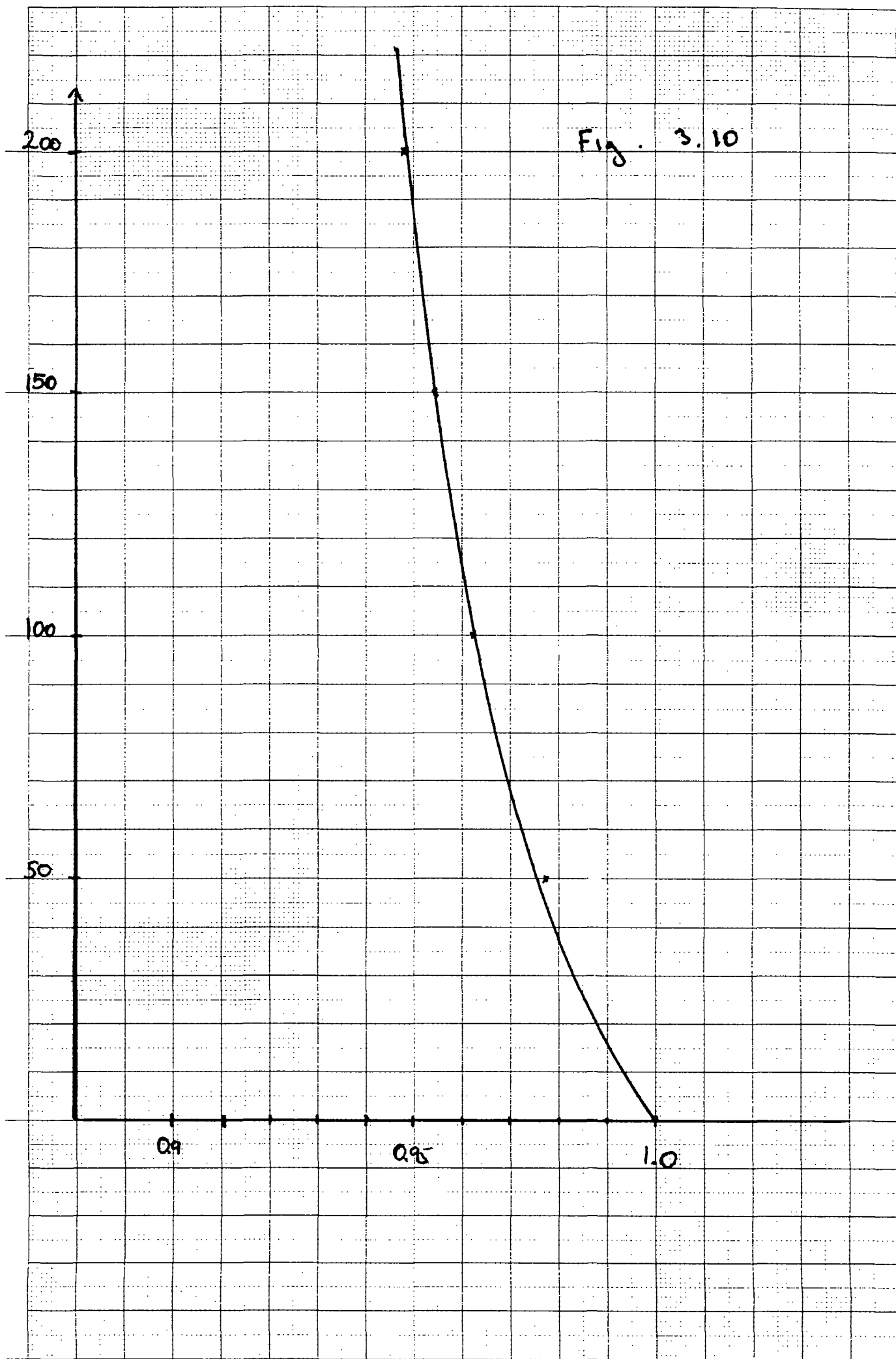


Fig. 3.10