

Vysoká škola strojní a textilní v Liberci
nositelka Řádu práce
Fakulta strojní
Ober 23-07-8

strojírenská technologie
zaměření
tváření kovů a plastických hmot
Katedra tváření a plastů

VLIV PODMÍNEK ZKOUŠENÍ NA VÝSLEDEK HODNOT NOR-
MÁLOVÉ ANIZOTROPIE OCELOVÝCH PLECHŮ

KTP - 029

Miloslav Wach

Vedoucí práce : ing. František Beran
Konzultant : ing. Zdeněk Buchar

Rozsah práce a příloh :

Počet stran	:	58
Počet příloh a tabulek	:	4
Počet obrázků	:	31

KPT/TP

Datum : 10. 6. 1981

Vysoká škola: strojná a textilní

Katedra: tváření a plastů

Fakulta: strojná

Školní rok: 1980/81

DIPLOMOVÝ ÚKOL

pro S. W a c ha Miloslava

obor strojírenská technologie

Protože jste splnili..... požadavky učebního plánu, zadává Vám vedoucí katedry ve smyslu směrnic ministerstva školství a kultury o státních závěrečných zkouškách tento diplomový úkol:

Název tématu: "Vliv podmínek zkoušení na výsledek hodnoty
normálové anizotropie ocelových plechů"

Pokyny pro vypracování:

1. Seznamte se s různými metodami zjišťování normálové anizotropie plechu.
2. Z dosavadních pramenů shromážděte dosavadní znalosti hodnot normálové anizotropie plechů KOHAL 20 EXTRA včetně vlivu podmínek zkoušení na studovanou vlastnost.
3. Navrhněte metodiku zkoušek studia normálové anizotropie s použitím indukčních el. snímačů pro studium vlivu šířky zkušebních tyčí na výsledek zkoušek.
4. Proveďte příslušné zkoušky navrženou metodou u plechů jakosti KOHAL 20 EXTRA. Výsledky zpracujte a srovnejte s dovadními poznatky.
5. Na základě zjištěných poznatků zhodnoťte vlastnosti a význam nových metod zkoušení a posuďte možnosti dalšího využití.

Autorské právo se řídí směrnicemi
MŠK pro státní záv. zkoušky č.j. 31
727/62-III/2 ze dne 13. července
1952 Věstník MŠK XVIII, sešit 24 ze
dne 31.8.1962 §19 aut. z. č. 115/53 Sb.

V 392/1987 S
VYSOKÁ ŠKOLA STROJNÁ A TEXTILNÍ
Ústřední knihovna
LIBEREC 1, STUDENTSKÁ 6
PSČ 461 17

grafických laboratorních prací:

průvodní zprávy: 40 stran textu + přílohy

odborné literatury:

1. DRASTÍK a KOL.: Plastometry a tváritelnost kovů. SNTL 1977
2. POLÁK: Anizotropia a hlukořažnost ocelových plechov. ALFA Bratislava 1978.
3. TMEJ, J.: Tváření kovů. Skripta VŠST Liberec 1977
4. RÁDLOVÁ, M.: Indukční snímač plastických deformací plechů. DP ST 1635/80 VŠST Liberec.
5. ATKINSON, MACLEAN: The Measurement of Normal plastic anisotropy in Shee Steel, Sheet Metal Industries, duben 1965.

autor diplomové práce: Ing. František Běran

konstanti: Ing. Z. Buchar

datum zahájení diplomové práce: 15.9.1980

datum odevzdání diplomové práce: 12.6.1981.



Doc. Ing. J. Tmej, CSc.

Vedoucí katedry

RNDr. Doc. Boh. Stráž, CSc.

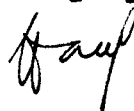
Děkan

v Liberci dne 9.9. 1980.

Místopřísežně prohlašuji, že jsem diplomovou
práci vypracoval samostatně s použitím
uvedené literatury.

V Liberci dne :

vlastnoruční podpis :

A handwritten signature in cursive script, appearing to read 'Haufl'.

OBSAH

0) Úvod	str. 6
1) Zavedení pojmu anizotropie, matematický popis anizotropických vlastností	
1,1) Definice anizotropie, její příčiny a význam ..	str. 9
1,2) Vliv krystalografické textury na součinitel normálové anizotropie	str. 13
1,3) Normálová anizotropie a cípovitost výtažků ...	str. 15
1,4) Normálová anizotropie a mezní koeficient tažení	str. 16
1,5) Zhodnocení vlivu normálové anizotropie	str. 17
2) Stávající metody zjišťování součinitele normálové anizotropie	
2,1) Metodika stanovení součinitele normálové anizotropie metodou přerušované tahové zkoušky	str. 18
2,2) Metodika měření hodnot součinitele normálové anizotropie indukčními snímači SDT	str. 21
2,3) Zhodnocení stávajících metod měření normálové anizotropie	str. 22
3) Metodika měření příložnými indukčními snímači	
3,1) Konstrukce příložných snímačů	str. 27
3,2) Měřicí zařízení	str. 27
3,3) Ověření vlastností příložných snímačů	str. 29
3,4) Příprava zkušebních vzorků	str. 31
3,5) Vlastní průběh měření	str. 34
3,6) Vyhodnocení měření	str. 34
4) Výsledky měření	str. 36
5) Závěr	str. 52
6) Přílohy	str. 54
Seznam použité literatury	str. 58

Seznam použitých symbolů

- R - součinitel normálové anizotropie
- r - průměrný součinitel normálové anizotropie
- ΔR - stupeň plošné anizotropie součinitele normálové anizotropie
- b_0 - výchozí šířka vzorku
- b - šířka vzorku po deformaci
- a_0 - výchozí tloušťka vzorku
- a - tloušťka vzorku po deformaci
- l_0 - výchozí měrná délka vzorku
- l - měrná délka vzorku po deformaci
- φ_b - přirozená deformace šířky
- φ_s - přirozená deformace tloušťky
- α - úhel, který svírá osa zkušebního vzorku se směrem válcování
- R_α - součinitel normálové anizotropie pod úhlem α
- ΔH - stupeň cípovitosti výtažků

Ú v o d

V současném období vývoje a výstavby československého národního hospodářství je rozhodujícím úkolem jeho progresivní rozvoj. Progresivní rozvoj musí vycházet z nejnovějších poznatků, aby bylo možno zavést výtěžky technického pokroku do výroby. Z tohoto hlediska důležitá úloha připadá výrobě a spotřebě plechu.

Použití plechu má přímý a progresivní vliv na rozvoj jednotlivých výrobních odvětví, ať už je to strojírenství, stavebnictví, chemický a potravinářský průmysl apod. Použití plechu totiž způsobuje radikální změnu materiálové základny zpracovatelských odvětví a charakterizuje jej efektivnější využití kovu, t. j. snížení celkové hmotnosti výrobků. To je důležité zejména pro ČSSR, která jako vyspělý průmyslový stát vyváží vysoký podíl své strojírenské výroby. Protože ČSSR většinu základních surovin dováží, promítne se to zejména do devizové oblasti a z toho vyplývá nevyhnutelnost výroby zařízení vynikajících parametrů při současně nízké hmotnosti. A právě zde se naskytají široké možnosti pro použití plechů, neboť náhrada obrobků, odlitků, výkovků nebo jejich kombinace s výlisky podstatně snižuje vlastní hmotnost zařízení a součástí.

Použití plechu je velmi důležité zejména ve strojírenství, které je hlavním předpokladem rozvoje celé průmyslové výroby. To přináší nevyhnutelnost zdokonalit existující technologii, případně zavádět nové technologické procesy s využitím nejmodernějších mechanizačních a automatizačních zařízení.

V posledních letech světový výzkum v oblasti zpracování plechu tvářením velmi pokročil. Jde zejména o výzkum vlastností a procesu tváření nízkouhlíkových ocelových plechů, kterým se dříve nevěnovala náležitá pozornost. Lze říci, že v současnosti přestává být tváření plechů otázkou zručnosti a rutiny, a stává se vědou.

Mechanická teorie tváření zkoumá kovové materiály jako izotropní homogenní hmoty, studuje síly potřebné pro tváření, napětí a jimi způsobené deformace. Fyzikální teorie tváření vychází ze studia vnitřní stavby kovových materiálů, zkoumá také síly, napětí a deformace, ale do popředí klade krystalografické a strukturní hledisko.

Hlubokotažné ocelové plechy vykazují krystalografické a geometrické uspořádání struktury jako důsledek usměrnění lící struktury tvářením. Tato skutečnost vedla ke studiu textur, které jsou příčinou anizotropie mechanických vlastností, to zn. různých hodnot mechanických a fyzikálních vlastností v různých směrech plechu.

Problematicke anizotropie hlubokotažných ocelových plechů a jejího vlivu na proces hlubokého tažení v posledních letech věnoval výzkum mimořádnou pozornost. Zájem se soustředil zejména na normálovou anizotropii, jejíž velikost je vyjádřena součinitelem normálové anizotropie. Dlouho setrval názor, že anizotropie plechů je vyloženě nepříznivá vlastnost, ale dokázalo se, že poznáme-li zákony chování anizotropních materiálů, dá se této vlastnosti při hlubokém tažení plechů příznivě využít.

Součinitel normálové anizotropie se tak stal jedním z kritérií hlubokotažnosti plechu.

Literatura v této oblasti je v současné době již velmi rozsáhlá, v této práci bylo použito poznatků z literatury /1 - 10/.

1) ZAVEDENÍ POJMU ANIZOTROPIE, MATEMATICKÝ POPIS ANIZOTROPICKÝCH VLASTNOSTÍ

1,1) Definice anizotropie, její příčiny a význam

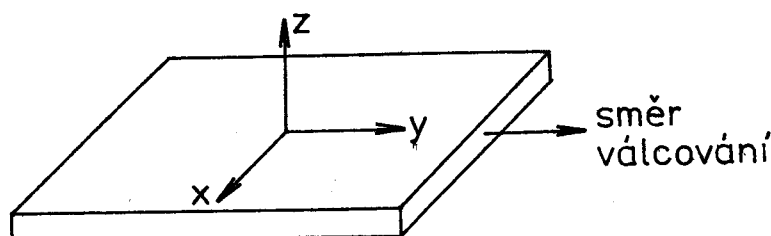
Pro uspořádání atomů /iontů/ kovu je přirozeným stavem stav krystalický, t. j. stav charakteristický pravidelným uspořádáním a tím s nejnižší hladinou energie v daných podmínkách. Toto pravidelné uspořádání atomů je charakterizováno krystalovou buňkou /mřížkou/. U většiny kovů vznikají krystalové buňky s maximální souměrností a nejtěsnějším seskupením atomů v rovnovážných polohách, jsou to krystalové buňky : krychlová prostorově středěná, krychlová plošně středěná a šesterěčná s nejtěsnějším uspořádáním. Každá z nich má charakteristické roviny a směry, ve kterých má i specifické fyzikální vlastnosti. Z tohoto hlediska je anizotropní a jako taková se bude chovat i krystalová mřížka uvnitř jednotlivých zrn materiálu. Je-li však orientace mřížky v jednotlivých zrnech různá, chová se kov jako izotropní, t. j. bez výrazné směrovosti vlastností, a jde o tzv. kvaziizotropní materiál. Určitou technologií /válcování/ můžeme dosáhnout ve větší či menší míře přednostní orientace mřížky v jednotlivých zrnech a tím i anizotropie vlastností daného materiálu - textury - z hlediska vnějšího chování.

Z hlediska hlubokotažnosti mají význam nejen absolutní hodnoty mechanických vlastností válcovaných plechů, ale i jejich směrové hodnoty, t. zn. anizotropie.

U hlubokotažných plechů zjišťujeme dva druhy anizotropie (obr. 1)

1/ plošná - v rovině $x - y$

2/ normálová - ve směru osy z



Obr. 1 Druhy anizotropie

Pojem plošná anizotropie plechů vyjadřuje směrovou závislost mechanických a fyzikálních vlastností v rovině plechu vzhledem ke směru válcování. Plošná anizotropie vzniká jako důsledek strukturní a krystalografické deformační, resp. žíhací, textury, které jsou spojené s metalurgickými a výrobními podmínkami výroby plechů.

Normálová anizotropie plechů vyjadřuje nerovnoměrnost mechanických a fyzikálních vlastností v rovině plechu vzhledem k mechanickým a fyzikálním vlastnostem ve směru tloušťky. Při tažení plechu dochází ve směru šířky i tloušťky k deformaci, přirozená deformace šířky /tloušťky/ je vyjádřena jako logaritmus podílu výchozí šířky /tloušťky/ ku šířce /tloušťce/ po deformaci. Vzhledem k anizotropii mechanických vlastností nejsou obě deformace rovnocenné, podíl přirozené deformace šířky ku přirozené deformaci tloušťky se nazývá součinitel normálové anizotropie

$$\varphi_b = \ln \frac{b_0}{b}$$

$$\varphi_s = \ln \frac{s_0}{s}$$

$$R = \frac{\varphi_b}{\varphi_s}$$

- φ_b - přirozená deformace šířky
- b_0 - výchozí šířka
- b - šířka po deformaci
- φ_s - přirozená deformace tloušťky
- s_0 - výchozí tloušťka
- R - součinitel normálové anizotropie

Tento součinitel normálové anizotropie zjišťujeme při zkoušce jednoosým tahem.

Velikost součinitele R je v různých směrech vzhledem ke směru válcování různá, rozdíly v jeho hodnotách vzhledem k hodnotě R ve směru válcování vyjadřují stupeň plošné anizotropie ΔR /v rovině plechu/ a náchylnost k tvorbě cípů při hlubokém tažení. Průměrnou hodnotu součinitelů normálové anizotropie měřených v různých směrech vyjadřuje průměrný součinitel normálové anizotropie r .

Ovšem měřit součinitel R podle definice by bylo prakticky velmi obtížné, šlo by totiž o přesné měření dvou velmi rozdílných rozměrů. Připočteme-li k tomu dovolené odchylky v tloušťce plechu, budou takto vypočtené hodnoty R málo přesné. Proto byl navržen vztah vycházející ze zákona stálosti objemů před a

po plastické deformaci

$$R = \frac{\ln \frac{b_0}{b}}{\ln \frac{bl}{b_0 l_0}} \quad (4)$$

kde l_0 je výchozí měrná délka vzorku.

Pro výpočet součinitele r stačí změřit jednotlivé hodnoty R pouze ve třech směrech 0° , 45° , 90° vzhledem ke směru válcování, tyto tři hodnoty jsou postačující pro plné charakterizování normálové anizotropie daného materiálu. V literatuře [5] je odvozen vztah, který umožňuje vypočítat součinitel R v libovolném směru s dostatečnou přesností právě ze tří známých hodnot součinitele R ve směrech 0° , 45° , 90° .

$$R_\alpha = \frac{\cos^2 2\alpha + \frac{1}{2} \left(\frac{R_{45}}{R_0} + \frac{R_{45}}{R_{90}} \right) \sin^2 2\alpha}{\frac{1}{R_0} \cos^2 \alpha + \frac{1}{R_{90}} \sin^2 2\alpha} \quad (5)$$

Kde α je úhel, který svírá osa zkušební vzorku se směrem válcování.

Pro výpočet průměrného součinitele normálové anizotropie r je dostačující použít vztah

$$r = \frac{1}{4} (R_0 + 2R_{45} + R_{90}) \quad (6)$$

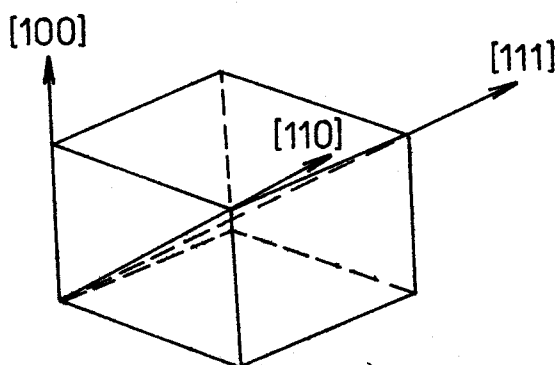
Pro výpočet stupně plošné anizotropie součinitele normálové anizotropie je doporučen v literatuře /1/ vztah

$$\Delta R = \frac{1}{2} (R_0 - 2R_{45} + R_{90}) \quad (7)$$

1,2) Vliv krystalografické textury na součinitel normálové anizotropie

Pro dosažení optimální hodnoty normálové anizotropie by bylo třeba vyrábět plechy se speciální krystalografickou texturou, která by zaručovala vysoké hodnoty součinitele normálové anizotropie a vyloučila vznik plošné anizotropie, jež ovlivňuje cípetost při hlubokém tažení.

Zrno feritu s kubickou prostorově centrovanou mřížkou má nejvyšší pevnost ve směru $\langle 111 \rangle$, nižší potom ve směru $\langle 110 \rangle$ a nejnižší ve směru $\langle 100 \rangle$



Obr. 2 Směrový průběh pevnosti
v kubické soustavě

Existuje tedy souvislost mezi hodnotou součinitele R a

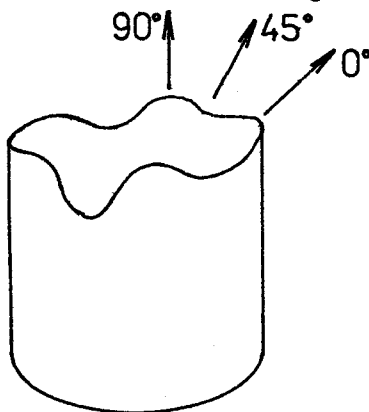
krytalografickou texturou za studena válcovaných plachů. Pro praktické využití tohoto poznatku je nejdůležitější stanovení takové orientace, při níž je součinitel normálové anizotropie R maximální a plošná anizotropie minimální. Optimální hlubokotažnosti dosáhneme tehdy, jsou-li roviny $\{111\}$, rovnoběžné s povrchem plechu. Jsou-li v tomto případě směry ve směru válcování statisticky stejně zastoupeny, dosáhneme vysoké hodnoty r a nulové hodnoty ΔR . Tohoto stavu však v praxi nelze dosáhnout, i když se mu lze přiblížit vhodným zpracováním uklidněných ocelí. Ukazuje se, že lze dosáhnout hodnot r větších než 2,5, obvyklé hodnoty se pohybují kolem 1,5.

Optimální hodnoty normálové i plošné anizotropie lze dosáhnout jen ovlivněním metalurgického a výrobního procesu, největší vliv mají: chemické složení, obsah a forma vyloučených nečistot, výskyt a rozdělení sekundárních fází, teplota doválcování, stupeň deformace při válcování za studena, teplota žíhání a rychlost ohřevu, působení plynů během žíhání.

Texturu lze ovlivnit zejména válcováním za tepla, neboť jen jím lze dosáhnout příznivého rozložení cementitu, lze jím zrovnoměrnit velikost feritického zrna. Struktura po dobře provedeném válcování za tepla se podobá strukture po normalizačním žíhání nízkouhlíkové oceli. Aby se dosáhlo vysoké hodnoty r , musí se teplota pohybovat mezi 1 123 až 1 173 K. Na hodnotu r má vliv velikost zrna, r roste s poklesem velikosti zrna. Podle zahraničních patentů mají na hodnotu r vliv i některé přídavné prvky - měď, fosfor, titan a další. Vliv přímesových prvků je všeobecně velmi rozmanitý a zajímavý, metalurgické aspekty však nejsou náplní této práce.

1, 3) Normálová anizotropie a cípovitost výtažků

Cípem se nazývá rozdíl mezi maximální a minimální výškou po obvodu výlisku. Bylo zjištěno, že maximální a minimální výška výlisku odpovídá maximálním a minimálním hodnotám směrových součinitelů normálové anizotropie R.



Obr. 3 Cípovitost výtažků

Cípovitost se vyjadřuje tzv. stupněm cípovitosti :

$$\Delta H = \frac{H_0 - 2H_{45} + H_{90}}{2}$$

(8)

kde ΔH je stupněm cípovitosti

H_0 , H_{45} , H_{90} , jsou výšky výlisků v příslušných směrech.

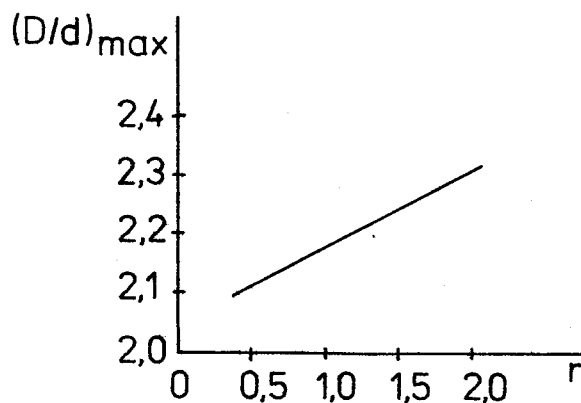
Protože není prakticky možné vyrobit izotropní plech, nemůžeme se vyhnout tvorbě cípů při lisování. Lze tedy jen volit takové metody, které tvorbu cípů omezují. Jsou to metody, jež

vycházejí ze stanovení optimálního tvaru nástřihu a z respektování poznanych směrů tvorby cípů a jejich výšky.

1, 4) Normálová anizotropie a mezní koeficient tažení

Ve vztahu k hlubokému tažení představuje součinitel normálové anizotropie odpor ke ztenčování stěny při vlastním procesu hlubokého tažení. Čím větší je součinitel normálové anizotropie, tím větší odolnost proti ztenčení stěny plech má a tím je tedy pro hluboké tažení vhodnější.

Závislost mezního stupně tažení na hodnotě r je znázorněna na následujícím grafu



Obr. 4 Závislost mezního stupně tažení na hodnotě r

Tyto poznatky ovšem mají omezenou platnost, jde o hluboké tažení válcového výlisku s plochým dnem. Pro jiné tvary není vliv velikosti r na mezní stupeň tažení rozhodující v takové míře.

Základní pravidlo pro využití anizotropních vlastností plechu při tažení je asi takové, že při tažení rotačně symetrických tvarů se musí použít plechy s vysokou hodnotou součinitele r , a pro ostatní výlisky /nerotačně symetrické a nepravidelné/ orientujeme nástřihy tak, aby v místech maximálních deformací byly směry nejvyšších hodnot R .

1, 5) Zhodnocení vlivu normálové anizotropie

V této kapitole jsem chtěl poukázat na některé důležité případy vlivu normálové anizotropie v procesu tažení. Pro zvládnutí vlivu anizotropních vlastností je ovšem nutné tyto vlastnosti měřit, abychom jich mohli plánovitě využít nebo jejich následky eliminovat. Stanovení vhodného nástřihu může mít vysoký ekonomický přínos, neboť se ušetří množství materiálu jehož cena neustále roste. Materiály se směrovými vlastnostmi již našly uplatnění zejména v leteckém a automobilovém průmyslu.

Součinitele normálové anizotropie se používá jako kritéria pro posouzení hlubokotažnosti plechu, vzhledem k tradičním metodám /Erichsenova, Engelhardtova, KWI ... / má vyšší rozlišovací schopnost. Pro posouzení hlubokotažnosti ocelových plechů se používá rozdělení do tří jakostních tříd podle ČSN 01 27 jsou navrženy tyto :

- | | |
|------------------|-------------------|
| 1. jakost MT, ST | $r < 1,25$ |
| 2. jakost HT | $r = 1,25 - 1,60$ |
| 3. jakost VT | $r > 1,60$ |

2) STÁVAJÍCÍ METODY ZJIŠŤOVÁNÍ SOUČiniteLE NORMÁLOVÉ ANIZOTROPIE

2,1) Metodika stanovení součinitele normálové anizotropie metodou přerušované tahové zkoušky

UŽ od počátku výzkumu problematiky normálové anizotropie z hlediska jejího významu jako kriteria pro posouzení vhodnosti plechů k hlubokému tažení se mnoho výzkumných prací věnovalo metodice měření součinitele normálové anizotropie. Různé metodiky měření součinitele normálové anizotropie, používané v různých laboratorích vedly k tomu, že u stejných druhů plechů se dosahovaly různé hodnoty součinitele normálové anizotropie. Proto vznikly snahy vypracovat jednotnou metodiku měření a vyhodnocování normálové anizotropie, aby bylo možné lehce a s vysokou přesností odměřit součinitel normálové anizotropie tak, aby se výsledky dosažené na různých pracovištích mohly srovnávat.

Výsledky celosvětového výzkumu shrnula IDDRG /International Deep Drawing Research Group/ vypracovala doporučenou metodiku měření a vyhodnocování normálové anizotropie. S tímto mezinárodním doporučením je prakticky shodná metodika popsána v práci /8/, tato metodika je mimo jiné popisována a diskutována i v pracích jiných autorů /1/.

V našich podmínkách se zkouška provádí na ploché zkušební tyči s mimořádně dlouhou prizmaticky zatěžovanou částí, tvar zkušební tyče dle prozatímních předpisů VUHŽ je na obr. 5.

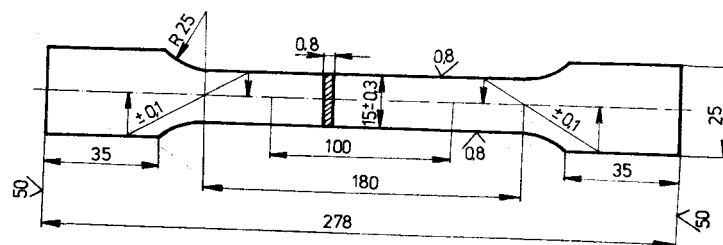
Na zkušebním stroji /"trhačce"/ se zkušební tyč zatíží tak, aby trvalé prodloužení měřené části zkušební tyče bylo 20 % měřené délky. Po odlehčení se proměřením zjistí hodnoty měřené délky a hodnoty šířky zkušební tyče v oboru měřené délky a hodnota součinitele normálové anizotropie R příslušející trvalému prodloužení o 20 % měřené délky se stanoví ze vzorce (4).

Vliv tvaru, rozměrů a přesností výroby vzorků na hodnotu součinitele R resp. r byl zkoumán v práci /6/. Zkoumaly se tři tvary vzorků s různou kombinací měrných délek a šířek. Součinitel R byl měřen ve směru 0° , 45° , 90° , a byl vyhodnocen podle vztahů (4). Výzkum se uskutečnil na plechu z neuklidněné oceli 11 304 a na plechu z uklidněné oceli 11 305.

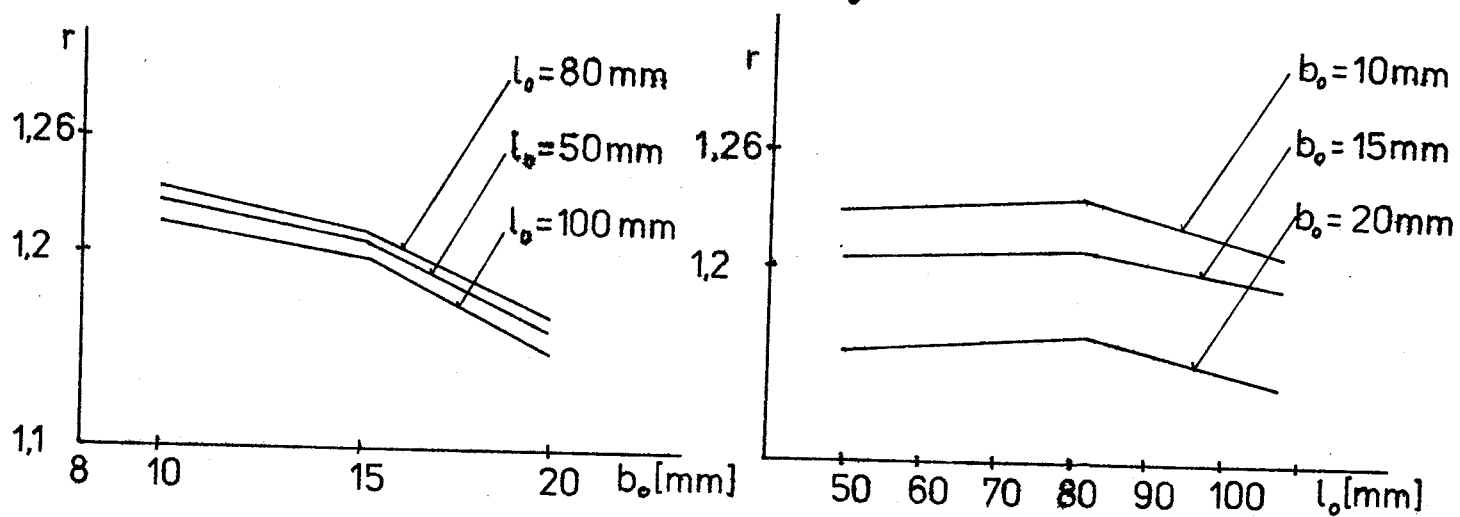
Z vykonané analýzy vlivu měrné šířky a délky vzorku, celkové délky vzorku a tvaru vzorku na součinitel normálové anizotropie dospěli autoři k těmto závěrům :

1. rozhodujícím činitelem pro získání reprodukovatelných hodnot součinitele normálové anizotropie je přesně definovaný tvar a rozměry /měrná šířka, měrná délka, celková délka/ zkušebního vzorku
2. důležitým faktorem ovlivňujícím hodnotu součinitele normálové anizotropie je přesnost výroby a přesnost měření vzorku před a po deformaci
3. vliv rozměrů zkušebního vzorku (obr. 6) na hodnotu součinitele normálové anizotropie je pozorovatelný, všeobecně lze konstatovat, že s rostoucí hodnotou měrné

déřky a řířky hodnoty součinitele normálové anizotropie
klesají



Obr. 5 Zkušební tyč



Obr. 6 Vliv rozměrů zkušební
tyče na hodnoty r

2, 2) Metodika měření hodnot součinitele normálové anizotropie indukčními snímači SDT

Tyto snímače jsou vyráběny v Japonsku, elektronická část zařízení v Anglii, zkušební stroj vyrábí a měřicí zařízení kompletuje Maďarsko.

Podstatou způsobu měření těmito snímači je, že při zkoušce tahem měříme změnu rozměrů zkušebního tělesa pomocí dvou indukčních snímačů (obr. 7, 8). Jeden snímač registruje prodloužení v podélném směru, druhý registruje zúžení ve směru příčném. Součástí obou snímačů jsou dotyky, které registrují změnu rozměrů zkušebního tělesa; tyto dotyky jsou přitlačeny ke zkušebnímu tělesům pomocí pružiny s nastavitelnou silou - umístění vzorku vzhledem ke snímači je na obr. 9.

Zařízení umožňuje měření síly, měření prodloužení v podélném a zúžení v příčném směru, měření součinitele normálové anizotropie r , měření koeficientu zpevnění n a měření stupně přetvoření T podle programu zvoleného pro počítač, který je součástí zařízení. Vlastní blokové schéma měřicího zařízení ukazuje obr. 10.

Měření hodnoty součinitele normálové anizotropie r vychází z Lankfordovy definice

$$L = L_x - L_0$$

$$b = b_0 - b_x \quad (9)$$

Po zavedení nových proměnných a úpravou

$$r = \frac{\ln \frac{b_0}{b_x}}{\ln \frac{L_x b_x}{L_0 b_0}} \quad (10)$$

další úpravou do exponenciálního tvaru dostaneme

$$\Delta b = b_0 \left[1 - \left(1 + \frac{\Delta L}{L_0} \right)^{-\frac{r}{r+1}} \right] \quad (11)$$

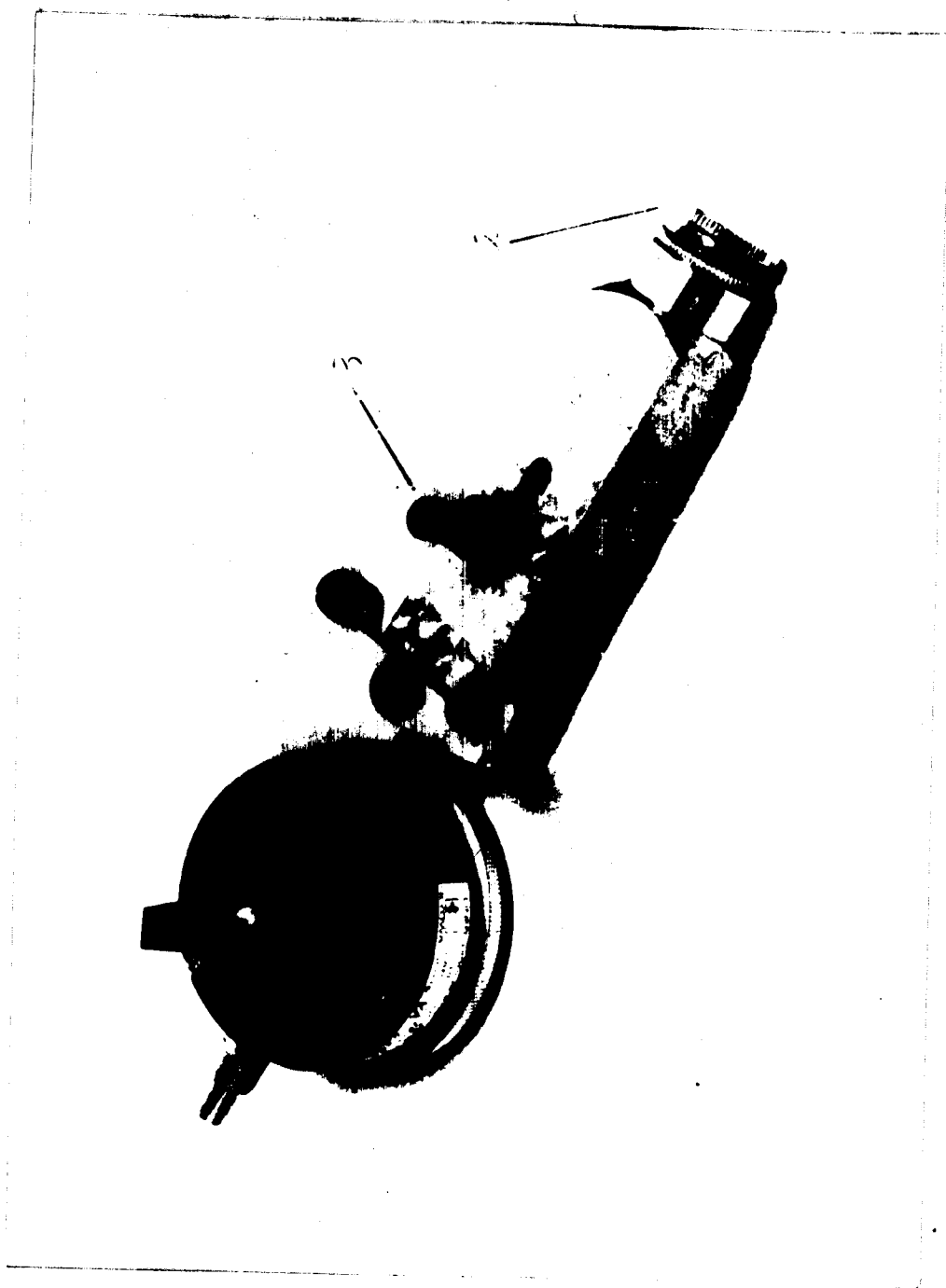
kde L_0 - měřená délka na zkušebním tělese
 L_x - nárůstek měřené délky v průběhu rovnoměrného tahu
 b_0 - počáteční šířka zkušebního tělesa
 b_x - šířka zkušebního tělesa v kterémkoliv čase po hranici rovnoměrného prodloužení

Pomocí počítače je možno z této závislosti zaznamenat množinu křivek závislosti $\Delta b, \Delta L$, kde hodnota r je jedním z parametrů a L_0, b_0 , jsou konstanty. Těchto křivek využíváme pro stanovení součinitele normálové anizotropie.

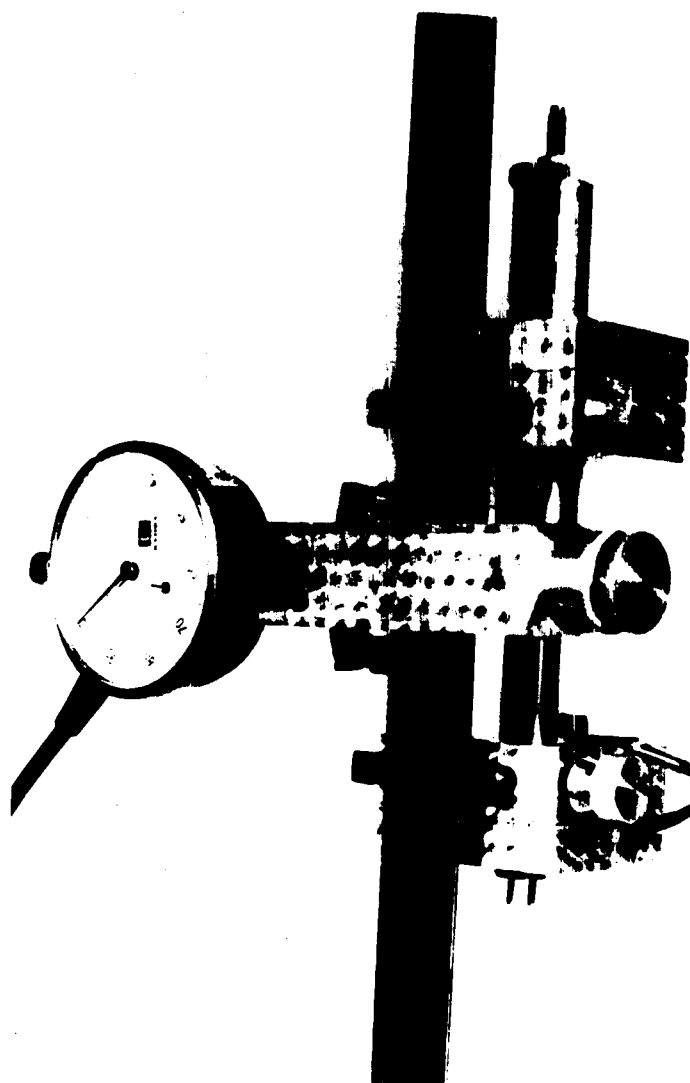
Popis a princip tohoto měřicího zařízení je v literatuře /7/.

2,3) Zhodnocení stávajících metod měření normálové anizotropie

Obě uvedené metody měření mají své klady i zápory. Výhodou přerušované tahové zkoušky je možnost jejího provedení, kdekoliv,



Obr. 7 Snímač příčných deformací SDT



Obr. 8 Snímač podélných deformací SDT

kde je k dispozici trhací stroj. Zjištění průběhu součinitele normálové anizotropie R v závislosti na deformaci představuje však několikanásobné odlehčení a opětné zatížení, což je časově značně náročné. Podstatnější však je, že tato metodika neposkytne skutečný obraz závislosti $R - \varepsilon_L$.

Při tahové zkoušce je zkušební tyč namáhána jednoosým tahem a v průběhu zkoušky se deformuje. V počáteční fázi měření, t. j. do okamžiku dosažení meze kluzu, se na celkové deformaci podílí jak deformace trvalé, tak i pružné. Ovšem z metodiky měření přerušovanou tahovou zkouškou vyplývá, že při měření deformace uvažujeme jen její trvalou část, neboť odlehčením zkušebního vzorku pružné deformace vymizí. Protože ovšem vliv pružných deformací není zanedbatelný, nevyjadřuje počáteční část diagramu závislosti $R - \varepsilon_L$ skutečný obraz této závislosti.

Metodika měření japonskými snímači SDT je ve skutečnosti jen zdokonalením metodiky přerušované tahové zkoušky. Měřená šířka je určena šířkou zkušební tyče. Oproti přerušované tahové zkoušce je tato metodika nesrovnatelně rychlejší a pohodlnější, využití počítače umožňuje okamžité vyhodnocení výsledků. Je ovšem třeba přihlédnout k nemalým devizovým nákladům, a to na celé zařízení, neboť samotné snímače japonská firma nedodává. Tím je dána omezená dostupnost. Otázkou je, nakolik jiný stav napjatosti na okraji zkušební tyče ovlivňuje průběh této zkoušky.

3) METODIKA MĚŘENÍ PŘÍLOŽNÝMI INDUKČNÍMI SNÍMAČI

3,1) Konstrukce příložných indukčních snímačů

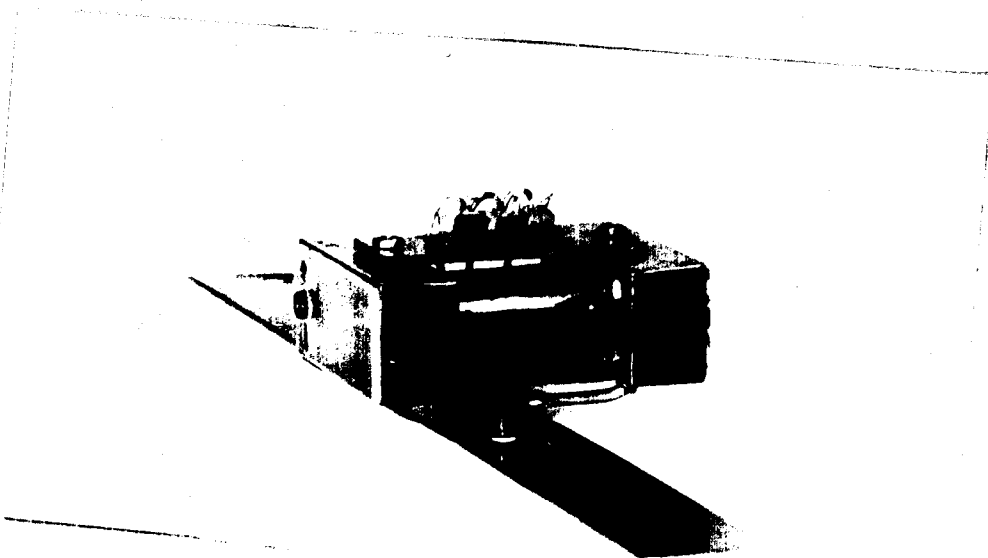
Metodika měření příložnými indukčními snímači, které byly vyvinuty na katedře tváření a plastů VŠST v Liberci, napodobuje měření deformací pomocí deformační sítě.

Pro konstrukci příložných snímačů bylo použito principu diferenčního zapojení dvou cívek, jejich impedance se mění posuvem feromagnetického jádra.

Pro měření průběhu deformací zkušební tyče je třeba použít dvou snímačů; jeden pro snímání příčných a druhý pro snímání podélných deformací. Počáteční měrná délka l_0 (šířka b_0) je vytčena vzdáleností dvou hrotů, z nichž jeden je pevný a druhý, pohyblivý, mechanickým převodem zajistí pohyb feromagnetického jádra, úměrný změně rozteče obou hrotů. Kromě obou hrotů spočívají snímače na dvou opěrkách z teflonu (pro nízký koeficient tření mezi opěrkou a povrchem zkušební vzorku), oba hroty i opěrky jsou zřetelné na obr. 10, 11.

3,2) Měřicí zařízení

Na obr. 12 je blokové schéma celého měřicího zařízení. Vedle obou snímačů se skládá z dynamometrické aparatury TDA 3, lineárního zapisovače ENDIM 2 200 a z napínacího rámu. Napínacího rámu bylo použito proto, protože zkoušky



Obr. 10 Snímač příčných deformací



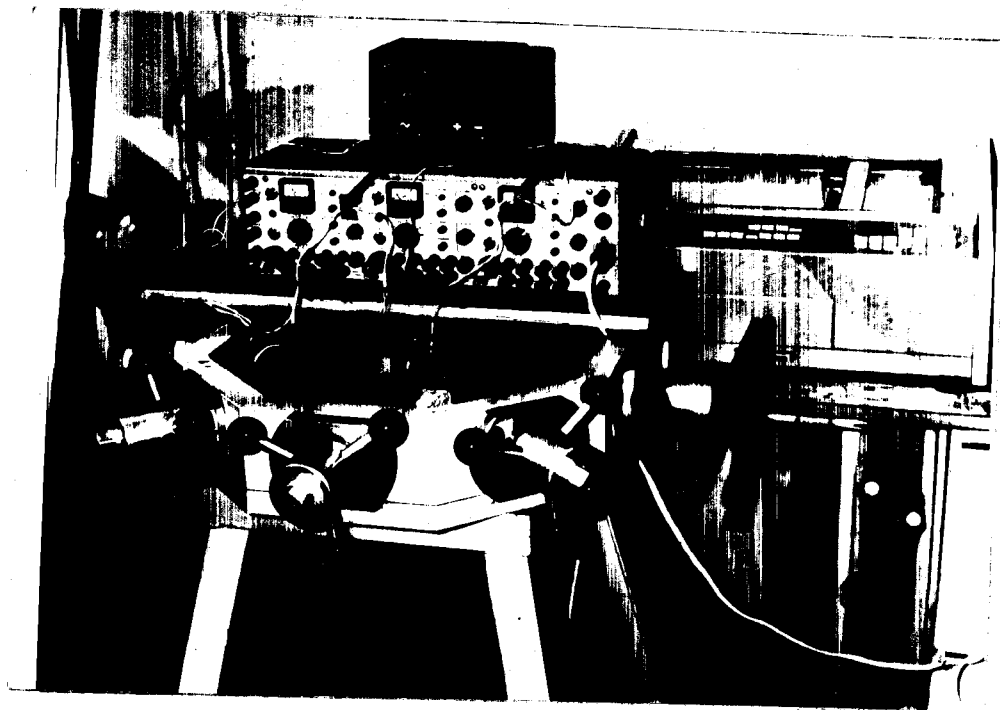
Obr. 11 Snímač podélných deformací

vzhledem k příložnému charakteru snímačů musí probíhat ve vodorovné poloze a vodorovný trhací stroj nebyl k dispozici. Obr. 13 ukazuje celé měřicí zařízení, detailní pohled na zkušební vzorek příložnými snímači upnutý do čelistí napínacího rámu je na obr. 14.

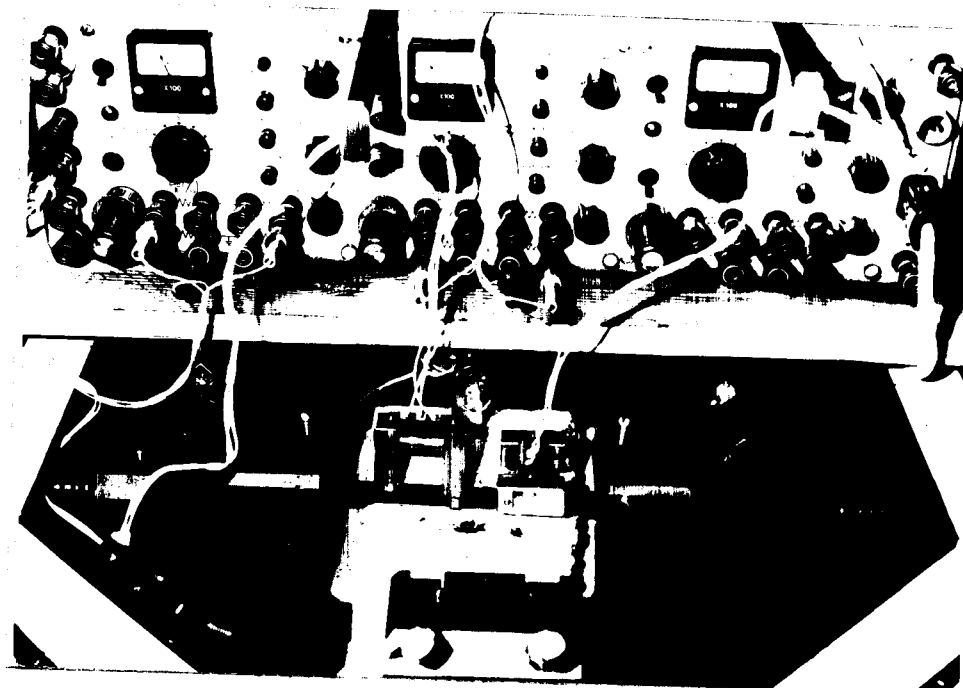
3,3) Ověření vlastností příložných snímačů

Před zahájením vlastních měření a ke kontrole měřených vlastností po dokončení zkoušek je potřeba vždy provádět příslušné zkoušky ověření elektrických příložných snímačů při kompletaci s elektrickým vybavením tenzometrické aparatury tak, aby v příslušných oborech rozměrových změn byly stanoveny příslušné hodnoty rozměrových modulů registrovaného diagramu. K ověřování snímačů byl použit přípravek dovolující posuv hrotů snímačů v rozsahu zdvihu 10 mm s přesností odečítaného posuvu na setiny mm číselníkovým úchylkoměrem. Hroty snímače se ukládají do důlků ve slabých ocelových foliích. Pohyb jednoho z hrotů je spojen s táhlem číselníkového úchylkoměru. Při nastavení citlivosti $50 \frac{0}{00}$ na aparatuře TDA 3 a při použití rozsahu měřených proudů 0 - 200 mV na vodorovné ose X a svislé Y souřadnicového zapisovače ENDIN byly zjištěny následující výsledky ověření příložných snímačů, (tab. 1) které byly graficky vyhodnoceny.

Hodnota vynášecího modulu změn délky není konstantní. Ovšem v dalším vyhodnocení se změna délky používá jako nezávisle proměnná, tedy s uvažováním této vlastnosti. Stav je způsoben mechanickým převodem snímače, který byl zvolen

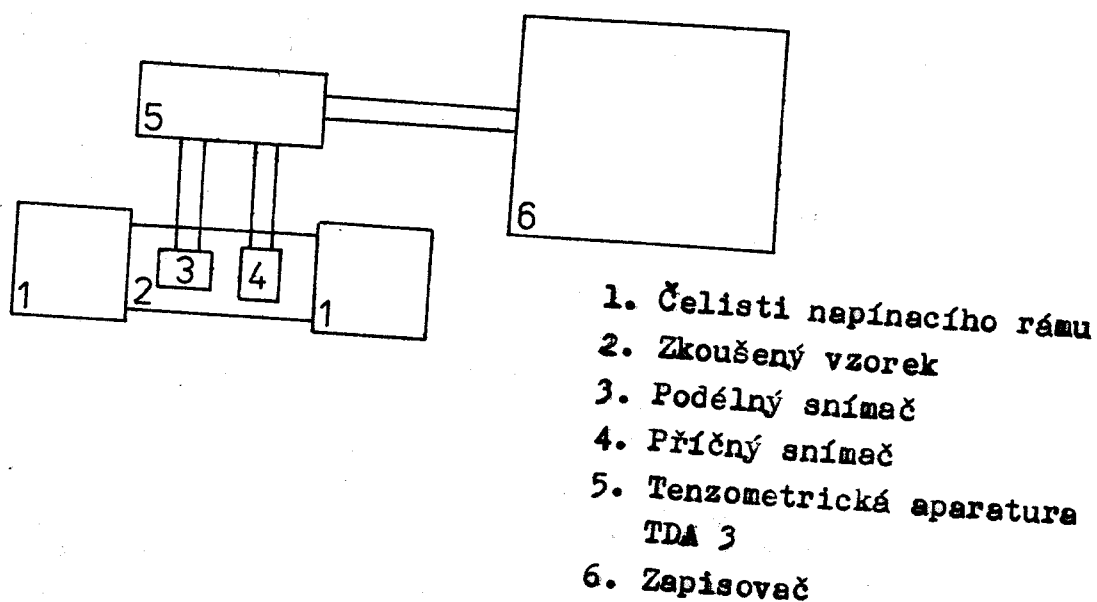


Obr. 13 Měřicí zařízení



Obr. 14 Detailní pohled

v konstrukci právě k účelům možností snímání velkých délkových změn. Snímač příčných rozměrových změn vykazuje poměrně vysokou stálost vynášecího modulu sledované veličiny a tato okolnost dovolila vyhodnotit závislosti hodnot zmenšení šířky ($-\Delta b$) a posuvu psacího hrotu (ΔY), vyjádřeno rovnicí $\Delta Y = -125,625 \Delta b$.

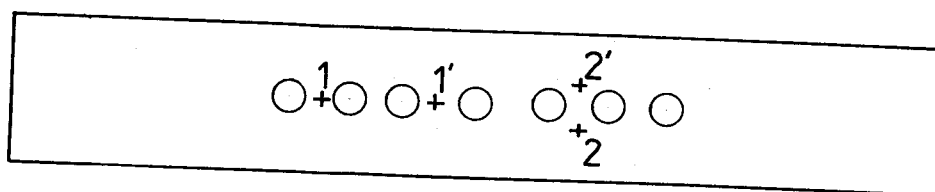


Obr. 12 Blokové schéma měřícího zařízení

3,4) Příprava zkušebních vzorků

V průběhu zkoušení byly použity zkušební vzorky obdélníkového tvaru z plechu Kohal 20 Extra o různé šířce. Z plechové tabule byly odebrány vzorky ve třech směrech vzhledem ke směru válcování, a to pod úhlem 0° , 45° , 90° . Pro srovnatelnost

Výsledků na různých zkušebních vzorcích je nutné vždy stejné umístění příložných snímačů vzhledem k sobě navzájem a vzhledem k osám zkušebních vzorků. Všechny měřené vzorky byly orýsovány způsobem dle obr. 15



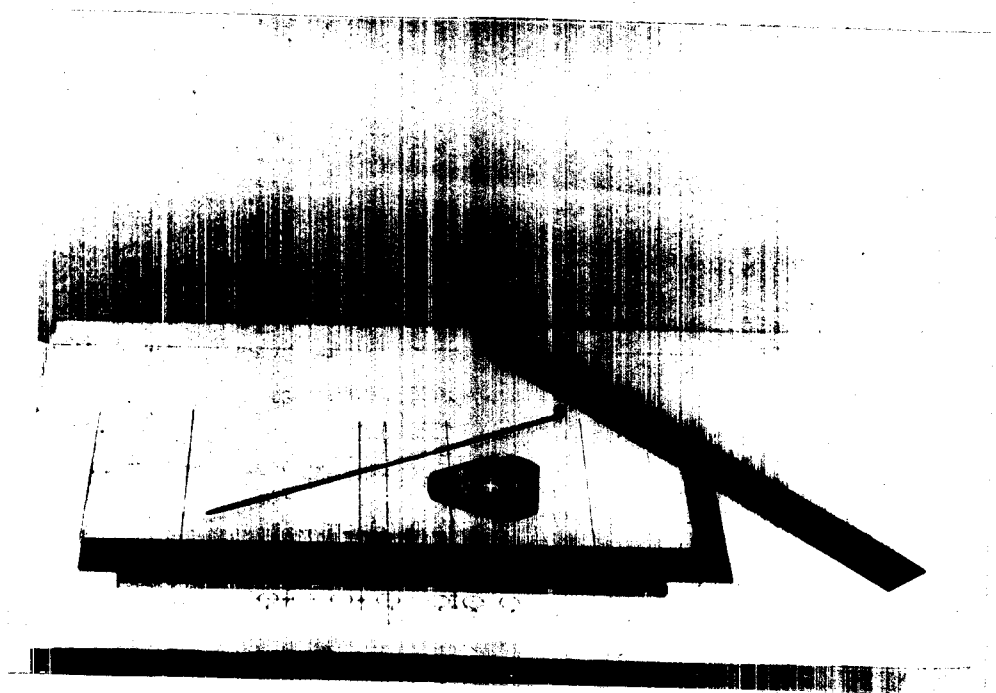
1,1' - umístění hrotů snímače
podélných deformací

2,2' - umístění hrotů snímače
příčných deformací

Obr. 15 Zkušební vzorek

K orýsování byla použita speciální šablona, rycí jehla a pro nanesení deformační sítě kruhová šablona ø 7 mm. Na obr. 16 je vidět umístění hrotů (dle obr. 15) a umístění kružnic deformační sítě.

Polohy hrotů jsou na orýsované zkušební tyči vymezeny speciálně vyrobenými důlčiky s roztečí odpovídající l_0 a b_0 . Při práci s důlčiky je nezbytné zvýšit opatrnost, neboť při malém vhloubení hroty snímačů snadno z důlků vyklouznou, a naopak při přílišném hloubení je měření zkresleno vrubovým účinkem důlku a může dojít i k roztržení zkušebního vzorku.



Obr. 16 Orýsování zkušebního vzorku

3,5) Vlastní průběh měření

Připravený vzorek upneme do čelistí trhacího stroje (napínacího rámu) a umístíme příložné snímače. Zapojíme tenzometrickou aparaturu a hrot zapisovače ustavíme do výchozí polohy. Zkušební vzorek je natahován v podélném směru, v příčném se smršťuje. Křivka pohybujícího se hrotu zapisovače se z počátku lineární, potom se mění v obecnou a když se začíná projevovat kontrakce, křivka "uteče" ve směru osy X nebo Y podle toho, v které části vzorku ke kontrakci došlo. Měření se v této chvíli ukončí. Odstraníme hrot zapisovače, odpojíme tenzometrickou aparaturu a sejme oba snímače. Výsledek měření je křivka závislosti ΔX , ΔY a deformační síť na vzorku.

3,6) Vyhodnocení měření

Výsledky záznamů rozměrových změn délky a šířky zkušební tyče při jednoosém zatěžování zkouškou tahem se velmi rychle vyhodnocují pomocí diagramu závislosti R na hodnotách ΔX a ΔY . Pro tento způsob vyhodnocení byly vypočteny hodnoty $\varepsilon_1 = 0,1$, $\varepsilon_2 = 0,2$, $\varepsilon_3 = 0,3$ a pro zvolené $R \in \langle 0,4; 2,6 \rangle$ příslušné hodnoty Y. Z těchto hodnot byl sestaven graf závislosti R na proměnných ΔX , ΔY , který je uveden v příloze. Na křivkách záznamu diagramů s použitím pomocné stupnice byla určena místa (hodnoty ε_i), která odpovídají v průřezu příslušných funkčních hodnot ΔX , ΔY daným hodnotám $R \in \langle 0,4; 2,6 \rangle$

Funkce R byla nahrazena v intervalu $\varepsilon_\ell \in \langle 0,1; 0,3 \rangle$ lomenou čarou složenou z přímků funkce v oboru hodnot $\varepsilon_\ell \in \langle 0,0; 0,1 \rangle$. Dále byla vypočtena z předpokládané praktické rovnosti $\varphi_\ell = \varepsilon_\ell$ a též se stanovila analytická směrnice tečny pro $\varepsilon_\ell \rightarrow 0$ a $\varepsilon_\ell = 0,1$.

4) VÝSLEDKY MĚŘENÍ

Výsledky měření součinitele normálové anizotropie zkušebních tyčí o různé šířce ve třech směrech (0° , 45° , 90°) vzhledem ke směru válcování jsou uvedeny a vyhodnoceny na následujících 15 stranách. Úhel, pod kterým byl daný vzorek při přípravě měření odebrán z tabule plechu Kohal 20 Extra, je symbolicky označen takto :

- $\perp$ - vzorek, jehož podélná osa je kolmá na směr válcování
- $\parallel$ - vzorek, jehož podélná osa je rovnoběžná se směrem válcování
- $<$ - vzorek, jehož podélná osa svírá se směrem válcování úhel 45°

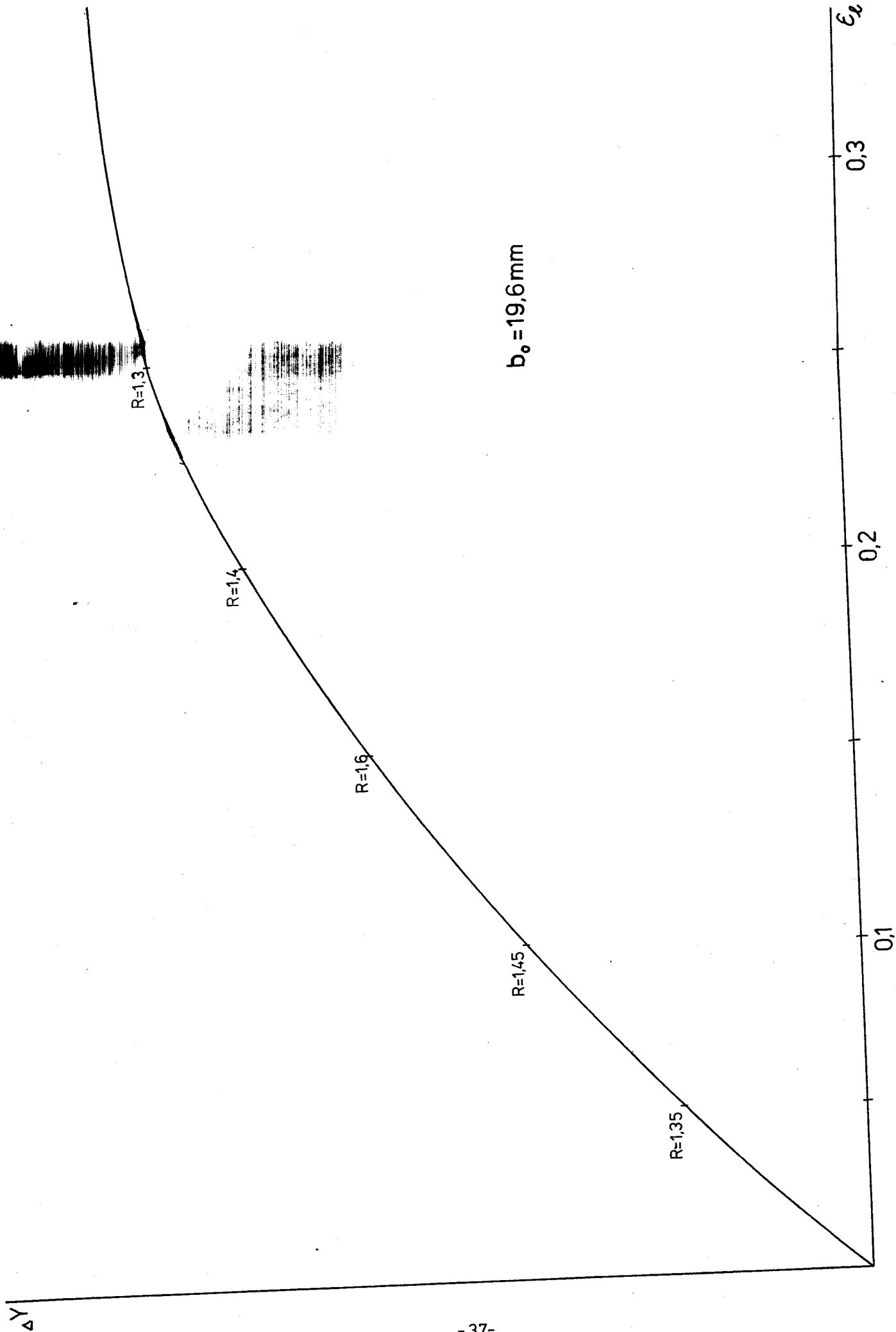
Těmito symboly jsou označeny v pravém horním rohu všechny následující strany s naměřenými závislostmi.

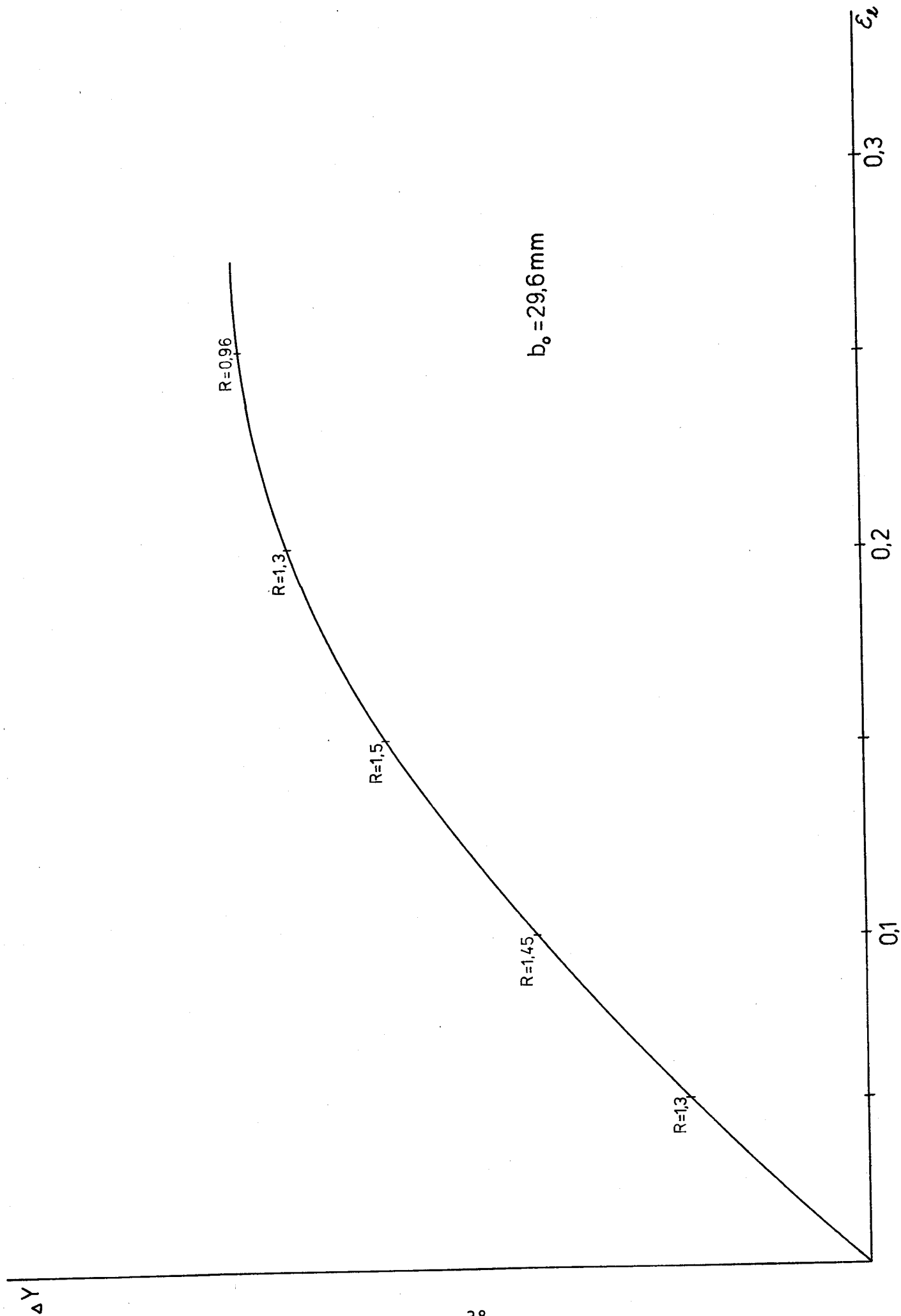
Podle literatury [1] jsou hodnoty součinitele normálové anizotropie, získané přerušovanou tahovou zkouškou na vzorcích z plechu Kohal 20 Extra při deformaci $\varepsilon_2 = 0,2$, v příslušných směrech tyto :

$$R_0 = 1,678$$

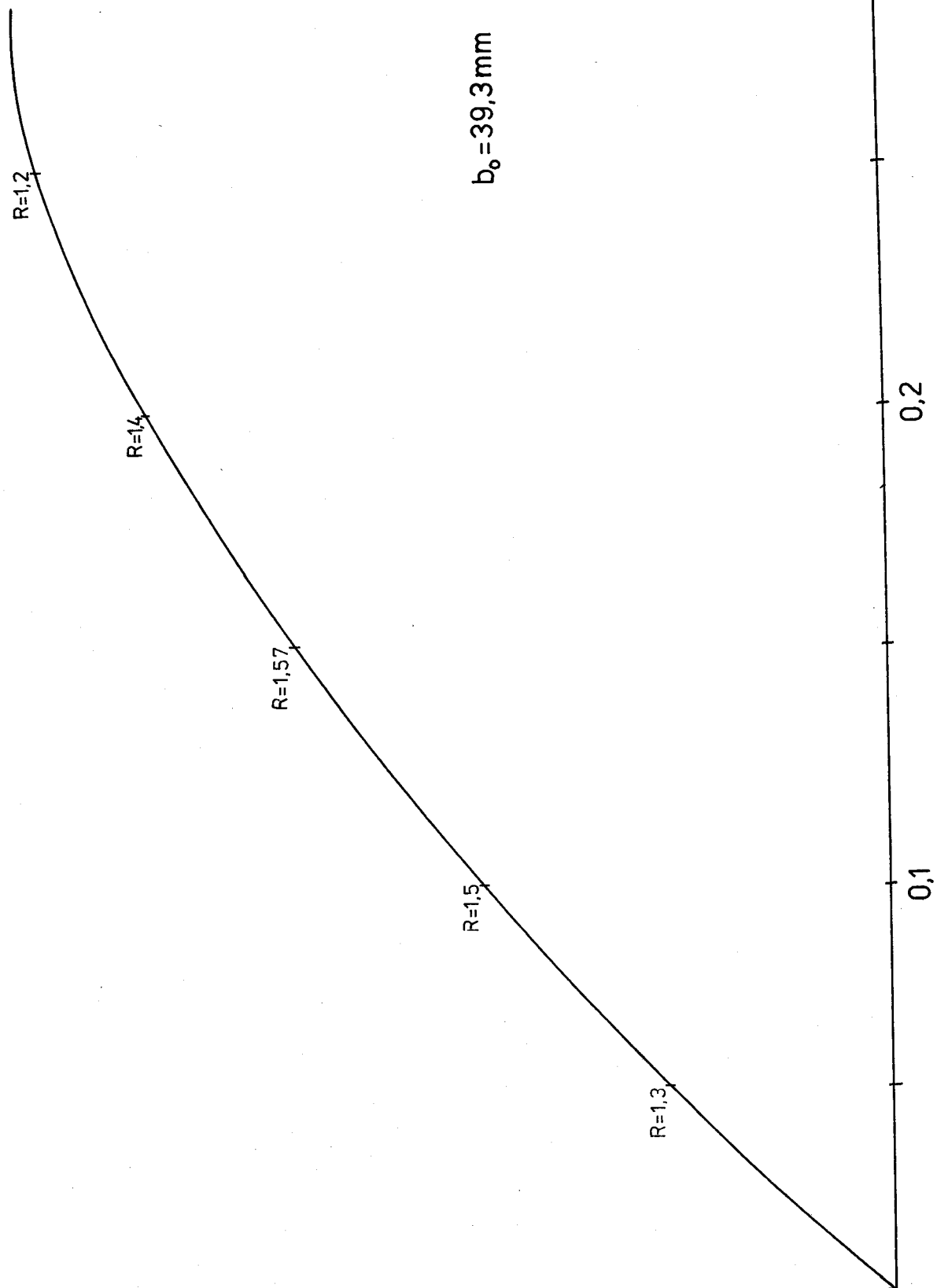
$$R_{45} = 1,315$$

$$R_{90} = 2,144$$





γ_A



$b_0 = 39,3 \text{ mm}$

ϵ_2

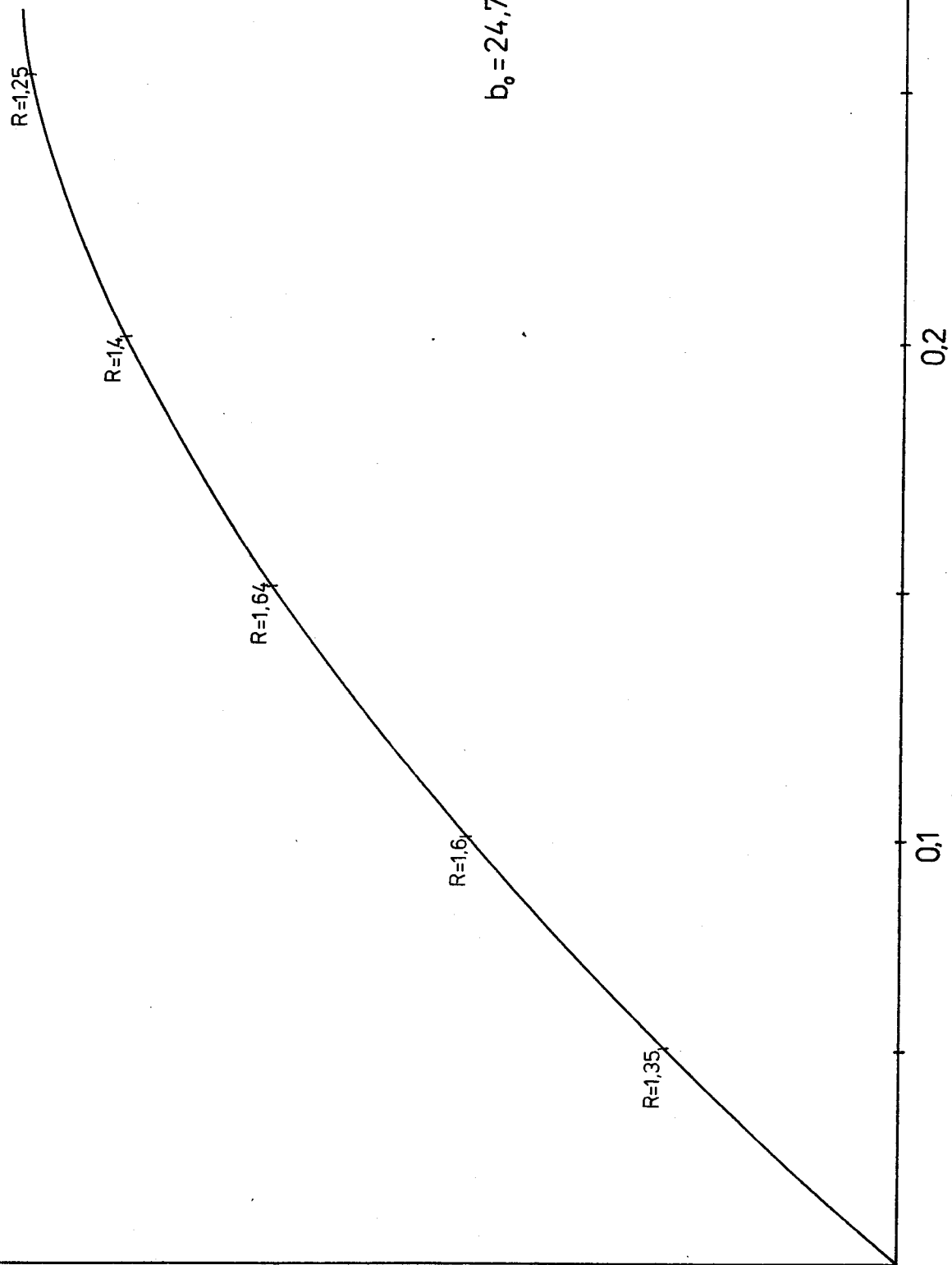
0,3

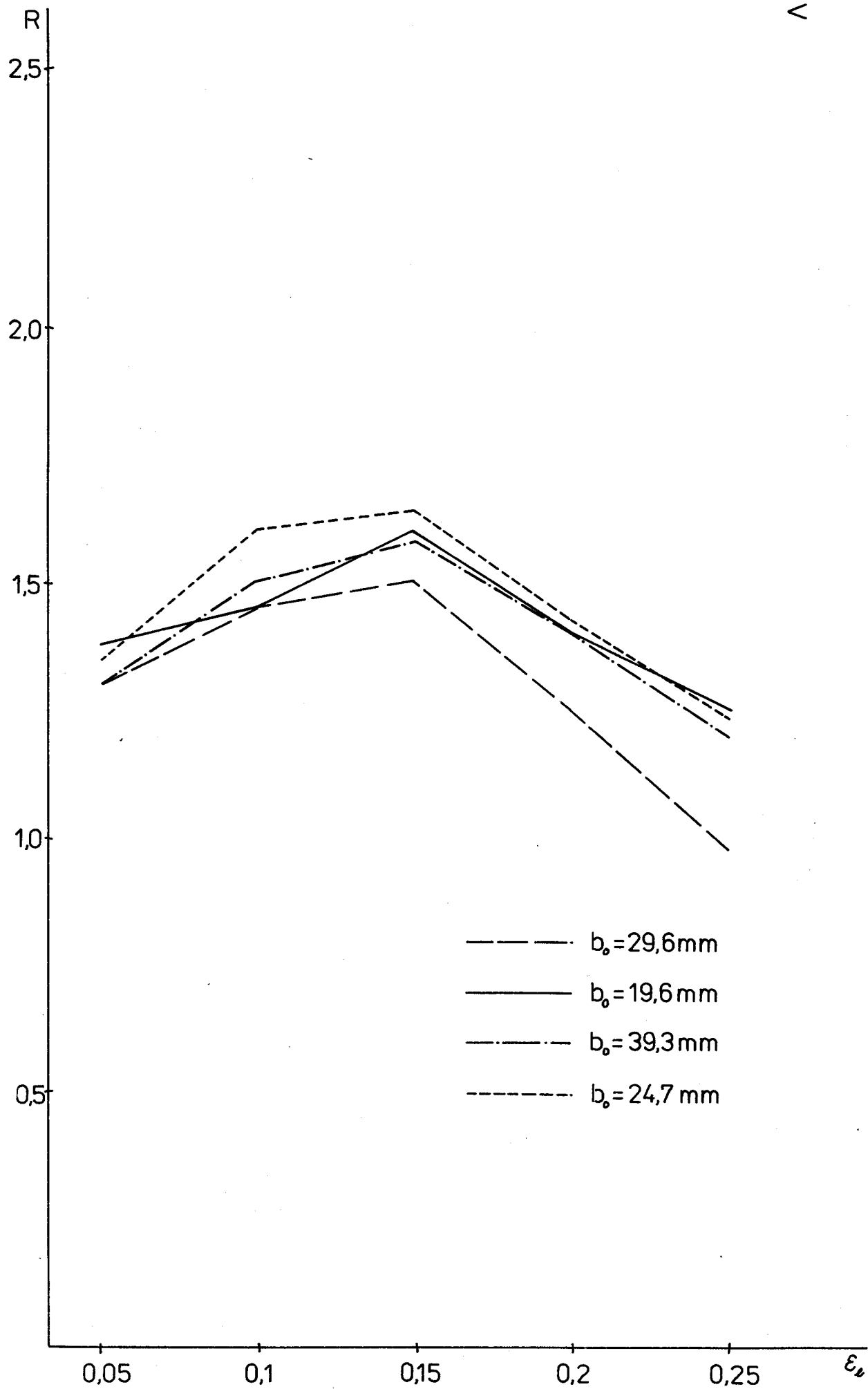
0,2

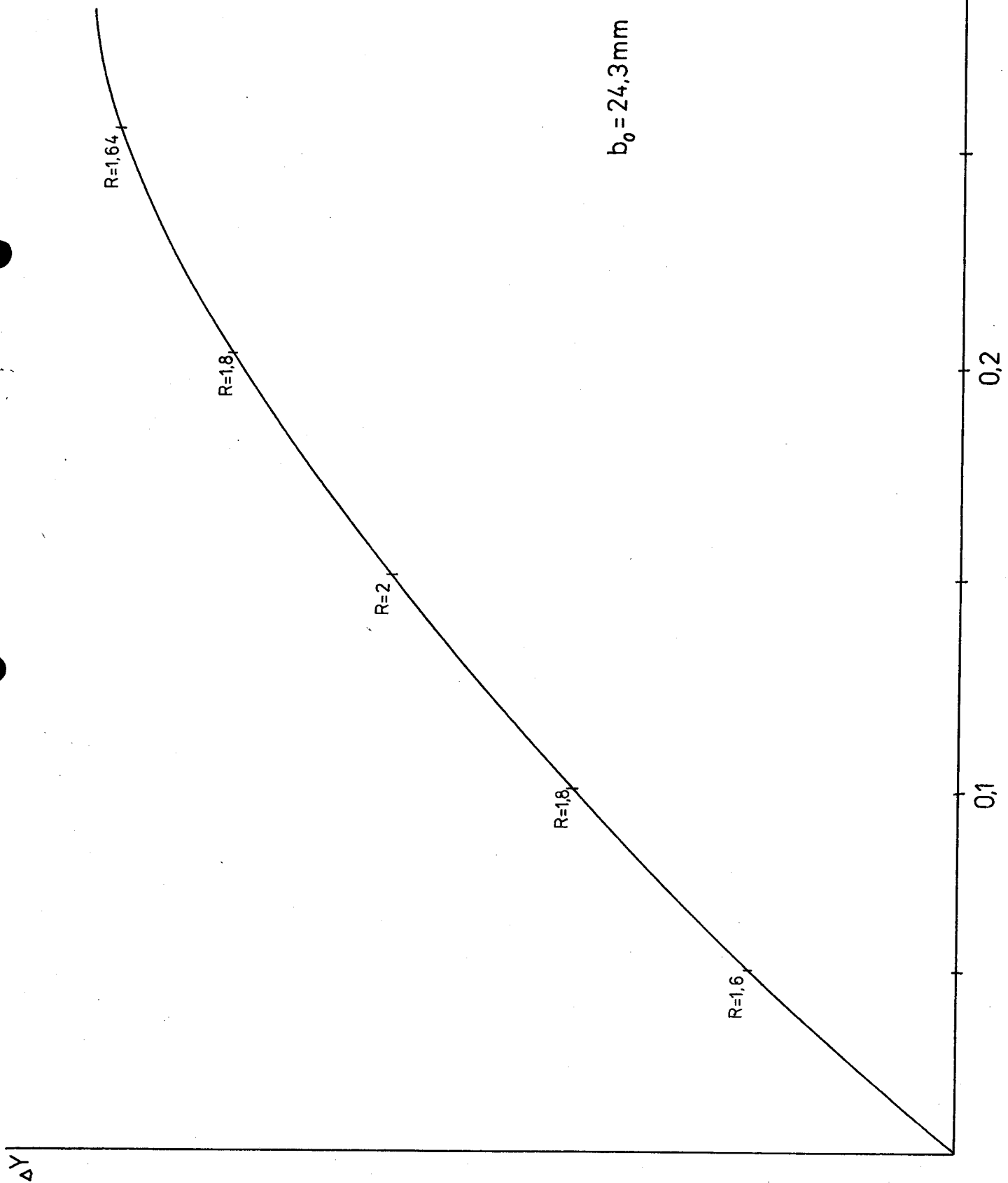
0,1

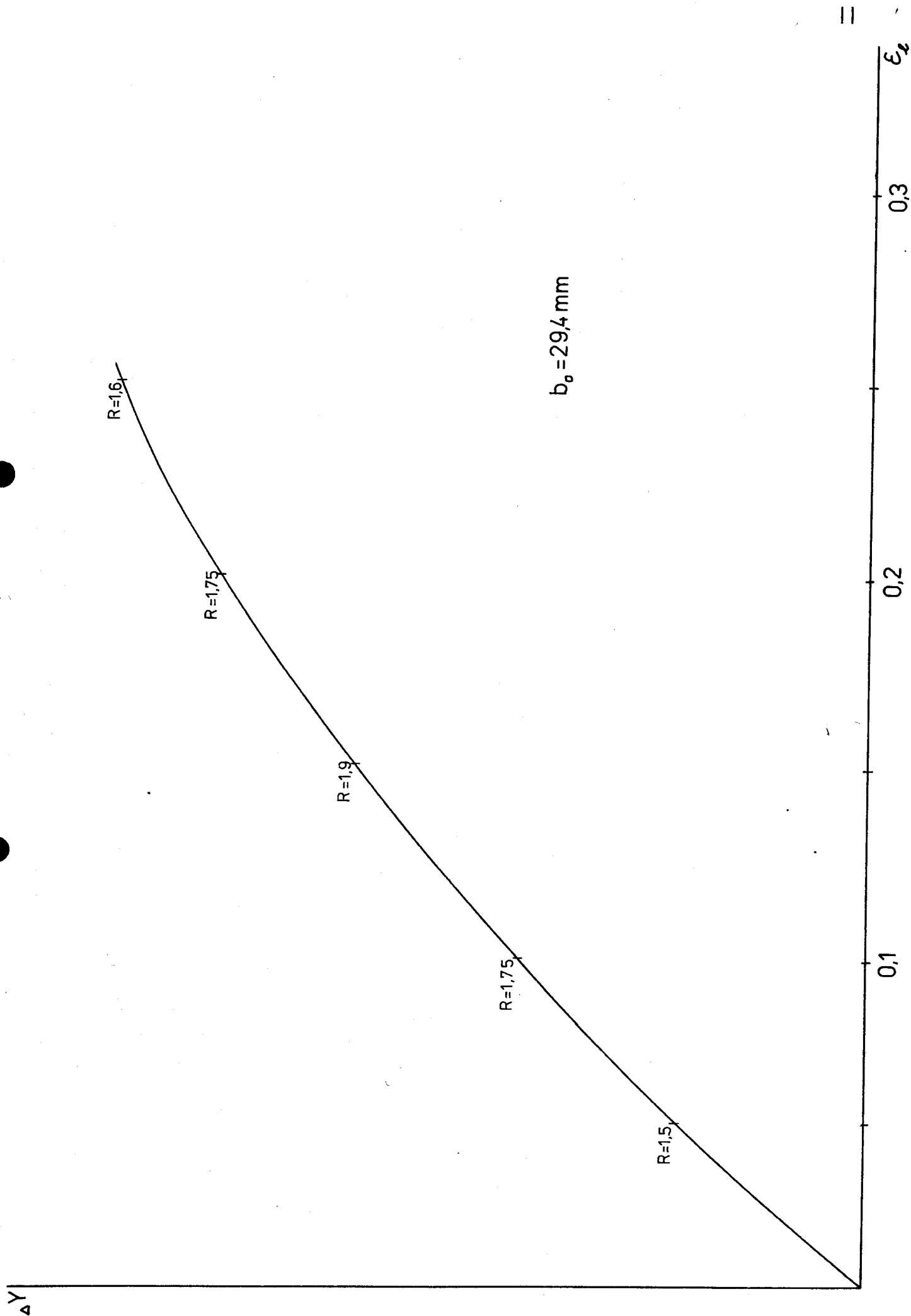
$\wedge$

Y

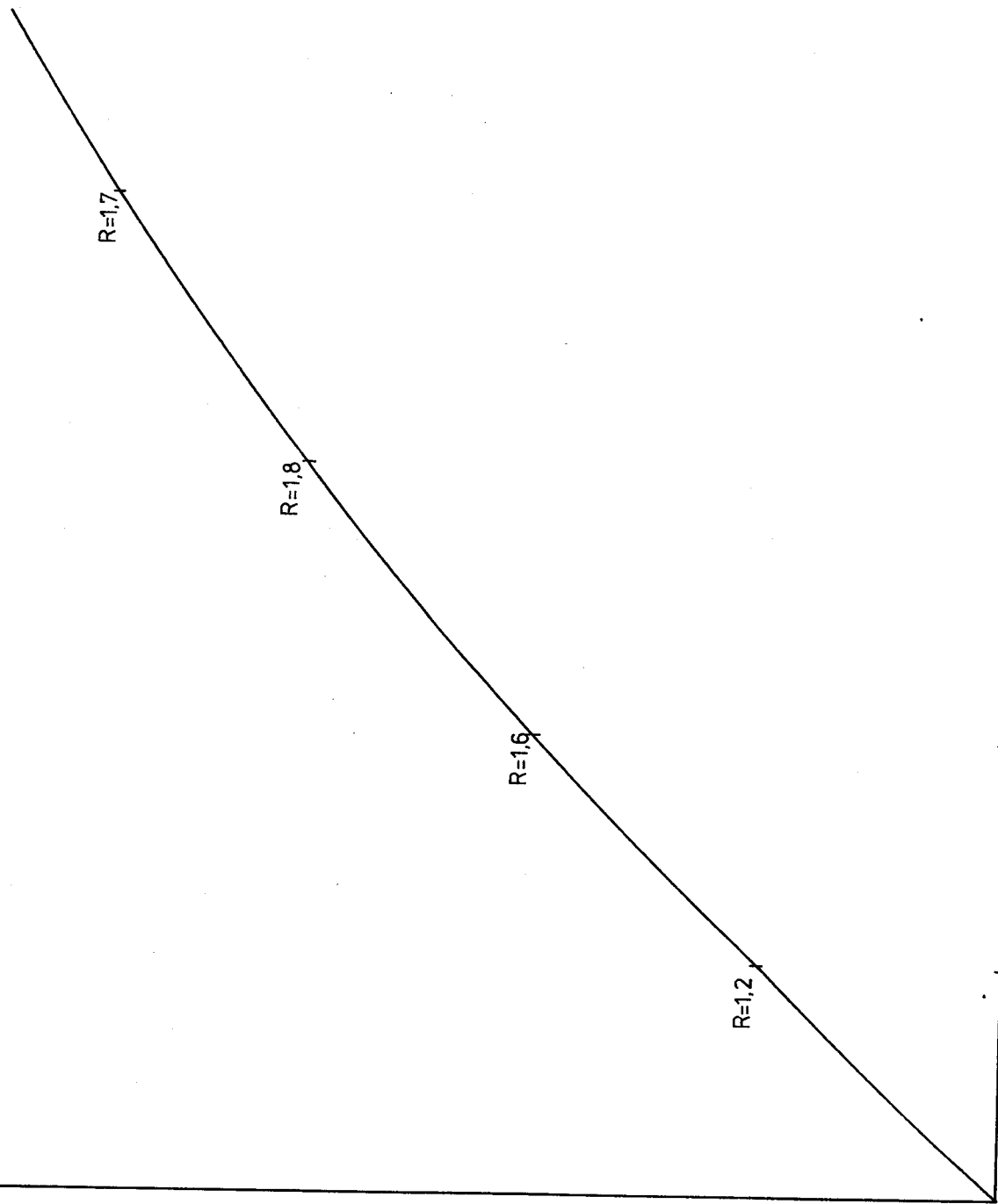








ΔY



$b_0 = 20,0 \text{ mm}$

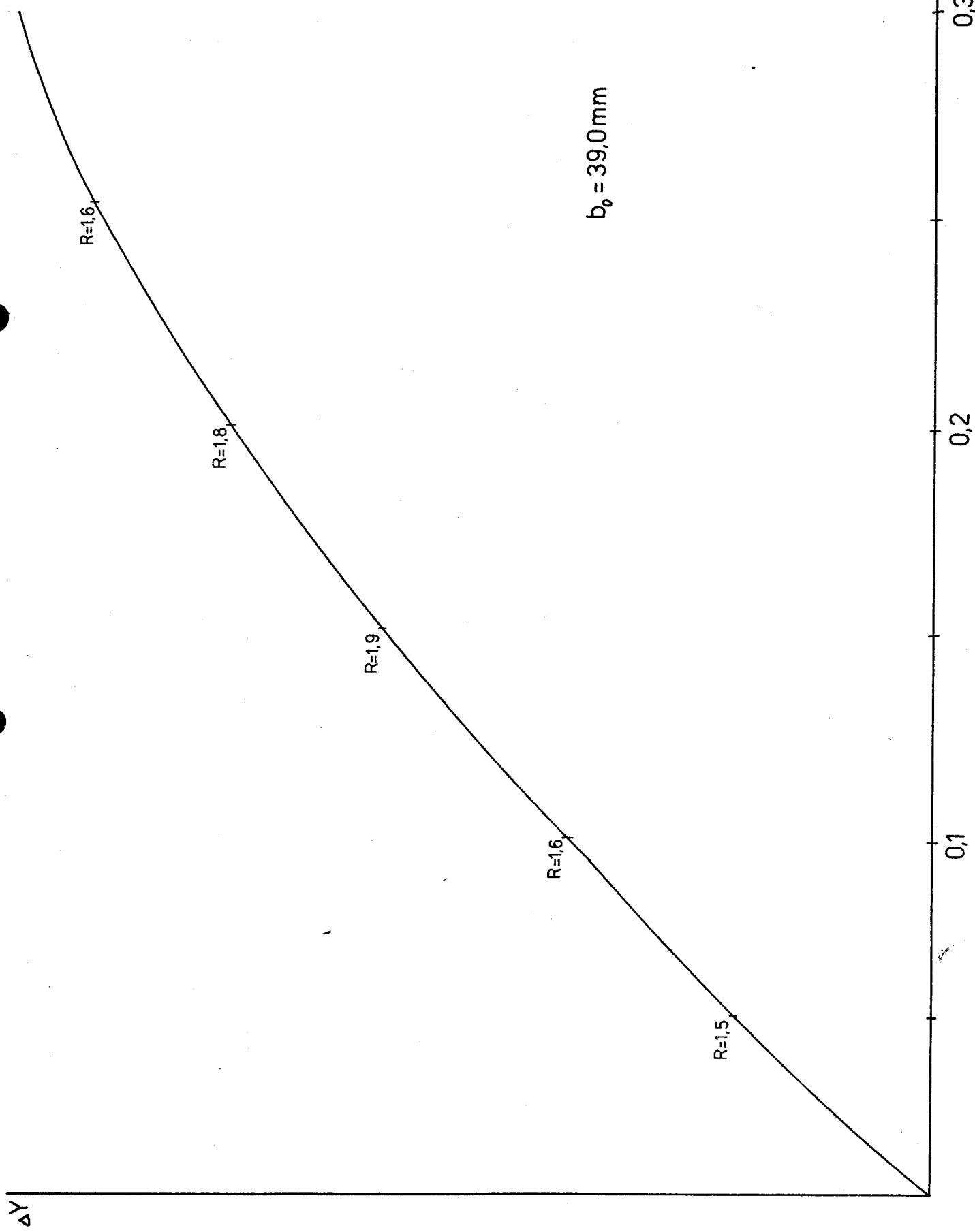
0,1

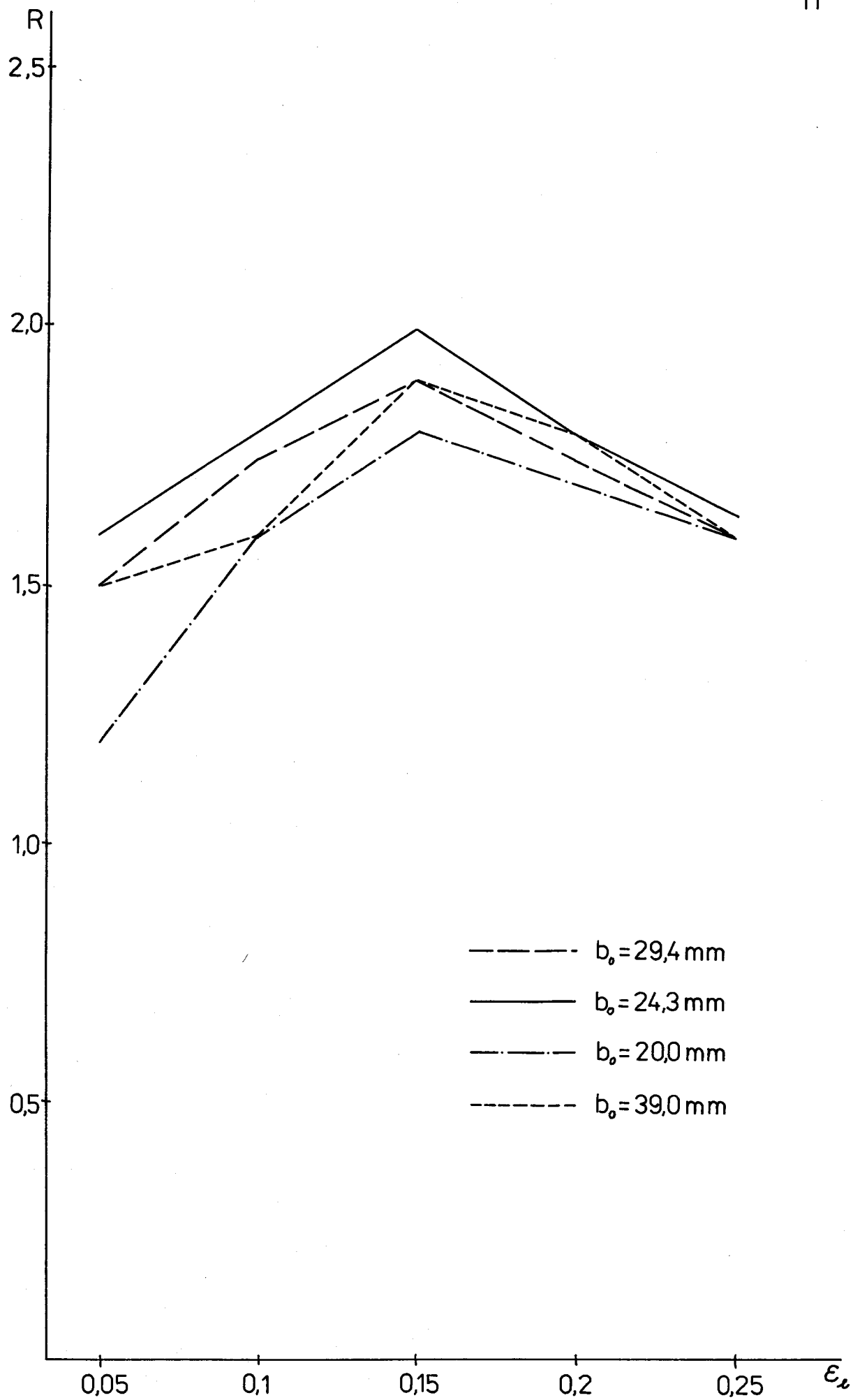
0,2

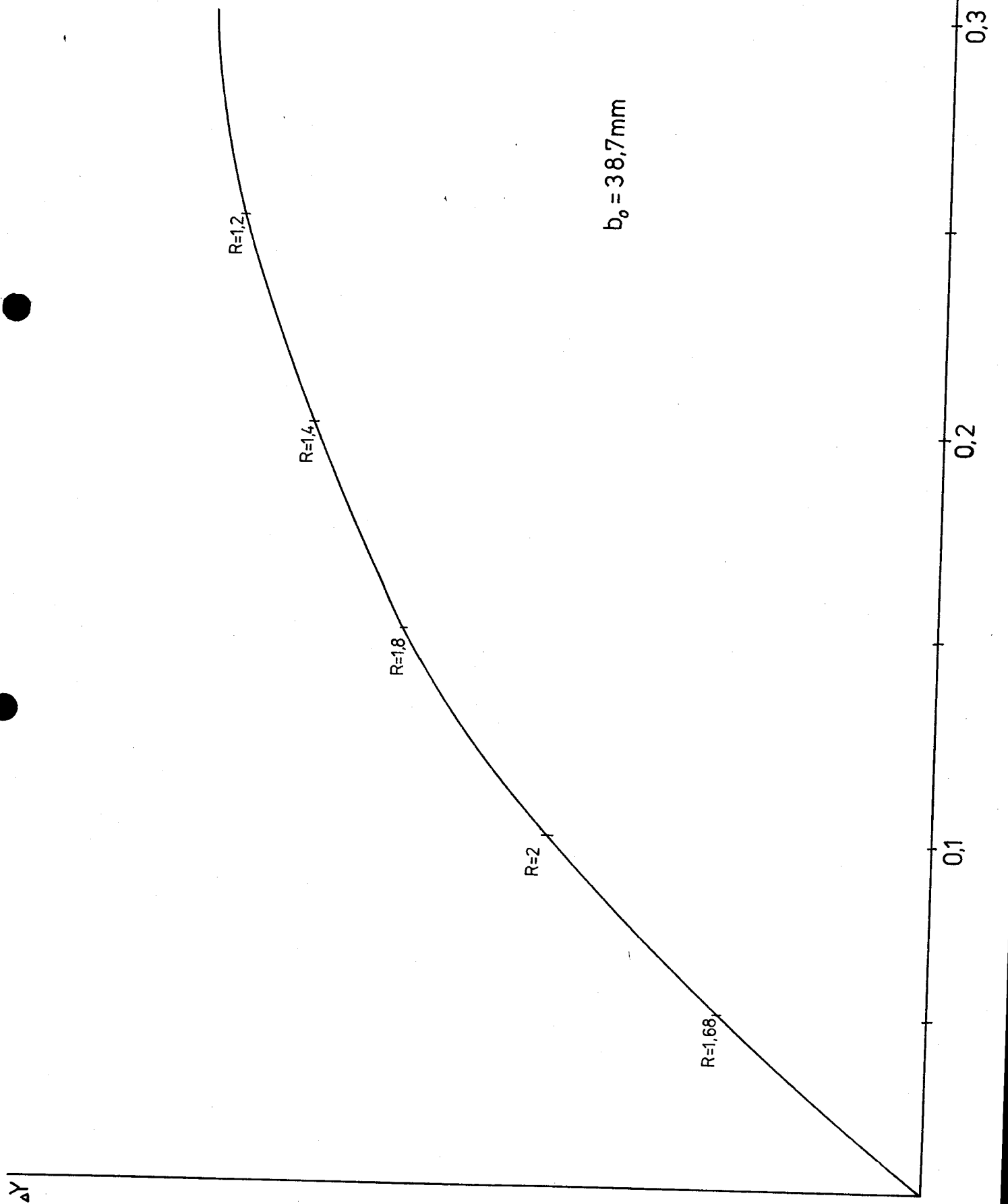
0,3

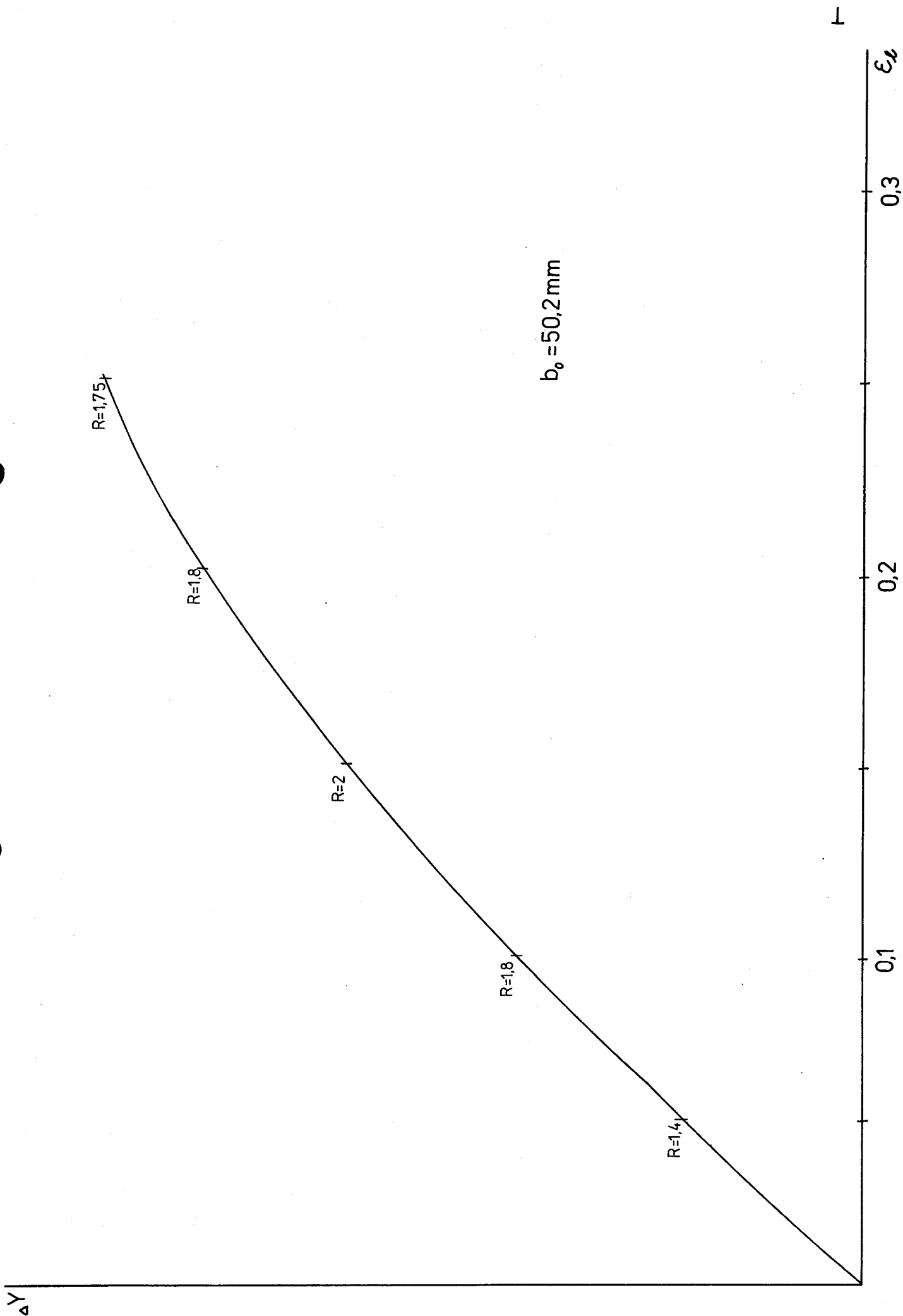
ϵ_2

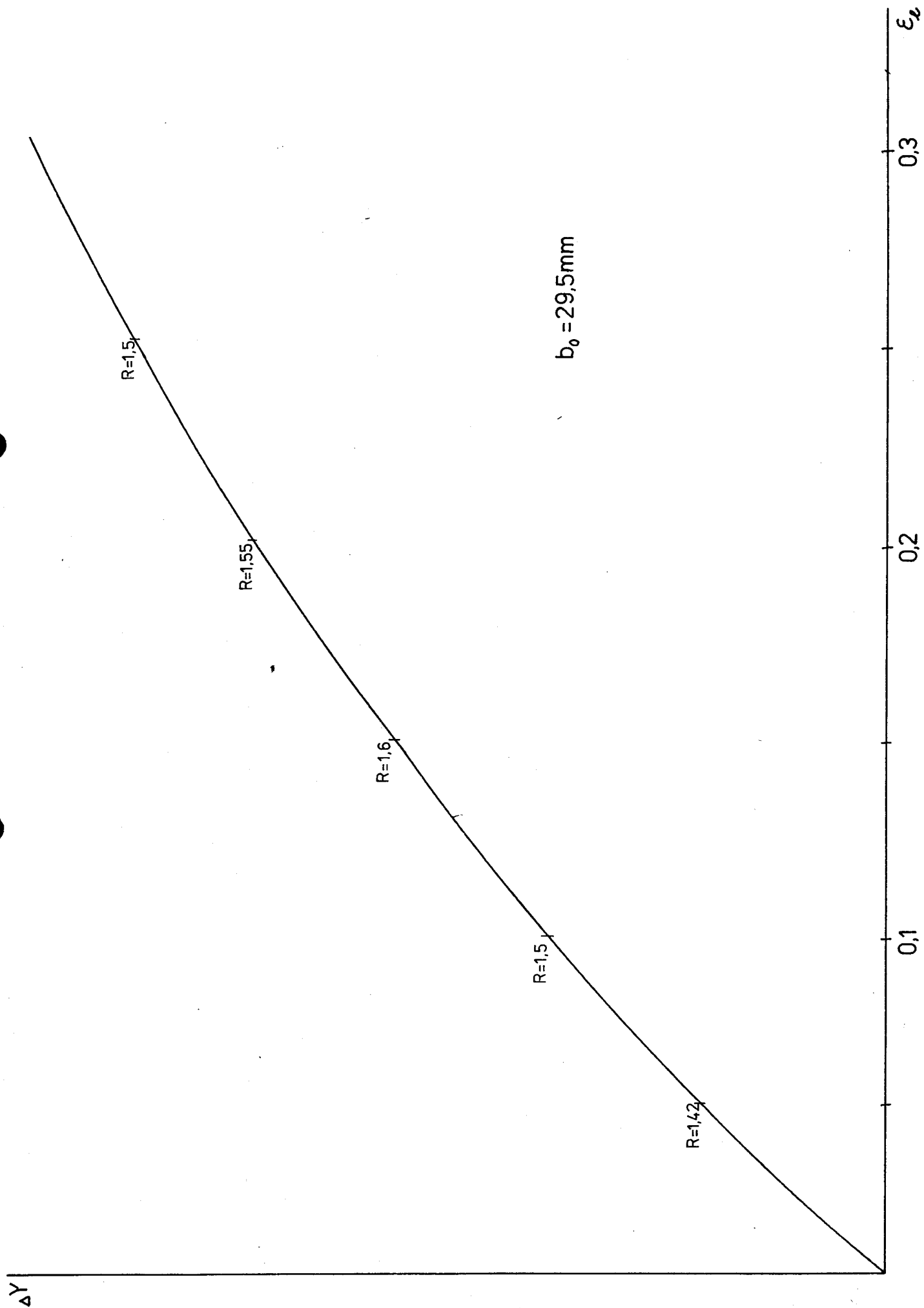
==

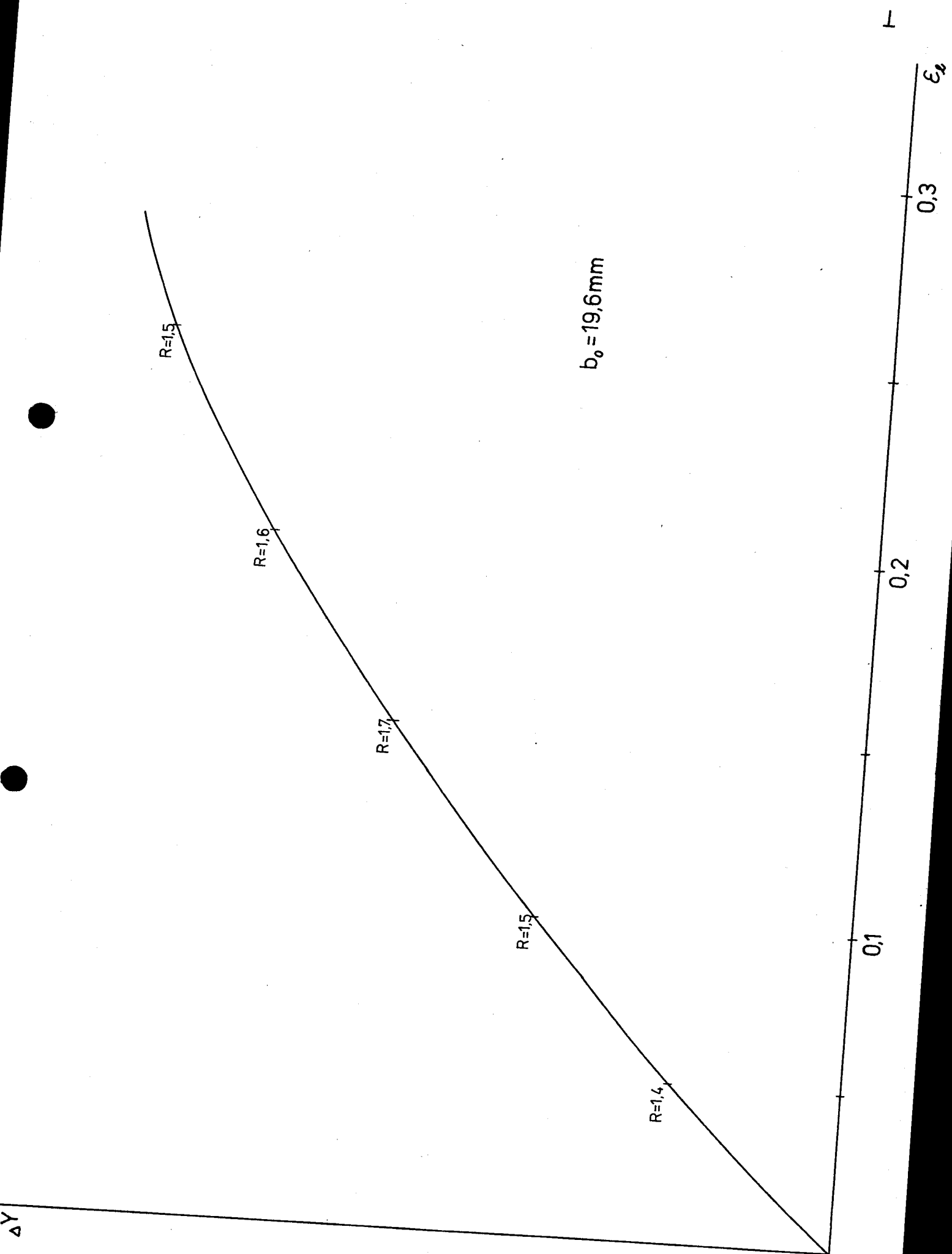


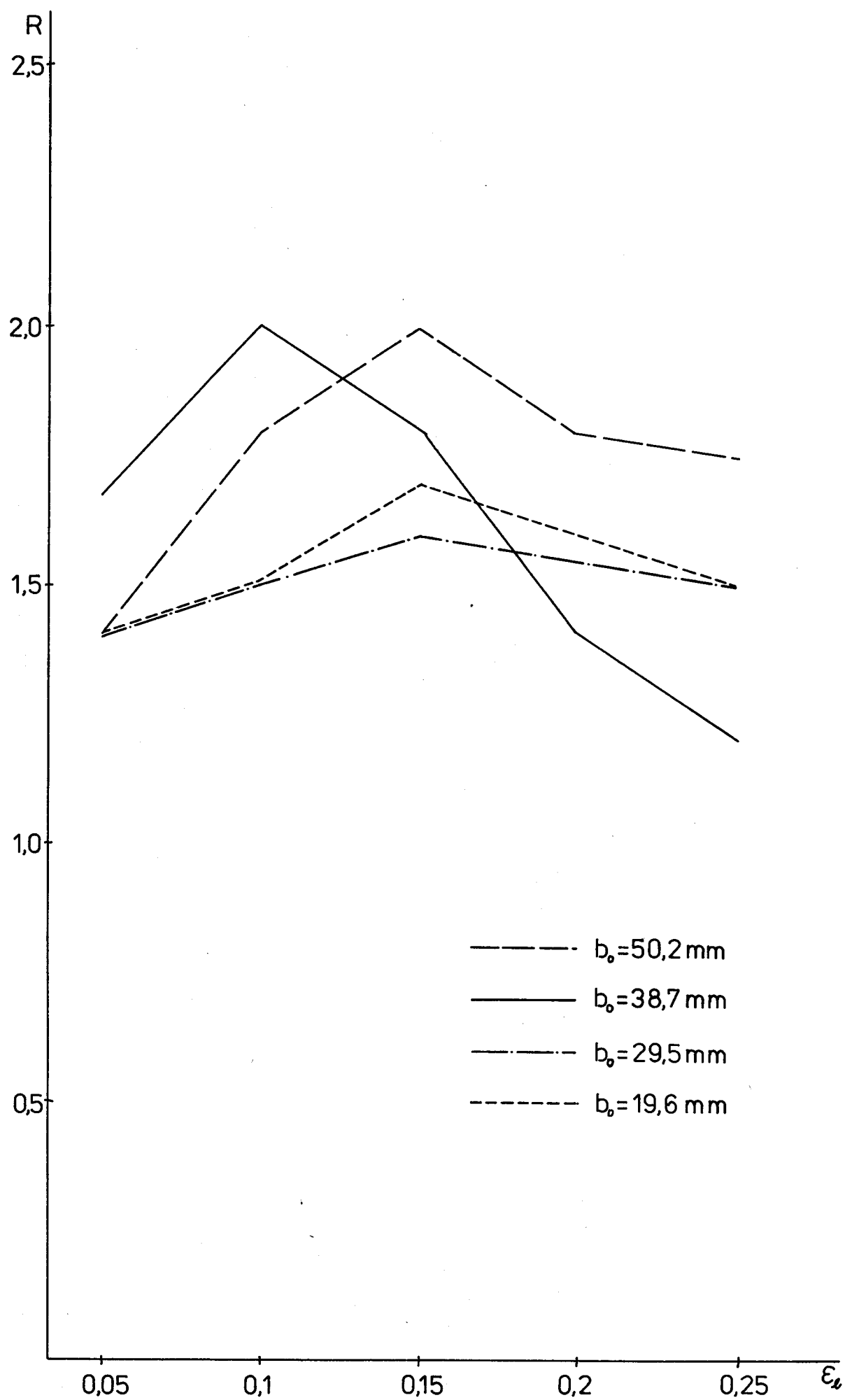












5) ZÁVĚR

Praktickým ověřováním použité metodiky zkoušek, která byla navržena s vědomím stávajících vlastností příložných indukčních snímačů, byly získány následující zkušenosti. Plastické deformace rozdílné v místech přiložení příslušných snímačů dovolují přijetí konečných výsledků pouze v tom případě, kdy souhlasí vyhodnocení s výsledkem hodnocení deformačních sítí, a tato skutečnost způsobuje, že řada výsledků je pro konečné zhodnocení zatím nepoužitelná. Protože však mechanismus vlastního snímání povrchových deformací zkušební tyče se osvědčil, dává tato skutečnost možnost konstrukce sloučení obou snímačů v jeden celek tak, aby v budoucnu nedostatek nesoumístného umístění snímačů byl při experimentech odstraněn.

Zkouškami bylo dále ověřeno, že speciální metodika zkoušek, opírající se o vyhodnocení kruhové deformační povrchové sítě, poskytuje zajímavé a velice precizní výsledky vzhledem k tomu, že deformace podélná i příčná je zjišťována prakticky s relativně stejnou přesností (na stejné základně hodnoty $l_0 = b_0$) a vzhledem k tomu, že změny obou rozměrů se zjišťují za stejných podmínek měření. Tato zvláštní metodika měření ovšem předpokládá dokonalý způsob vyznačení této deformační sítě a to je vyřešeno metodou jednoduchého rytí, tak jak byla metoda popsána v práci. Metoda jednoduchého rytí je navíc velice rychlá při přípravě vzorku a v budoucnu se může velice dobře uplatnit i při vyhodnocování deformací výlisků z plechů, protože při znalosti kritického místa stačí většinou označit toto místo několika deformačními kroužky a konečné

vyhodnocení je potom dobrým poznatkem k hodnocení obtížnosti lisování daného případu s možností určení příčin a technologického řešení případu.

Při zvětšování hodnot b je skutečností současné zvětšování hodnot R , ale tyto změny po hodnocení tvaru zkušebních tyčí po provedených zkouškách možno považovat za důsledek změny napjatosti, která při zatěžování působí při malé štíhlosti zkušebních tyčí a není tedy vyjádřením materiálových vlastností, jež jsou zkoumány. Znamená to, že zjištěné výsledky ve srovnání s výsledky dosud změřenými metodikou přerušované tahové zkoušky prokázaly jasně závislost hodnoty R na b_0 a v podstatě prokazovaly, že R je silně ovlivněn šířkou zkušebních tyčí. Použití elektrických snímačů při metodice zkoušení součinitele normálové anizotropie znamená velký pokrok nejen z hlediska zrychlení příslušných zkoušek, komplexního poznání funkce R jako nezávisle proměnné $\varphi_2(\varepsilon_x)$, ale i z hlediska lepšího a objektivnějšího poznání závažné materiálové vlastnosti - anizotropie plechu.

OVĚŘENÍ VLASTNOSTÍ PŘÍLOŽNÝCH SNÍMAČŮ

podélné deformace

$$l_0 = 25,1 \text{ mm}$$

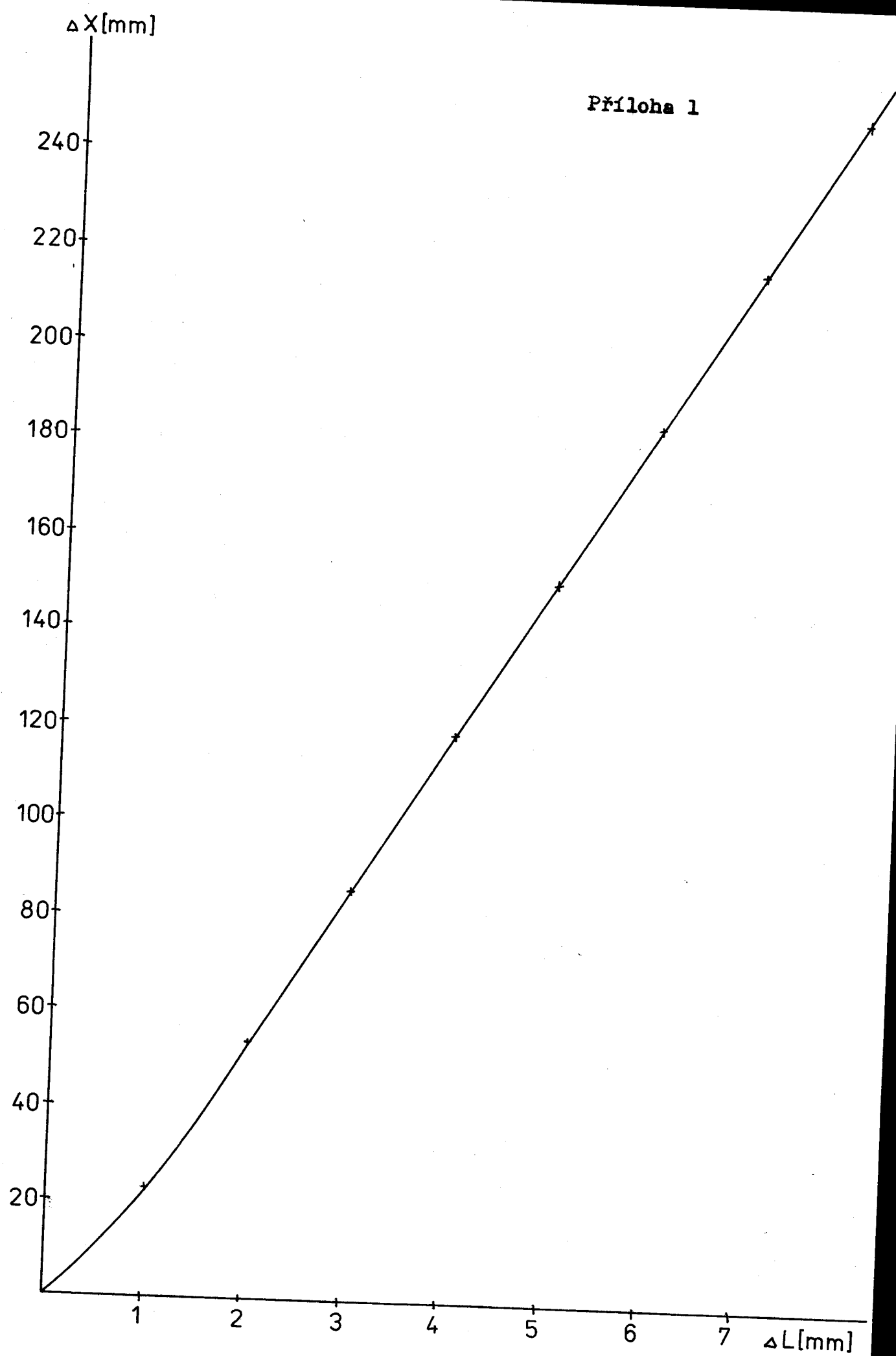
příčné deformace

$$b_0 = 9,7 \text{ mm}$$

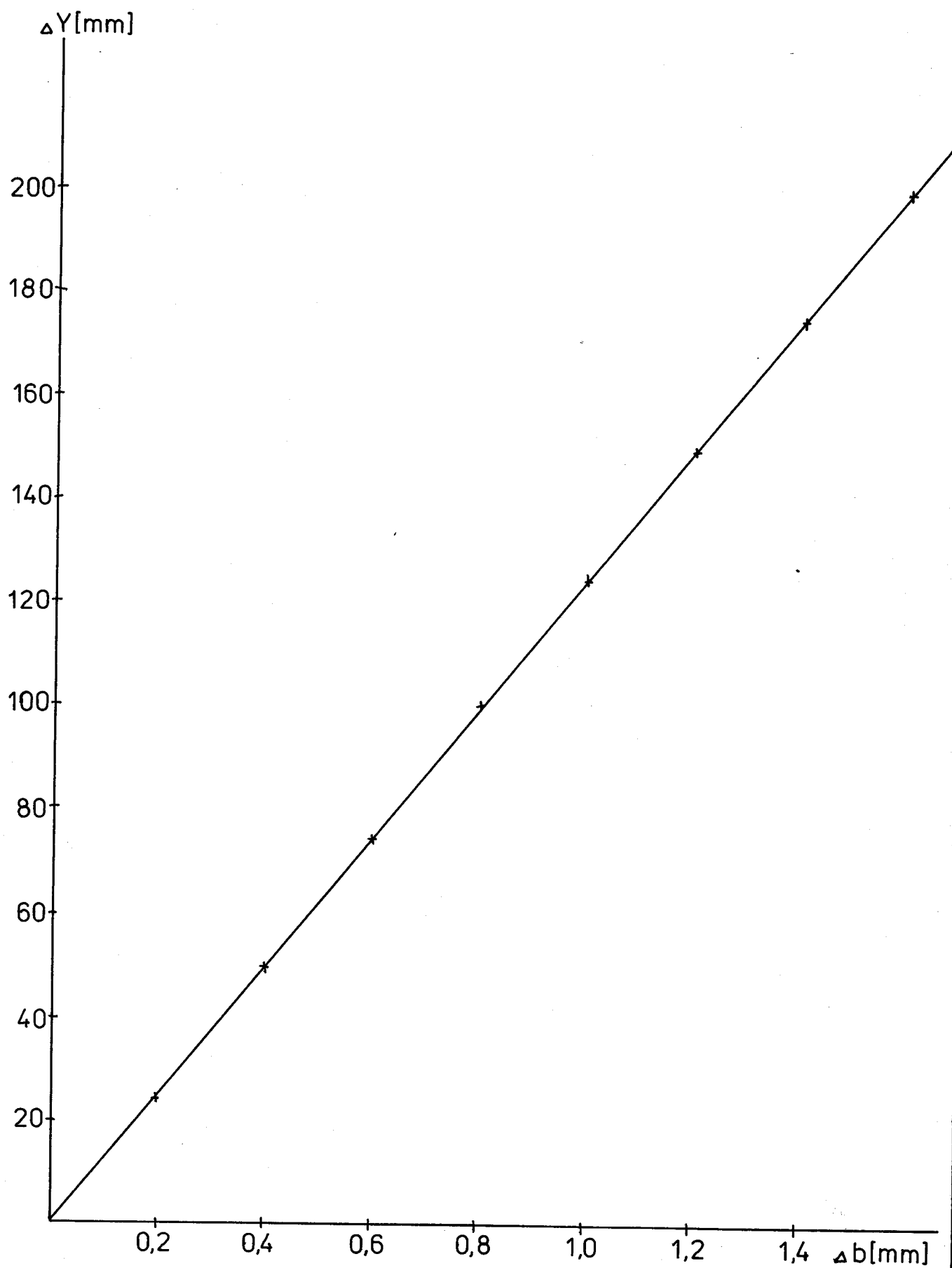
Δl [mm]	ΔX [mm]
0,0	0,0
1,0	23,0
2,0	54,0
3,0	86,0
4,0	119,0
5,0	151,0
6,0	184,0
7,0	217,5
8,0	249,0
9,0	284,0

Δb [mm]	ΔY [mm]
0,0	0,0
0,2	24,5
0,4	50,0
0,6	75,0
0,8	100,5
1,0	126,0
1,2	151,0
1,4	176,5
1,6	201,0

Tabulka 1



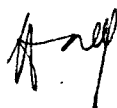
Příloha 2



SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

1. Pollák L. : Anizotropie a hlbokotažnosť ocelových plechov. Alfa Bratislava 1978
2. Barret, Ch. : Struktura kovů. 1.vyd. Praha 1959
3. Píšek F. : Nauka o materiálu II. 1.vyd. Praha 1959
4. Smallman E.R. : Moderní nauka o kovech. 1.vyd. Praha 1964
5. Tměj, J. : Určení závislosti normálové anizotropie na odchylce od směru válcování u hlbokotažného plechu Kohal 20 Extra. Sborník prací VŠST 1979
6. Blaščík, Fr. - Hrivňák, A. - Pollák, L. - Bernát, Š. : Výzkum technologických charakteristík hlbokotažných ocelových plechov vyráběných ve VSŽ n. p. Košice [Závěrečná zpráva fakultní výzkumné úlohy S-Fak 5/70] , Košice, Vysoká škola technická, Strojní fakulta, 1971
7. Průvodní dokumentace doplňkového zařízení trhacího stroje INSTRON
8. Šorm, J. : Normy zkoušek plechů (Státní úkol F-3-22-2/7), Praha, Výzkumný ústav hutnictví železa 1970
9. Tměj, J. - Mikeš, V. : Teorie tváření. Skripta VŠST, VŠST Liberec, 1981
10. Pluhař, J. - Koritta, J. : Strojírenské materiály. Praha, SNTL 1977

Závěrem bych chtěl poděkovat ing. Beranovi
za cenné rady, týkající se problému měření sou-
činitele normálové anizotropie a měřících zaří-
zení.

A handwritten signature in dark ink, appearing to be 'H. Ryš' or similar, located below the typed text.