

DIPLOMOVÝ ÚKOL

pro **Milana Bartáčka**obor **04-1-04 Zaměření na sklářské stroje a zařízení**

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

Název tématu: **Přístroj na měření tloušťky stěny při tvarování
skleněných válců odstředivým litím.**

Pokyny pro vypracování:

Pro připravované tvarování velkých skleněných nádob odstředivým litím je třeba bezdotykového přístroje na měření tloušťky tvarované stěny.

Z těchto důvodů:

1. Proveďte rozbor možností měření tloušťky stěny při tvarování velkých skleněných válcových nádob odstředivým litím v kovové formě.
2. Nejvhodnější metodu laboratorně ověřte.
3. Navrhněte reálné konstrukční uspořádání pro odstředivý lící stroj VVÚTS Praha.
4. Zdůvodněte ekonomický přínos měření tloušťky tvarované stěny při odstředivém lití velkých skleněných válců.

Autorské právo se řídí směrnicemi MŠK pro státní závěrečné zkoušky č. j. 31 727/62-III/2 ze dne 13. července 1962. Věstník MŠK XVII, sešit 24 ze dne 31. 8. 1962 § 19 autorského zákona č. 115/53 Sb.

V 729/78^S

VYSOKÁ ŠKOLA STROJNÍ A TEXTILNÍ
Ústřední knihovna
LIBEREC 1, STUDENTSKÁ 5
PSČ 461 17

Rozsah grafických laboratorních prací: 40 stran textu, schemat, grafů a obrázků.
Výkres konstrukčního uspořádání.

Rozsah průvodní zprávy:

Seznam odborné literatury:

Turičín, A.M.: Elektrická měření
neelektrických veličin, SNTL, Praha 1958.

Belda, J. - Nosek, J.: Modelování tvaro-
vání odstředivým litím, techn. zpráva
ÚO-45, KSK-VSST Liberec, 1976.

Vedoucí diplomové práce:

Ing. Jaroslav N o s e k

Konsultanti:

Ing. Franc, VVÚTS Praha

Datum zahájení diplomové práce:

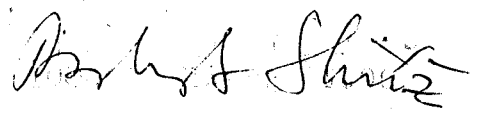
10. 10. 1977

Datum odevzdání diplomové práce:

26. 5. 1978




Ing. Jaroslav Belda, CSc
Vedoucí katedry


Doc. RNDr. B. Stráž, CSc
Děkan

VŠST LIBEREC
Fakulta strojní

Obor 23-34-8
Výrobní stroje a zařízení

zaměření
sklářské a keramické stroje

Katedra sklárství a keramiky

Přístroj na měření tloušťky stěny při tvarování skleněných
válců odstředivým litím

Milan B a r t á ě k
DP 293/78

Vedoucí práce : Ing. Jaroslav Nosek - VŠST Liberec
Kontultant : Ing. Franc - VVÚTS Praha

Rozsah práce a příloh

Počet stran 70
Počet příloh a tabulek ... 18
Počet obrázků 23

DT: 666.1.031.2./6: 66.042.937

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

V Liberci dne 25. května 1978

Milan Bartáček

Milan Bartáček

O b s a h

	Titulní list	str. 1
	Diplomový úkol	2
	Místopřisežné prohlášení	3
	Obsah	4
	Přehled označení	6
	Úvod	7
1.	Tvarování odstředivým litím	8
1.1.	Obecné poznatky o odstředivém lití	8
1.1.1.	Geometrie volné plochy	10
1.1.1.1.	Volná plocha při vertikální ose rotace	12
1.1.1.2.	Volná plocha při nakloněné ose rotace	13
1.1.1.3.	Volná plocha při horizontální ose rotace	15
1.1.2.	Zvláštnosti tuhnutí odstředivých odlitků	16
1.1.2.1.	Ochlazování odstředivých odlitků	16
1.1.2.2.	Vliv rychlosti rotace na ochlazování odlitků	16
1.1.2.3.	Konvekce ve žhavé tekutině	16
1.1.3.	Jevy spojené s hydraulickým tlakem při odstředivém lití	17
1.1.3.1.	Vliv tlaku na zaplnění formy	18
1.1.3.2.	Doplňování tekutiny při smršťování	18
1.1.3.3.	Vliv tlaku na smrštění a ochlazování odlitku	18
1.1.3.4.	Vliv tlaku na tvorbu trhlin	19
1.2.	Sledování procesu tvarování odstředivým litím	19
1.2.1.	Modelování tvarování odstředivým litím	20
1.2.1.1.	Zkušební zařízení	20
1.2.1.2.	Modelová kapalina	22
1.2.2.	Tvarování skloviny odstředivým litím	23
2.	Bezdotykové, kontinuální měření tloušťky	24
2.1.	Praktické požadavky na zařízení měřící tloušťku	24
2.2.	Používané metody pro měření tloušťky	24
2.2.1.	Měření tloušťky za použití jaderného záření	25
2.2.2.	Měření tloušťky pneumatickým způsobem	25
2.2.3.	Měření tloušťky kapacitním způsobem	25
2.2.4.	Měření tloušťky na magnetickém základě	26

2.2.5.	Měření tloušťky laserem	26
2.2.6.	Měření tloušťky na základě měření stínu	26
2.2.7.	Měření tloušťky založené na absorpci světla	27
3.	Měření tloušťky vrstvy modelové kapaliny při MTOL	28
3.1.	Absorpce světla	28
3.2.	Fotoelektrický jev - fotoefekt	30
3.3.	Měřicí přístroj	32
3.3.1.	Vysílač světelného záření	32
3.3.2.	Snímač světelného záření	32
3.4.	Úprava modelové kapaliny	36
3.5.	Cejchování	37
3.6.	Měření na modelovém zařízení	40
3.6.1.	Pracovní postup	40
3.6.2.	Měření v různých polohách osy rotace	42
3.6.2.1.	Měření ve vertikální poloze osy rotace	42
3.6.2.2.	Měření nakloněné poloze osy rotace	47
3.6.3.	Zhodnocení měření	49
4.	Měření tloušťky vrstvy skloviny při odstředivém lití	50
4.1.	Metody a přístroje k měření ionizujícího záření	50
4.1.1.	Detektory ionizujícího záření	51
4.1.2.	Scintilační počítače	52
4.1.2.1.	Scintilátory	54
4.1.2.2.	Fotonásobiče	56
4.1.3.	Elektronické přístroje	58
4.2.	Ověřovací měření	60
4.2.1.	Experimentální měřicí zařízení	60
4.2.2.	Měřené vzorky	60
4.2.3.	Určení chyby měření	62
4.2.4.	Měření na experimentálním měřicím zařízení	62
4.2.5.	Konstr.uspořádání měř.přístř.na odstř.l.str.	65
4.2.6.	Zhodnocení ověřovacího měření	65
5.	Ekonomické zhodnocení	67
	Závěr	68
	Seznam literatury	69
	Seznam příloh	70

Přehled označení

F	- odstředivá síla v radiálním směru	N
E_r	- výsledná síla na rotující hmotnou částici	N
G	- gravitační síla	N
m	- hmotnost částice	kg
ω_r	- zrychlení rotující částice	$m \cdot s^{-2}$
X, Y, Z	- průměty zrychlení do souřadných os	$m \cdot s^{-2}$
n	- otáčky	min
α	- úhel sklonu osy rotace formy	/°/
k'	- gravitační koeficient	
λ	- vlnová délka	m
I	- intenzita světla	$lm \cdot m^{-2}$
k	- absorpční konstanta	
l	- tloušťka vrstvy	mm
ν	- frekvence dopadajícího světla	s^{-1}
c	- rychlost světla	$m \cdot s^{-1}$
ϵ	- kvantová energie	J
h	- Planckova konstanta	
$A_{e/s}$	- výstupní práce elektronů	J
τ	- čas	s
s	- tloušťka stěny	mm
V	- objem	ml
h_v	- výška válce	mm
D	- vnější průměr tvarovaného válce	mm
d	- vnitřní průměr tvarovaného válce	mm
η	- viskozita	$Pa \cdot s$
t	- teplota	°C
ρ	- měrná hmotnost	$g \cdot cm^{-3}$
ϵ'	- střední kvadratická chyba	

1 index M model 2 index H horní
T tvarovací D dolní
K kapalina

č.b.- černé barvivo (emulze sazí)

Ú v o d

Základním cílem hospodářské a sociální politiky KSČ pro období 6. pětiletky je zajistit v souladu s prohlubováním socialistického způsobu života uspokojování rostoucích hmotných a duchovních potřeb obyvatelstva a další upevňování jeho životních a sociálních jistot na základě vysoké efektivnosti společenské výroby a kvality veškeré práce.

Jedním z úkolů hospodářského a sociálního rozvoje ČSSR je cílevědomé zavádění progresivních technologií do výroby. Při stavbě mnohých průmyslových zařízení se jeví vzrůstající zájem o velké nádoby z technického skla. Pro rozvoj výroby velkých skleněných rotačních nádob je Výzkumným a vývojovým ústavem technického skla v Praze připravováno zavedení nové progresivní technologie tvarování těchto nádob - tvarování odstředivým litím.

Připravované tvarování velkých skleněných nádob odstředivým litím si vyžaduje možnost sledování tloušťky tvarované stěny během vlastního výrobního procesu tvarování. Úkolem předložené diplomové práce je zvolit nejvhodnější měřicí metodu pro tento způsob tvarování a navrhnout měřicí přístroj.

Předložená diplomová práce shrnuje obecné poznatky o odstředivém lití, jejíž znalost je důležitá při použití této technologie pro tvarování skloviny. Dále jsou v této práci shrnuty bezdotykové metody měření tloušťky a uveden výběr s teoretickými podklady nejvhodnějších metod pro měření tloušťky stěny modelové kapaliny při modelování tvarování odstředivým litím na modelovém zařízení a pro měření tloušťky stěny skloviny při tvarování skleněných válců na odstředivém ličím stroji. Práce obsahuje také výsledky laboratorních měření a zhodnocení navrhovaných měřicích metod.

1. Tvarování odstředivým litím

Odstředivé lití je zvláštní technologie. Od obyčejného lití se odlišuje tím, že při plnění formy i při tvárování a tuhnutí se forma a tvarovaná látka stáčí a podléhá působení odstředivých sil.

1.1. Obecné poznatky o odstředivém lití

Na každou částici rotujícího tělesa působí ze strany sousedních částic síla odstředivá, která ji brání v přímočarém pohybu. Ze strany této částice na sousední působí v radiálním směru od osy rotace síla odstředivá

$$F = m \omega^2 r \quad (1)$$

m = hmotnost částice

r = odstředivé zrychlení rotující částice

Po složení této odstředivé síly se silou tíže, která působí na rotující hmotnou částici a je rovna

$$G = m g \quad (2)$$

dostaneme výslednou sílu působící na tuto částici. Pro případ odstředivého lití s vertikální osou rotace dostaneme pro výslednou sílu působící na rotující hmotnou částici následující tvar

$$F_v = \sqrt{F + G} = \sqrt{m(\omega^2 r + g)} \quad (3)$$

Síla odstředivá bývá při odstředivém lití několikanásobně větší než síla tíže a poměr

$$\frac{F}{G} = \frac{\omega^2 r}{g} = k' \quad (4)$$

nazývaný gravitačním koeficientem nebo také stupněm přetížení, nám vyjadřuje, kolikrát je odstředivá síla větší než síla tíže.

Hodnota K nám také charakterizuje zámenu fyzikálních podmínek při odstředivém lití oproti lití normálnímu.

V některých zvláštních případech odstředivého lití a také v době neustálého pohybu při plnění vyvolává tekutina působení tečných sil. Působením odstředivých a tečných sil vzniká celá řada hydrostatických a hydrodynamických jevů; například se mění volná plocha tekutiny, mění se velikost tlaku, záken rozdělení tlaku ve vstřívě atd.

Je nutné zdůraznit, že kromě hmotnosti se všechny ostatní fyzikální vlastnosti tvarované látky, jako je hustota, viskozita, povrchové napětí, konstanty tuhnutí a jiné, v podmínkách rotace nemění.

Při ochlázování odlitků u odstředivého lití vzniká konvekční proudění. A právě toto proudění vyvolává celou řadu technologických podmínek odstředivého lití. Některé z těchto specifických podmínek odkrývají možnosti i přednosti, které jinými druhy lití nejsou dostupné. Odstředivého lití lze použít při výrobě dutých válců bez použití jader, lití dvouvrstvých i vícevrstvých rotačních výrobků atd. Dochází k úsporám suroviny, vynaložené práce, ke snížení pořizovacích nákladů a délky výrobního cyklu.

Na druhé straně má odstředivé lití řadu nedostatků. Odlévání je složitější, protože je zapotřebí speciálních nástrojů. Formy musí mít zvýšenou pevnost a těsnost vzhledem k většímu tlaku tvarované látky. Rotující formy musí být vyvážené a opatřeny ochrannými kryty. Tekutinu je nutné důkladně promíchat, abychem dostali správný rozměr dutiny. Není-li tekutina homogenní, může nastat segregace podle měrných hmotností.

1.1.1: Geometrie volné plochy

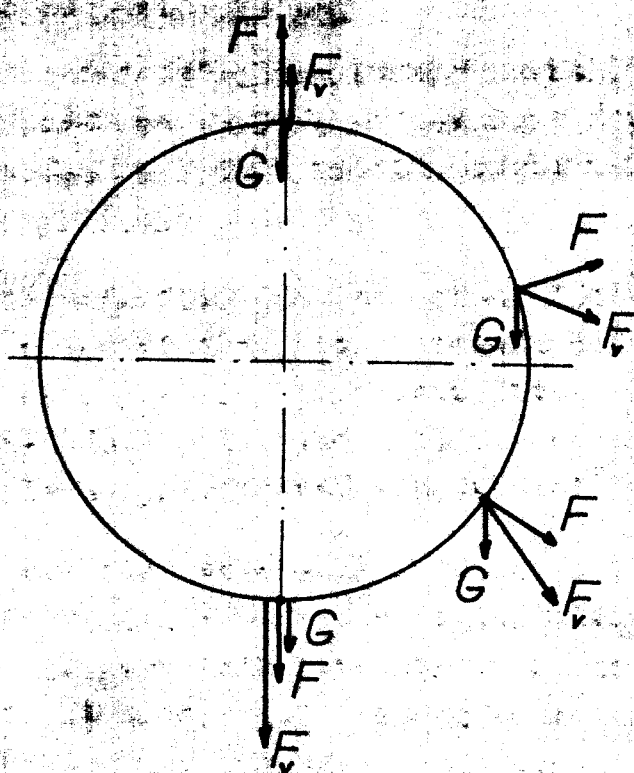
Znalost geometrie volné plochy, vznikající při rotaci tekutiny kolem vertikální, respektive horizontální i nakloněné osy, je nezbytné pro stanovení konfigurace odtluku, určení přídavek atd.

Základní předpoklad je, že všechny částice tekutiny mají stejnou úhlovou rychlost, rovnou úhlové rychlosti formy. V tomto případě je možno počítat s tím, že rotující tekutina je v relativním klidu a pro stanovení tvaru volné plochy platí rovnice hydrostatiky.

Při rotaci kolem vertikální osy přijaté předpoklady odpovídají skutečnosti, i když v době plnění a těsně po něm tekutina nemá ve všech svých vrstvách shodnou úhlovou rychlost. Po uplynutí určité doby se úhlová rychlost vyrovná a tekutina se dostává do relativního klidu.

Při rotaci kolem horizontální osy se gravitační síla skládá s odstředivou silou takovým způsobem, že se výslednice v průběhu každé otáčky formy mění co do velikosti i směru (obr. 1). Kolísání velikosti výsledné síly vyvolává pulsaci úhlové rychlosti tekutiny. Nelze tedy počítat s tím, že tekutina je ve stavu relativního klidu.

Při rotaci tekutiny kolem nakloněné osy pulsaci úhlové rychlosti nevyvolává celá síla tíže, ale jen ta její složka, která se nachází v rovině kolmé k ose rotace. Druhá složka gravitační síly, směřující rovnoběžně s osou rotace, je vždy stejně orientována vzhledem k odstředivé síle, a jejich složením dostaneme výslednici konstantní co do velikosti i směru.



obr. 1

Následky pulzace úhlové rychlosti tekutiny při horizontální a nakloněné ose rotace způsobují, že tekutina se nerovnoměrně rozprostírá po stěně formy. Ve vrchní části je vrstva tlustší než ve spodní části. Jinými slovy - volná plocha dostává tvar válce rovnoběžného s osou rotace a posunutého směrem dolů, avšak při normálních režimech rotace dutých odlitků, kdy odstředivá síla převyšuje gravitační sílu až desetinásobně, efekt posunutí a deformace volné plochy zanikne. Dokonce v případě, kdy volná plocha podléhá deformaci, se tento efekt neprojevuje na vnitřním tvaru odlitku, který zůstane přísne válecový a bez jakýchkoliv posunutí. To se vysvětluje tím, že tuhnutí vrstva při rotaci kolem horizontální osy narůstá rovnoměrně po celém obvodu, nezávisle na tvaru volné plochy tekutiny.

1.1.1.1. Volná plocha při vertikální ose rotace

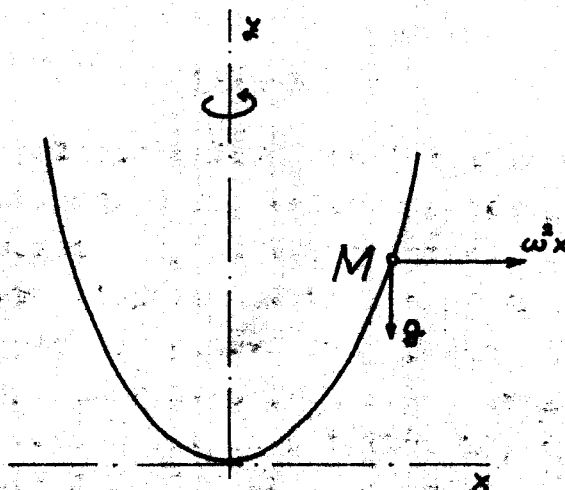
Z předchozích předpokladů vyplývá, že rotující tekutina je v relativním klidu, proto můžeme použít pro stanovení geometrie volné plochy, při libovolné poloze a rotace, rovnice hydrostatiky.

Podle Eulera má rovnice pro povrch hladiny následující tvar:

$$Xdx + Ydy + Zdz = 0 \quad (5)$$

kde jsou X, Y, Z - průměty zrychlení do souřadných os, působících na sledovanou částici tekutiny.

Sledujme nyní volnou plochu a její jednotlivé body při rotaci kolem vertikální osy, jak je naznačeno na obr. 2.



obr. 2

Na bod N , který leží na volné ploše, působí zrychlení o dvou složkách

$$X = \omega^2 x \quad (6)$$

$$Z = -g \quad (7)$$

Při rovnoměrné rotaci je tečné zrychlení nulové, tedy $Y = 0$. Po dosazení velikosti složek zrychlení do rovnice (5) a následovně integrací dostaneme vztah

$$\frac{\omega^2 x^2}{2} - g z + C = 0$$

z čehož dostaneme rovnici křivky

$$z = \frac{\omega^2 x^2}{2g} + C = 0 \quad (8)$$

v případě, že křivka prochází počátkem souřadného systému $C = 0$ a bude-li $x = r$, potom

$$z = \frac{\omega^2 r^2}{2g} \quad (9)$$

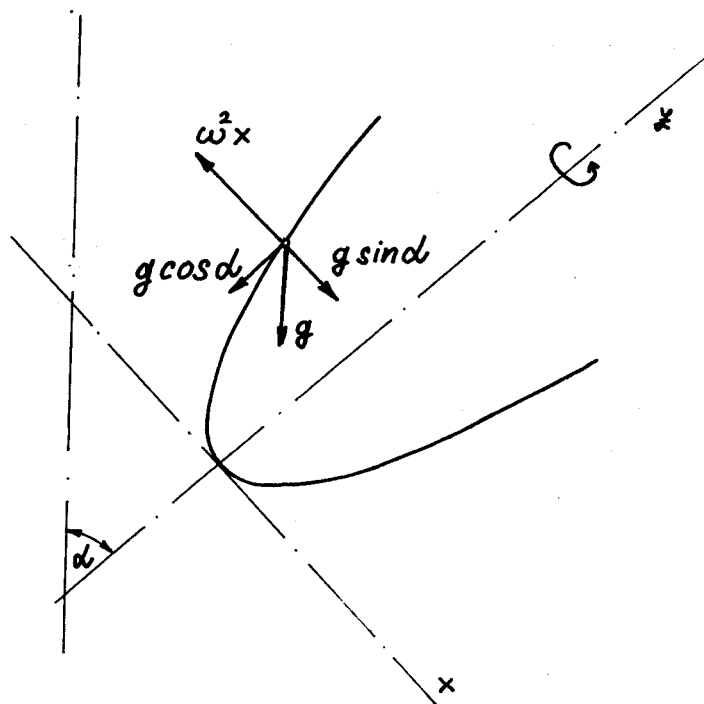
což je rovnice paraboly a volná plocha má tvar rotačního paraboloidu, který se otáčí kolem osy z .

Dosadíme-li do rovnice (9) konstanty, dostaneme vzorec vhodný pro praktické výpočty.

$$z = 5,55 \cdot 10^{-2} \left(\frac{n}{100} \right)^2 \cdot r^2 \quad (10)$$

1.1.1.2. Volná plocha při nakloněné ose rotace

Při rotaci kolem nakloněné osy pod úhlem α od vertikály budou na body volné plochy působit zrychlení podle obr. 3.



obr. 3

Protože v praktických případech je složka zrychlení daleko větší než $g \cdot \sin \alpha$, můžeme sinovou složku tíhového zrychlení zanedbat, potom

$$X = \omega^2 x$$

$$Z = -g \cdot \cos \alpha \quad Y = 0$$

Po dosazení do rovnice (5) a integraci dostaneme

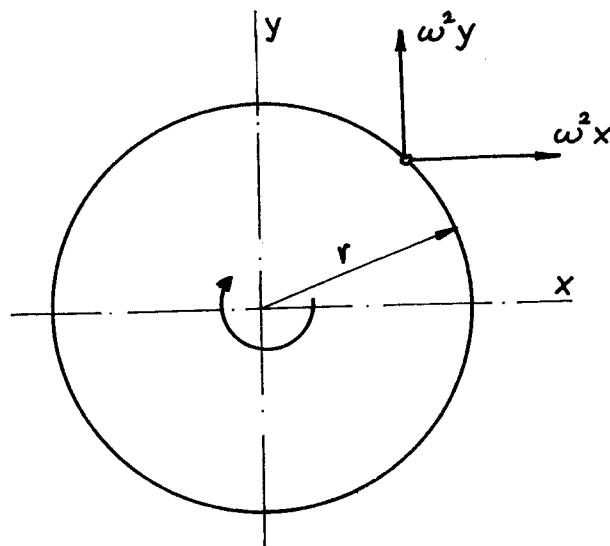
$$z = \frac{\omega^2 r^2}{2g \cdot \cos \alpha} \quad (11)$$

Volná plocha má tvar prodlouženého rotačního paraboloidu. Dosadíme-li do rovnice (11) konstanty, bude

$$z = 5,55 \cdot 10^{-2} \left(\frac{n}{100} \right)^2 \frac{r^2}{\cos \alpha} \quad (12)$$

1.1.1.3. Volná plocha při horizontální ose rotace

Má-li osa rotace horizontální polohu, působí na body volné plochy zrychlení tak, jak je naznačeno na obr. 4.



obr. 4

složky zrychlení mají následující tvar

$$\begin{aligned} X &= \omega^2 x \\ Y &= \omega^2 y \quad Z = 0 \end{aligned}$$

Po dosazení do rovnice (5) a integraci dostaneme

$$y^2 + x^2 = C \quad (13)$$

Z podmínky $x = r, y = 0$ vypočítáme integrační konstantu $C = r^2$, takže rovnice volné plochy bude mít tvar

$$r^2 = x^2 + y^2 \quad (14)$$

Tato rovnice odpovídá tvaru kruhového válce, jehož osa je totožná s osou rotace.

1.1.2. Zvláštnosti tuhnutí odstředivých odlitků

Podmínky tuhnutí odstředivých odlitků se v mnohém odlišují od podmínek tuhnutí odlitků ve statických formách. Podmínky odstředivého lití dovolují v mnohých případech dosáhnout odlitků velmi dobré kvality bez licích defektů. Pro získání kvalitních odlitků je však zapotřebí, tak jako u ostatních technologií, určit vhodnou kombinaci technologických parametrů.

1.1.2.1. Ochlazování odstředivých odlitků

Ochlazování odstředivých odlitků zvenčí závisí na tepelné vodivosti materiálu formy, poměru mezi tloušťkou odlitku a tloušťkou stěny formy akumulující teplo, na intenzitě ochlazování formy a na velikosti vzduchové mezery mezi odlitkem a formou.

Jednou z rozšířených metod snižování rychlosti ochlazování odlitků je nanesení tepelně izolační vrstvy na stěnu kovové formy. Tepelně izolační vložka zabezpečuje zpomalení ochlazování odlitku a tím snížení tepelných napětí ve formě.

1.1.2.2. Vliv rychlosti rotace na ochlazování odlitků

Zvětšení rychlosti rotace a odpovídající zvýšení tlaku tekutiny omezuje smršťování odlitku a zmenšuje vzduchovou mezeru mezi odlitkem a formou, což zvyšuje ochlazování a urychluje tuhnutí odlitku.

1.1.2.3. Konvekce ve žhavé tekutině

Při lití tlustostěnných výrobků mají na podmínky chlazení vliv konvekční proudy, vznikající v místech nejmenší

viskozity tekutiny. Konvekční proudy v ochlazované tekutině vznikají v důsledku toho, že ochlazené vrstvy mají větší hustotu a působením sil tíže nebo odstředivých sil se „utápějí“ v teplejší tekutině s nižší hustotou.

Při odstředivém lití vzrůstají vztlakové síly. V těchto podmínkách bude konvekce vznikat také při nevelkém rozdílu teploty v jednotlivých vrstvách tekutiny. Vznik konvekčních proudů v odstředivých odlitcích závisí na podmínkách ochlazování.

Při ochlazování tlustostěnného dutého odlitku v podmínkách rotace si rozdělení teploty můžeme představit následujícím způsobem. V první vrstvě, počínaje od vnějšího povrchu, do určité hloubky teplota tekutiny prudce roste, zatím co ve druhé vrstvě, blíže k vnitřnímu povrchu, se růst teploty pozastavuje vlivem ochlazování zevnitř. V první vrstvě se rovnováha v tekutině nenarušuje a konvekční proudy tam nevznikají. Ve druhé vrstvě se rovnováha nepřetržitě porušuje. Ochlazená tekutina z vnitřního povrchu se potápí a na její místo vyplouvá horká tekutina. V důsledku tepelné vodivosti se vrstva, která se potápí, rychle prohřívá, její teplota se vyrovnává s okolní tekutinou a další její pohyb do hloubky se zastavuje. Tímto způsobem probíhá ve vnitřní vrstvě nepřetržitá cirkulace.

1.1.3. Jevy spojené s hydraulickým tlakem při odstředivém lití

Při odstředivém lití růst hydrostatického tlaku se vzdáleností od volné plochy, kde je tlak roven nule, probíhá značně rychleji, a proto tlak ve vrstvách umístěných na periferii je značně vyšší než při obyčejném lití.

Zvýšený tlak vyvolává řadu zvláštností v procesu tuhnutí a má vliv na :

1. Zaplnění formy
2. Doplnňování tekutiny při smršťování
3. Čerání
4. Velikost smrštění a rychlost ochlazování
5. Vznik trhlin

1.1.3.1. Vliv tlaku na zaplnění formy

Jak je známo, povrchové napětí nutí tekutinu zaujmout nejmenší povrch. V důsledku toho ostré úhly formy zůstávají nezaplňené. Zvýšený tlak při odstředivém lití překonává sílu povrchového napětí a stupeň zaplnění formy se zvětšuje.

Zejména „mikrotlak“ prvních dávek tekutiny dovoluže dostat odlitky s úplně přesným reliéfem, což je nedosažitelné při lití do statických forem.

1.1.3.2. Doplnňování tekutiny při smršťování

S rostoucí vzdáleností od osy rotace tlak rychle vzrůstá a podmínky doplnňování jsou příznivější. To je jednou z příčin toho, že se ve vnějších zónách odstředivých odlitků nesetkáváme se staženinami.

1.1.3.3. Vliv tlaku na smrštění a ochlazování odlitku

Zvýšení tlaku při odstředivém lití ztěžuje smršťování odlitku. Růst mezery mezi formou a odlitkem, která vzniká při smršťování, se zpomaluje a rychlost tuhnutí odlitku několikrát vzroste. Rychlost rotace má vliv nejen na smršťování a ochlazování odlitku, ale také na intenzitu relativního pohybu tekutiny v době krystalizace a dobu jeho trvání.

1.1.3.4. Vliv tlaku na tvorbu trhlin

V okamžiku vzniku tvrdé kůry na povrchu odlitku a zvláště v okamžiku vzniku mezery mezi ní a stěnou formy se hydraulický tlak tekutiny, zaplňující formu, zcela přenáší na tuhnoucí kůru odlitku. Díváme-li se na ztuhlou kůru jako na plášť tenkostěnné válcové nádoby, zatížený vnitřním přetlakem, je nejvíce nebezpečným řezem takové nádoby podélný řez. Proto se s podélnými trhlinami při odstředivém lití válcových polotovarů setkáváme častěji než s příčnými, které se objevují jen při ztíženém podélném smrštění dlouhých odlitků. Čím menší je rychlost plnění, tím menší je tloušťka tekuté vrstvy v odlitku, a tudíž i tlak na ztuhlou kůru.

Správný výběr těchto technologických parametrů má význam pro boj s trhlinami.

1.2. Sledování procesu tvarování odstředivým litím

Pro zhodnocení teoretických závěrů, týkajících se odstředivého lití skloviny, je nutno provést praktická pozorování.

Na vlastním odstředivém stroji však vzhledem k nepříznivým podmínkám, jako jsou vysoká pracovní teplota, kovová forma, složité pracovní podmínky pro měření atd., nelze řadu jevů sledovat.

Nabízí se nám tedy druhá, výhodnější možnost, a tou je modelové zařízení.

Modelování umožňuje ekonomickou optimalizaci technologie odstředivého lití, přispívá k jejímu teoretickému definování a je podkladem pro stavbu a zdokonalování výrobního zařízení za ekonomicky výhodných podmínek.

1.2.1. Modelování tvarování odstředivým litím

Protože zkoušky tvarování odstředivým litím (dále TOL) prováděné na výrobním zařízení by byly značně nákladné a neumožňovaly by časový předstih jejich provedení před realizací výrobního zařízení, bylo provedeno modelování tvarování odstředivým litím (dále MTOL) v laboratorních podmínkách na KSK VŠST v Liberci.

K tomuto účelu byl zpracován teoretický základ zmíněného procesu, navrženo a zhotoveno experimentální zařízení a vybudováno experimentální laboratorní pracoviště.

1.2.1.1. Zkušební zařízení

Modelové zařízení (obr. 5) je tvořeno základovou deskou (2), na níž je upevněn náboj (3).

Uložení náboje umožňuje naklápění základové desky, a tím i celého modelového zařízení.

Pohon modelu formy (6) zajišťuje hydraulický motor (4).

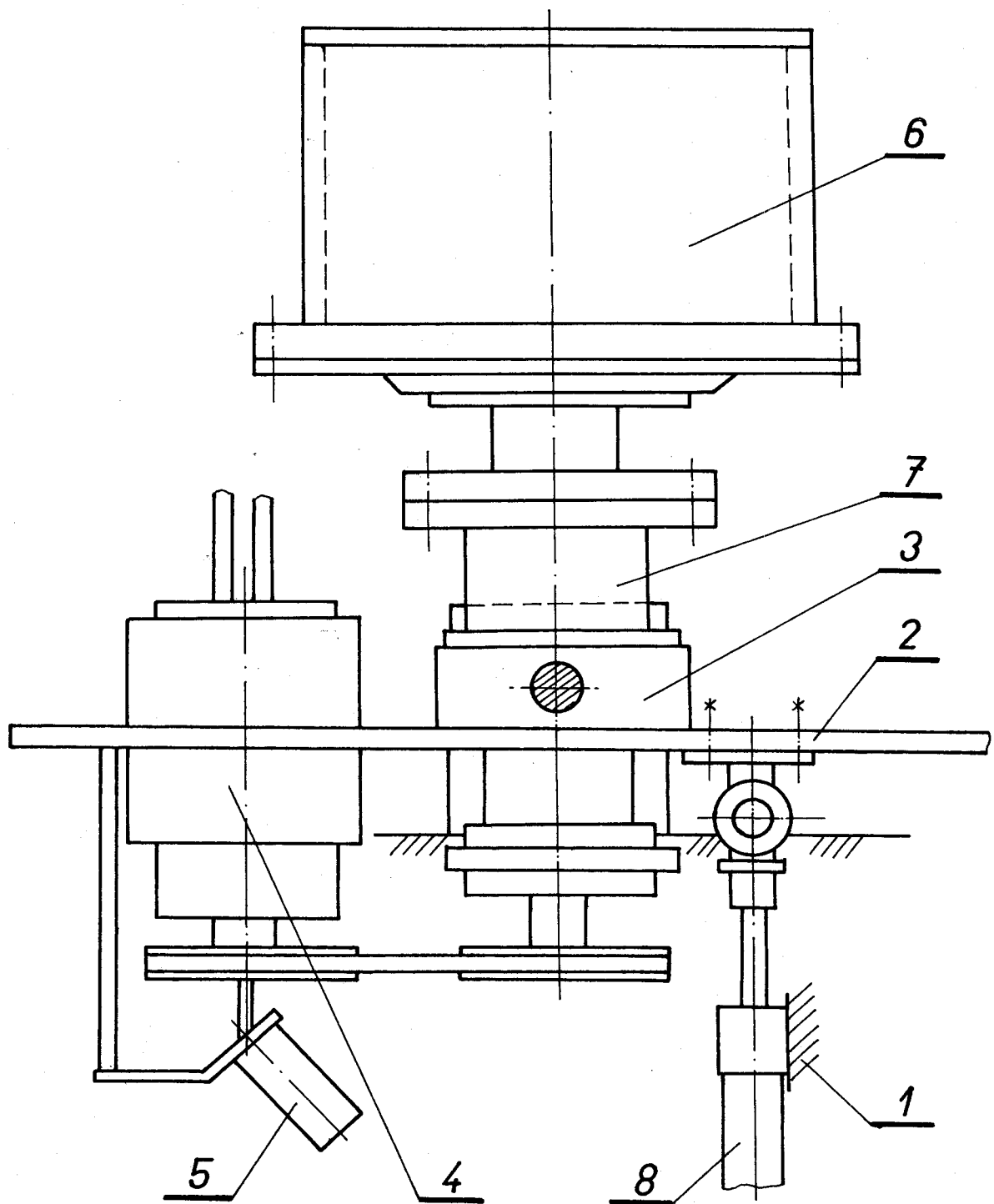
Hřídel modelu formy je uložen v radiálních ložiskách, která jsou uložena v pouzdru (7). Nastavenou hodnotu úhlu sklonu osy rotace zajišťuje elektromagnetická brzda.

Celé modelové zařízení je upevněno na rámu (1), na kterém je uchycen hydraulický válec (8), pomocí kterého se provádí naklápění osy rotace. Tlakovou kapalinu do válce i hydraulického motoru dodává hydraulický agregát IHA-3.

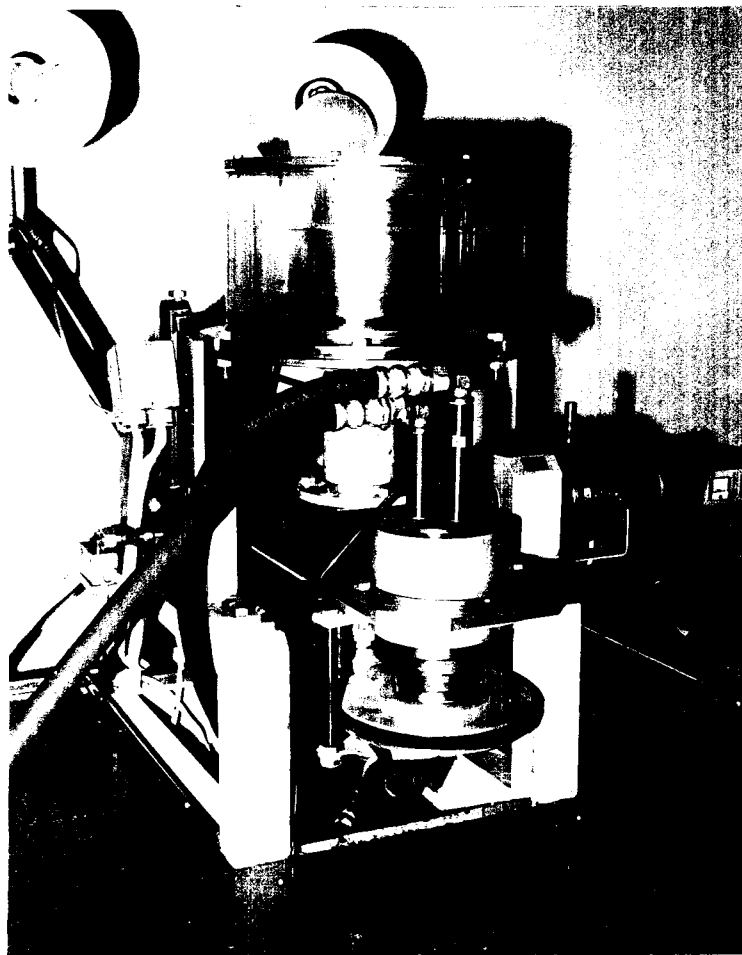
Ovládací zařízení tvoří spouštěcí panel. Ovládají se jím nezávisle na sobě "plnicí otáčky" - rotace 1 a "tvarovací otáčky" - rotace 2. Rovněž sklápění modelu formy v rozsahu $0^\circ - 90^\circ - 0^\circ$.

Otáčky modelu formy a rychlost sklápění se řídí škrticími ventily, které jsou umístěny na rámu modelového zařízení.

Celkový pohled na modelové a ovládací zařízení je na obr. 6. Otáčky modelu formy snímá tachodynamo (5).



obr. 5



obr. 6

1.2.1.2. Modelová kapalina

Chování skloviny se v laboratorních podmínkách modeluje viskózní kapalinou. Pro MTOL válcového nálitku Js 1000 byla připravena modelová kapalina ze 16ti váhových procent boraxu ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10 \text{H}_2\text{O}$) a 84 váhových procent glycerinu ($\text{C}_3\text{H}_8\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$). Borax se přidává postupně do vroucího glycerinu. Přidáním glycerinu popř. přidáním kapaliny o známé vyšší viskozitě se modelová kapalina dále upravuje na požadovanou viskozitu.

Modelová kapalina je hygrokopická a její viskozita se mění i po delším stání, proto je třeba ji upravit vždy těsně před měřením. Rovněž ohřevem kapaliny způsobeným třením v kapalině a třením kapaliny o stěnu formy modelu dochází ke změně viskozity kapaliny. Vzhledem k tomu musí být kapalina po pěti měřeních vyměněna.

1.2.2. Tvarování skloviny odstředivým litím

Odstředivé lití skleněných trub Js 600, Js 1000 a Js 1200 se provádí na odstředivém stroji. Celková koncepce tohoto stroje je shodná s modelovým zařízením. Modelové zařízení je však vyrobeno ve zmenšeném měřítku 1:5.

Na vlastním rámu stroje je otočně kolem horizontální osy uložena základová deska. V ložiskách je na této desce uložen hřídel formy pro odstředivé lití. Forma je zhotovena ze šedé litiny, pohání ji dva hydromotory a může se naklápět v rozsahu 0 - 180° od vertikální osy. Jednotlivé polohy naklápění zajišťují čtyři koncové spínače, které ovládají elektromagnetickou brzdu uloženou na hřídeli základové desky. Ke dnu formy je namontován vyhazovač hotových výrobků. Pohon odstředivého stroje je hydraulický.

Podrobnou dokumentaci vlastní VUSU - Teplice.

shr. 24 — chyba měření se udává
v % a ~~v~~ měly by
se udávat v % při každém
měření.

a) chyba soustavní
(mýlný drift)

b) chyba ~~systematic~~ soustavný
převod

$$V = k \gamma$$

V - vychylba α°

k - soustavná

γ - měřena velikost

c) ~~chyba~~ li
nelineární zkreslení

— chybi stanovení rozsahu
měření. Důležité pro výběr
metody

2. Bezdotykové, kontinuální měření tloušťky

Z charakteru procesu tvarování odstředivým litím zcela určitě vyplývá, že měřicí zařízení, použité pro měření tloušťky vrstvy tvarované skloviny, musí být bezdotykové.

2.1. Praktické požadavky na zařízení měřicí tloušťku

Ve spojení vlastních jednotlivých požadavků s moderními, univerzálními měřicími postupy vhodnými pro měření tenkých vrstev, drátů, kabelů, rozměrných desek a též profilových materiálů s geometricky jednoduchým průřezem platí tyto základní zásady:

- Měření musí být prováděno kontinuálně a bezdotykově, to znamená, že nesmí dojít k dotyku měřeného předmětu s měřicím přístrojem, ani není žádoucí vedení tohoto předmětu.
- Měřicí postup musí umožňovat měření studeného i žhavého materiálu, u kterého může v krajním případě ležet horní teplotní hranice kolem $+ 1\,400\text{ }^{\circ}\text{C}$.
- Měřený předmět musí být možno měřit i při vysokých produkčních rychlostech. Horní hranice leží kolem $2\,000\text{ m/min}$.
- Měření má být prováděno na co největším měřicím rozsahu.
- Chyba měření může být podle měřicího rozsahu $0,01$ až $0,1\text{ mm}$.

2.2. Používané metody pro měření tloušťky

V podstatě se nechají metody měření tloušťky rozdělit na dotykové a bezdotykové. Předchozí podmínky vylučují použití dotykových metod. Bezdotykové metody měření tloušť-

ky se dají všeobecně rozdělit následovně:

- Měření tloušťky za použití jaderného záření
- Měření tloušťky pneumatickým způsobem
- Měření tloušťky kapacitním způsobem
- Měření tloušťky na magnetickém základě
- Měření tloušťky laserem
- Měření tloušťky na základě měření stínu
- Měření tloušťky založené na absorpci světla

2.2.1. Měření tloušťky za použití jaderného záření

Zde je využita vlastnost veškeré hmoty, radioaktivní záření z určité části absorbovat nebo odrážet. Při měření tloušťky předmětu se nejčastěji používá absorpčního způsobu a při měření tloušťky vrstvy se používá způsobů založených na měření zpětného záření. Použití této metody se zatím omezuje hlavně na měření materiálů o velkých plošných rozměrech.

2.2.2. Měření tloušťky pneumatickým způsobem

Proudí-li z dýzy vzduch na měřený předmět, nalézající se těsně za ní, vzniká ve vedení vedoucímu vzduch k tomuto předmětu určitý tlak. Při jistých podmínkách je tento tlak úměrný měřeným rozměrům. Prakticky je vzdálenost mezi dýzou a měřeným předmětem přibližně 0,02 mm, což vyžaduje přesné vedení, a tím zcela nesplňuje předchozí podmínky. Uspořádání měřicího zařízení je popsáno v /5/.

2.2.3. Měření tloušťky kapacitním způsobem

Tato metoda vychází z toho, že měřený předmět (die-

lektrum) se nalézá mezi dvěma kondenzátorovými deskami a úměrně jeho rozměrům se mění kapacita kondenzátoru. Výsledek je velmi závislý na materiálu. Nečistoty v něm, obsah vody atd. vedou ke zkreslení výsledků. Z tohoto důvodu tato metoda nesplňuje úvodní požadavky. Kapacitní přístroj na měření tloušťky je popsán v /6/.

2.2.4. Měření tloušťky na magnetickém základě

Při magnetickém měřicím způsobu ovlivňuje měřený předmět magnetický odpor magnetického kruhu, kde sám představuje jednu součást. Samozřejmě že se tímto způsobem dají měřit jen feromagnetické materiály. Vzdálenost mezi měřeným předmětem a magnetickým kruhem je přibližně 0,5 mm, což umožňuje přesnou měřitelnost. Je však třeba uvést, že se použití tohoto způsobu dosud prakticky neuplatnilo.

Další známé metody měření vířivými proudy nacházejí přednostní uplatnění při měření tloušťek vrstev.

2.2.5. Měření tloušťky laserem

U měřeného předmětu c nepatrném průměru může být určen rozměr tak, že průměr určujeme z Fraunhoferova spektra za použití monochromatického, koherentního záření (postup podle Rungeho). Podrobné vysvětlení tohoto principu je obsaženo v /7/.

2.2.6. Měření tloušťky na základě měření stínu

Z literatury se dozvídáme, že použití této měřicí metody nalézá přednostní uplatnění. Pro všechny tyto měřicí postupy je typické, že měřený předmět ovlivňuje svě-

telný tok na jeho cestě od zdroje světla k přijímači. Proto se ukazují konstrukce principiálně stejné, rozlišující se jen ve způsobu vyhodnocení fotoelektrickým přijímačem.

2.2.7. Měření tloušťky založené na absorpci světla

Metoda vychází z Lambertova zákona pro intenzitu světla a je vhodná pro měření tloušťek předmětů z materiálů, které při různých rozměrech absorbují určitou část světelného záření při jeho cestě od zdroje k přijímači. Uplatňuje se také v oblasti měření tenkých vrstev různých modelových kapalin, které je však nutno vhodně barevně upravit. Je zřejmé, že tento způsob nelze aplikovat při měření tloušťek předmětů z kovových a jiných, světlo nepropouštějících materiálů.

3. Měření tloušťky vrstvy modelové kapaliny při MTOL

Výběr měřicí metody musí být proveden tak, aby tato metoda plně využívala podmínek a vlastností modelového zařízení a modelové kapaliny.

1. Modelová forma je z plexiskla o síle stěny 17 mm, vnitřním průměru 208 mm a výšce 132 mm.
2. Modelová forma se při MTOL naklápí v rozmezí $0^{\circ} - 90^{\circ} - 0^{\circ}$.
3. Modelová forma rotuje kolem své osy a hladina modelové kapaliny při této rotaci mění svůj tvar.
4. Tloušťka vrstvy modelové kapaliny je při MTOL 2 - 4 mm.

Měřicí metoda musí umožňovat měření s dostatečnou přesností a při vlastním měření v laboratorních podmínkách musí být dodržena bezpečnostní a hygienická ustanovení.

Všem těmto podmínkám nejlépe vyhovuje z bezdotykových měřicích metod popsanych v kapitole 2 měřicí metoda založená na principu pohlcování světla v modelové kapalině při jeho cestě od zdroje ke snímači. Snímací metoda je založena na fotoelektrickém jevu.

3.1. Absorpce světla

Světlo procházející libovolným prostředím se v něm do jisté míry absorbuje. Absorpce je obvykle selektivní, t.j. světlo různých vlnových délek se absorbuje různě. Protože délka vlny určuje barvu světla, budou se obecně v daném prostředí absorbovat prvky různých barev různě. Průhledné a bezbarvé látky mají malou absorpci světla všech vlnových délek viditelného záření. Tak například skleněná deska tloušťky 1 cm absorbuje jen asi 1 % jí procházejícího viditelného záření. Totéž sklo silně pohlcuje ultrafialové a

dlouhovlnné infračervené paprsky.

Podle teorie pružně vázaných elektronů je absorpce světla vyvolána tím, že procházející světelné vlny vzbuzují vynucené kmity elektronů. Na udržení kmitů elektronů přechází část světelné energie, která se potom mění v jiné druhy energie. Přechází-li energie kmitavého pohybu elektronů srážkami mezi atomy v energii neuspořádaného pohybu molekul, látka se zahřívá.

Abychom úvahy o absorpci zjednodušili, budeme sledovat záření monochromatické.

Nechť dopadá záření monochromatické o vlnové délce λ na rozhraní dvou prostředí. Pak se jistá část záření odrazí a zbytek o intenzitě I_0 vniká do druhého prostředí. Nezmění-li se intenzita I_0 při průchodu prostředím, pak je nazýváme „průhledným“ nebo prostupným a změní-li se I_0 , pak mluvíme o absorpci. Je samozřejmé, že absorpce roste s tloušťkou prostředí.

Nechť je ve vzdálenosti l intenzita světla I , pak ve vzdálenosti $l + dl$ je menší, a to $I - dI$, což lze psát

$$I - \frac{dI}{dl} dl$$

takže úbytek intenzity světla na jednotku délky je $-\frac{dI}{dl}$.

Je zřejmé, že úbytek $-\frac{dI}{dl}$ je úměrný I , takže lze psát

$$\frac{dI}{dl} = -k I$$

nebo

$$\frac{dI}{I} = -k dl$$

po integraci dostaneme

$$\lg I = -k l + C$$

kde pro $l = 0$ dostaneme $C = \lg I$

konečný výsledek je ve tvaru

$$I = I_0 \cdot e^{-kl} \quad (15)$$

k - absorpční konstanta

Tento zákon se nazývá „zákonem Lambertovým“; z něho je patrné, že v každé vrstvě látky o tloušťce dl se absorbuje týž zlomek z vnikajícího záření.

3.2. Fotoelektrický jev - fotoefekt

Změny elektrických vlastností látek (odpor, emise elektronů apod.), vyvolané ozářením látek, nazýváme fotoelektrickými.

Jev, při kterém se uvolňují elektrony z látek po jejich ozáření, se nazývá „vnější fotoelektrický jev“.

Zákony fotoelektrického jevu jsou tyto:

1. Počet elektronů uvolněných za jednotku času je úměrný intenzitě dopadajícího záření.
2. Rychlost elektronů uvolněných z látky při fotoefektu je tím větší, čím je vyšší frekvence ν dopadajícího světla.
3. Fotoelektrický jev nastává pouze při ozáření světlem o frekvenci $\nu > \nu_{kr}$, kde ν_{kr} je kritická frekvence (červená hranice fotoefektu), $\lambda_{kr} = c/\nu_{kr}$ dlouhovlnná hranice fotoelektrického jevu.

4. Fotoelektrický jev je prakticky bez setrvačnosti, t.j. počátek osvětlení a počátek vzniku fotoelektronů jsou téměř totožné.

A. Einstein vysvětlil zákonitosti fotoelektrického jevu tím, že elektrony pohltní energii fotonů:

$$\varepsilon = h\nu \quad (16)$$

ε - kvantová energie

h - Planckova konstanta

ν - frekvence světla

Část energie fotonu pohlcená elektronem se spotřebuje na výstupní práci elektronu z kovu $A_{\text{výst}}$ a část na kinetickou energii elektronu $1/2 m v^2$ po jeho výstupu z kovu, takže

$$h\nu = A_{\text{výst}} + 1/2 m v^2 \quad (17)$$

Einsteinova rovnice pro fotoelektrický jev vyjadřuje zákon zachování energie.

Vnitřní fotoelektrický jev spočívá v tom, že elektrony vázané na atomy uvnitř polovodiče se uvolňují působením světla, což vede ke zvětšení elektrické vodivosti látky.

Fotoelektrický jev hradlové vrstvy spočívá ve vzniku napětí na osvětlených polovodičích vzájemně se dotýkajících a vzniká na přechodech mezi polovodiči.

Dotýkají-li se polovodiče s děrovou a elektronovou vodivostí a polovodič s děrovou vodivostí osvětlíme, přecházejí jeho elektrony po pohlcení světelných kvant do polovodiče s elektronovou vodivostí, který se nabíjí záporně a polovodič s děrovou vodivostí se nabíjí kladně. Tím vzniká zdroj proudu.

3.3. Měřicí přístroj

Na základě teorie o absorpci světla a fotoelektrickém jevu byla navržena konstrukce měřicího přístroje. Tento přístroj byl vyroben na KSK. Jeho hlavními částmi jsou vysílač světelného záření a snímač tohoto záření. Celkové schéma zapojení je na obr. 9.

3.3.1. Vysílač světelného záření

Zdrojem světla je žárovka 5 W, 12 V (2) na obr. 7, s matovým povrchem. Světelný tok prochází ve dvou opačných směrech optickými soustavami s clonou (ohnisková vzdálenost je 35 mm) (3).

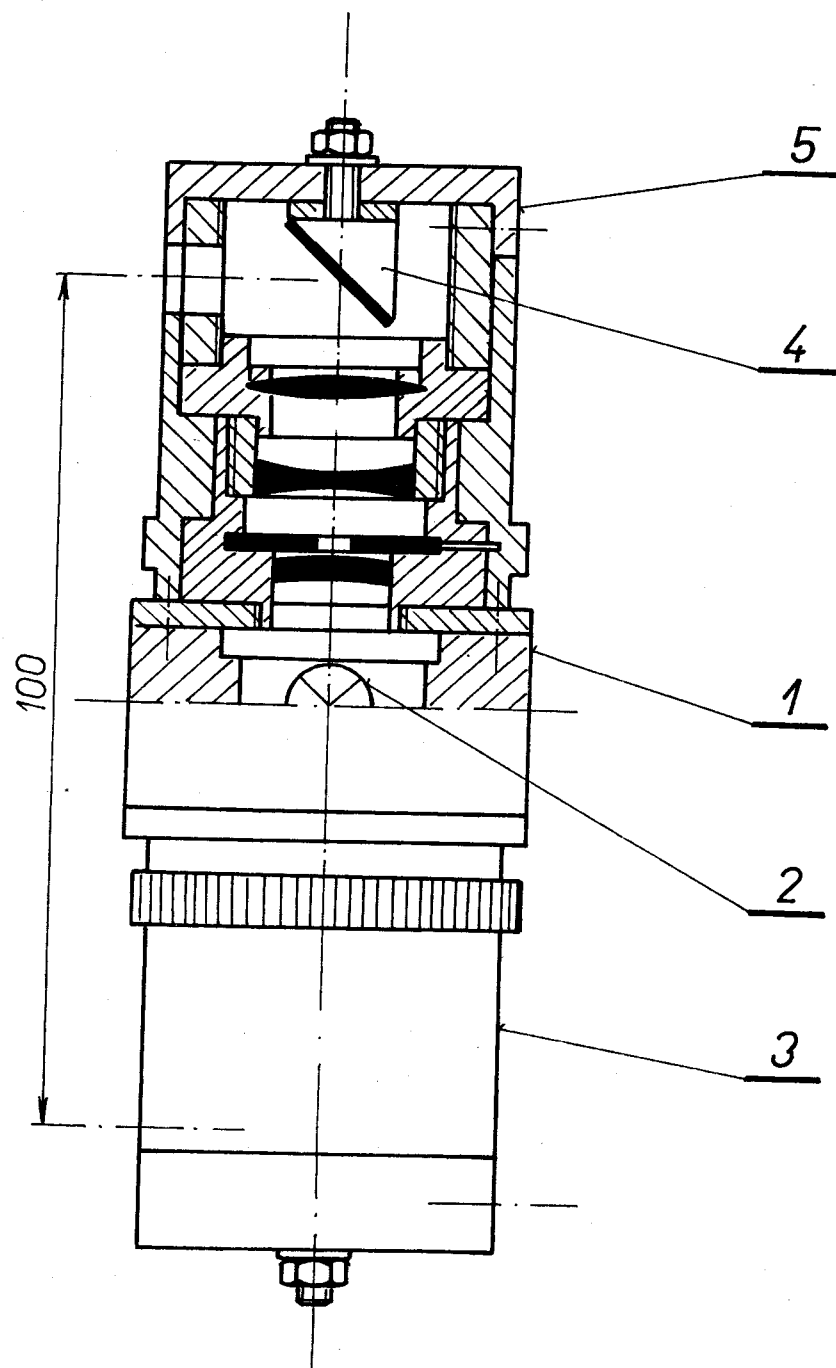
Na zrcátkách (4), upevněných na víčkách (5), mění světlo svůj směr o 90° a opouští vysílač ve dvou rovnoběžných svazcích od sebe vzdálených 100 mm.

Vysílač je připevněn za centrální blok (1) k pohyblivé části stojanu upevněného na základovou desku modelového zařízení.

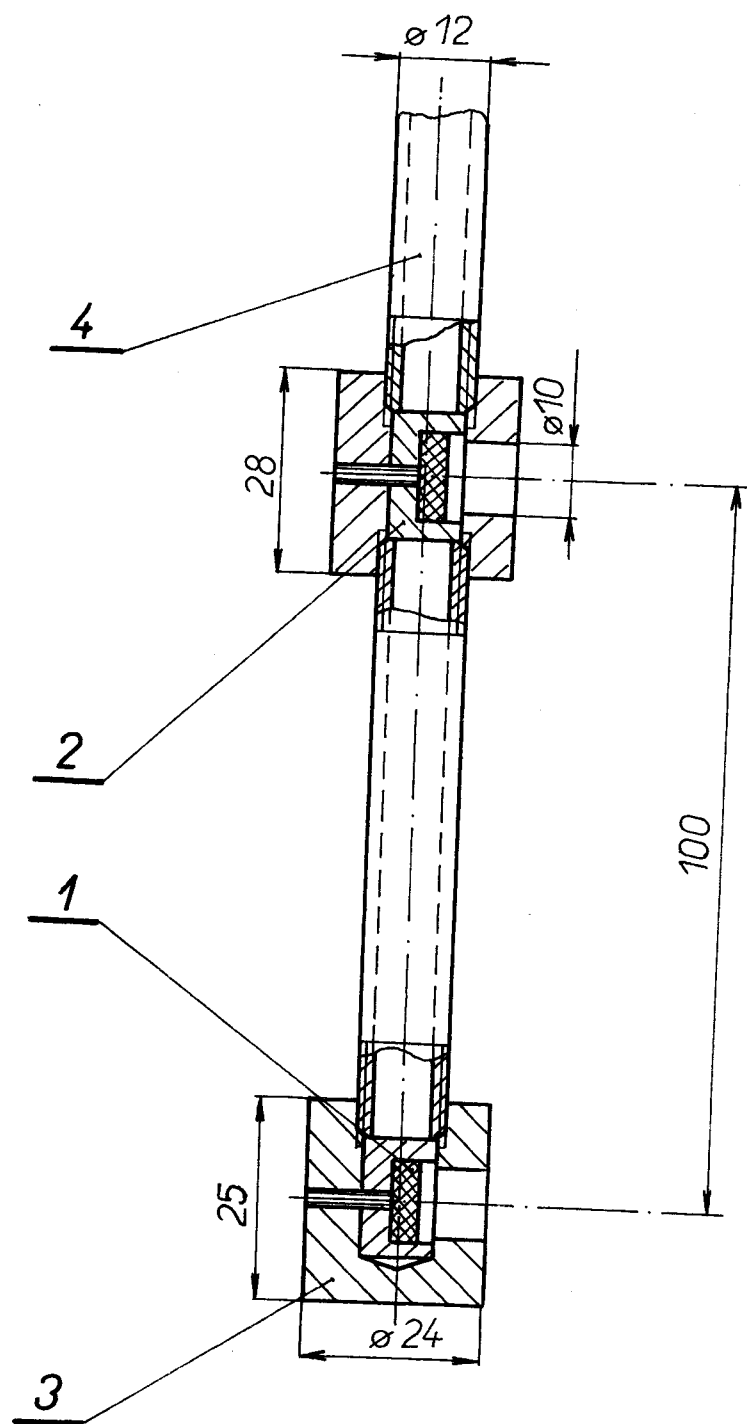
3.3.2. Snímač světelného záření

Snímač (obr. 8) pracuje na základě fotoelektrického jevu. Světlo po průchodu stěnou modelové formy a modelovou kapalinou dopadá na dvě fotonky typu 1PF75(1). Dopadem světla na fotonku dochází ke vzniku vnitřního elektromotorického napětí. Fotonky jsou uloženy v pertinaxových vložkách (2) v ochranných nliníkových pouzdrech (3). Vývody fotonek jsou umístěny ve spojovacích trubkách (4). Snímač je rovněž upevněn na pohyblivé části stojanu.

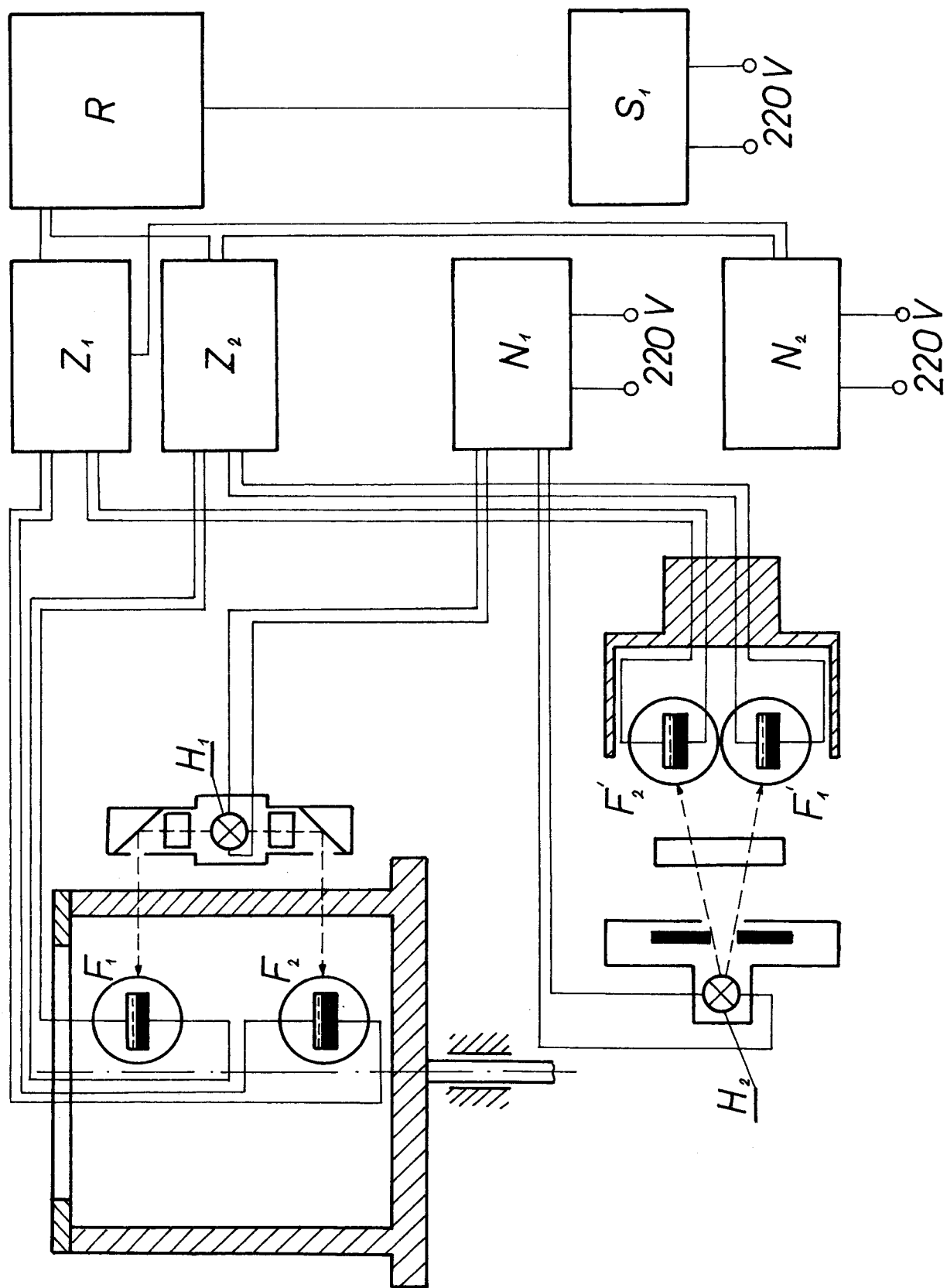
Proudové signály z fotonek F_1 a F_2 (obr. 9), které jsou úměrné tloušťce stěny modelové kapaliny, jsou zpracovávány dvěma diferenciálními zesilovači Z_1 , Z_2 . Na výstupy



oor. 7



obr. 8



собр. 3

zesilovačů je zapojen registrační přístroj R, který zapisuje zpracované elektrické signály na registrační papírový pás. Zesilovače Z_1 , Z_2 jsou napájeny ze stejnosměrného stabilizovaného zdroje N_1 . Ke kompenzaci průchodu světla formou a změn osvětlení v místnosti je použito žárovky H_2 , která je stejně jako žárovka H_1 vysílače světelného toku napájena ze stejnosměrného stabilizovaného zdroje N_1 . Registrační zařízení je napájeno přes střídavý stabilizátor S_1 ze sítě.

Použité přístroje

- | | | |
|---------------------------------|---|-----|
| F_1 , F_2 , F'_1 , F'_2 | - fotoelektrické buňky 1PF75 | |
| Z_1 , Z_2 | - diferenciální jednoúčelový zesilovač
(vyrobený pro tyto účely na VŠST) | |
| N_1 , N_2 | - stejnosměrný stabilizovaný zdroj OP 280 | 45. |
| R | - oscilograf 8-LSI (Záznam se vyvolává denním světlem) | |
| S_1 | - stabilizátor síťového napětí ST 5000.4. | |

3.4. Úprava modelové kapaliny

Pro měření tloušťky stěny modelové kapaliny fotoelektrickou metodou je nutné kapalinu barevně upravit. Použité fotobuňky mají největší citlivost v oblasti červené barvy. Experimentálně byla zkoumána řada barviv. Závislost absorpce světla na tloušťce vrstvy kapaliny nebyla však lineární. Pro zajištění přesnosti měření by bylo nutné měřit v absorpčním maximu kapaliny. Ke splnění tohoto požadavku by byl nutný monochromatický zdroj svět-

Z důvodu využití celého rozsahu registračního přístroje bylo nutné pro dávku 250 ml modelové kapaliny stanovit vhodné množství barviva (emulze sazí).

Pro sledování tloušťky stěny modelové kapaliny v rozmezí 2 - 4 mm s maximálním využitím rozsahu registračního přístroje je nejvhodnější dávka 0,4 ml emulze

zesilovačů je zapojen registrační přístroj R, který zapisuje zpracované elektrické signály na registrační papírový pás. Zesilovače Z_1 , Z_2 jsou napájeny ze stejnosměrného stabilizovaného zdroje N_2 . Ke kompenzaci průchodu světla formou a změn osvětlení v místnosti je použito žárovky H_2 , která je stejně jako žárovka H_1 vysílače světelného toku napájena ze stejnosměrného stabilizovaného zdroje N_1 . Registrační zařízení je napájeno přes střídavý stabilizátor S_1 ze sítě.

Použité přístroje

- | | | |
|---------------------------------|---|-----|
| F_1 , F_2 , F'_1 , F'_2 | - fotoelektrické buňky 1PP75 | |
| Z_1 , Z_2 | - diferenciální jednoúčelový zesilovač
(vyrobený pro tyto účely na VŠST) | |
| N_1 , N_2 | - stejnosměrný stabilizovaný zdroj OP 280 | 45. |
| R | - oscilograf 8-LS1 (Záznam se vyvolává denním světlem) | |
| S_1 | - stabilizátor síťového napětí ST 5000.4. | |

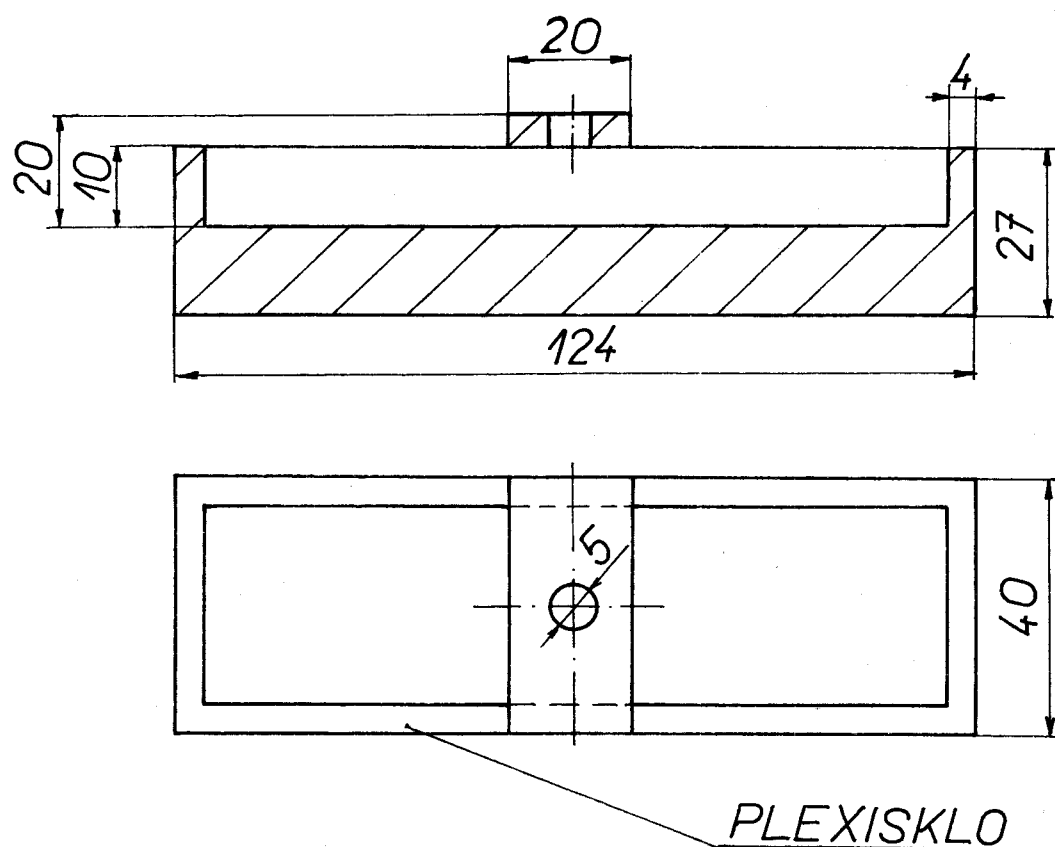
3.4. Úprava modelové kapaliny

Pro měření tloušťky stěny modelové kapaliny fotoelektrickou metodou je nutné kapalinu barevně upravit. Použité fotobuňky mají největší citlivost v oblasti červené barvy. Experimentálně byla zkoumána řada barviv. Závislost absorpce světla na tloušťce vrstvy kapaliny nebyla však lineární. Pro zajištění přesnosti měření by bylo nutné měřit v absorpčním maximu kapaliny. Ke splnění tohoto požadavku by byl nutný monochromatický zdroj světla vlnové délky absorpčního maxima kapaliny, což by kladlo zvýšené nároky na konstrukci měřícího přístroje. Přijatelnou závislost absorpce světla na tloušťce vrstvy kapaliny dává černá barva bez jakéhokoliv odstínu (saze).

Z důvodu využití celého rozsahu registračního přístroje bylo nutné pro dávku 256 ml modelové kapaliny stanovit vhodné množství barviva (emulze sazí).

Pro sledování tloušťky stěny modelové kapaliny v rozmezí 2 - 4 mm s maximálním využitím rozsahu registračního přístroje je nejvhodnější dávka 0,4 ml emulze sazí na 256 ml modelové kapaliny (viz P 1).

Měření bylo provedeno na kalibrační nádobce (obr.10).



obr. 10

3.5. Cejchování

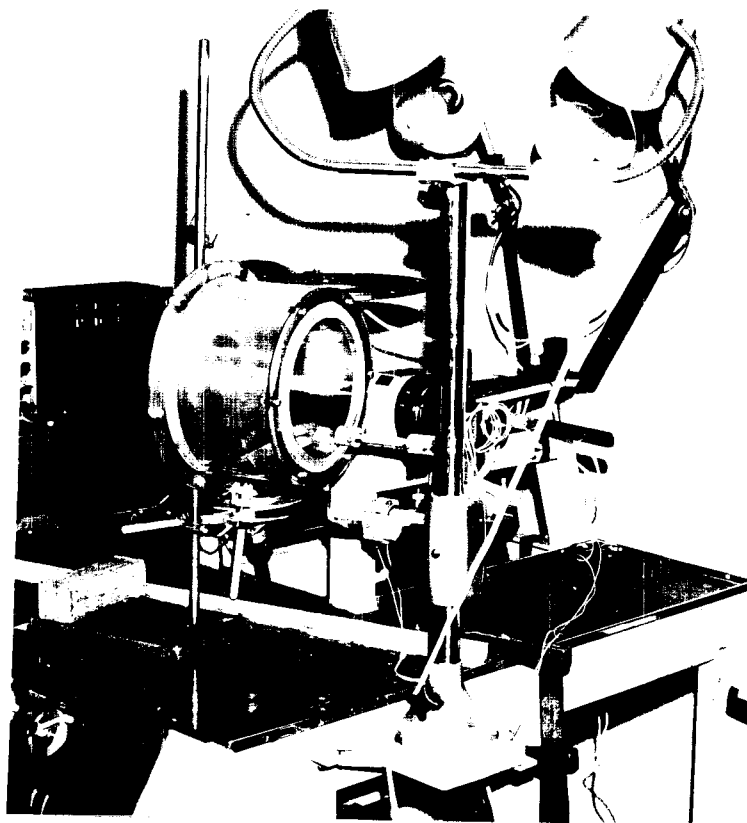
Pro sestavení cejchovní křivky je nutné provést cejchovní měření. Hlavním úkolem proto bylo zvolit nejvhodnější způsob cejchování.

Nejprve bylo provedeno měření na modelu formy a naměřené hodnoty byly vzaty jako základní.

Postup měření :

1. Přípravení 250 ml modelové kapaliny obsahující 0,4 ml emulze sazí.
2. Postupné nadávkování 1; 1,5; 2; 2,5; 3; 3,5; 4 mm silné vrstvy kapaliny do horizontálně upevněné modelové formy s pomocným můstkem pro měření tloušťky vrstvy kapaliny.
4. Umístění modelové formy s dávkou kapaliny do měřicího přístroje. V měřených místech směřuje světelný tok kolmo na hladinu kapaliny a jeho osa protíná osu formy.
4. Po každém dávkování a umístění formy do měřicího přístroje registrace naměřených hodnot.

Umístění modelové formy a měřicího přístroje při měření je zachyceno na obr. 11.

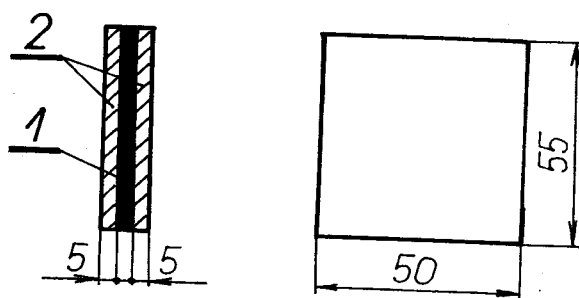


obr. 11

Obdobným způsobem bylo provedeno měření na kalibrační nádobce a kalibrech 1; 1,5; 2; 2,5; 3; 3,5 a 4 mm (obr. 12).

Umístění kalibrační nádoby v měřícím přístroji je zachyceno na obr. 13.

Naměřené hodnoty z předchozích měření jsou uvedeny v příloze P 2.



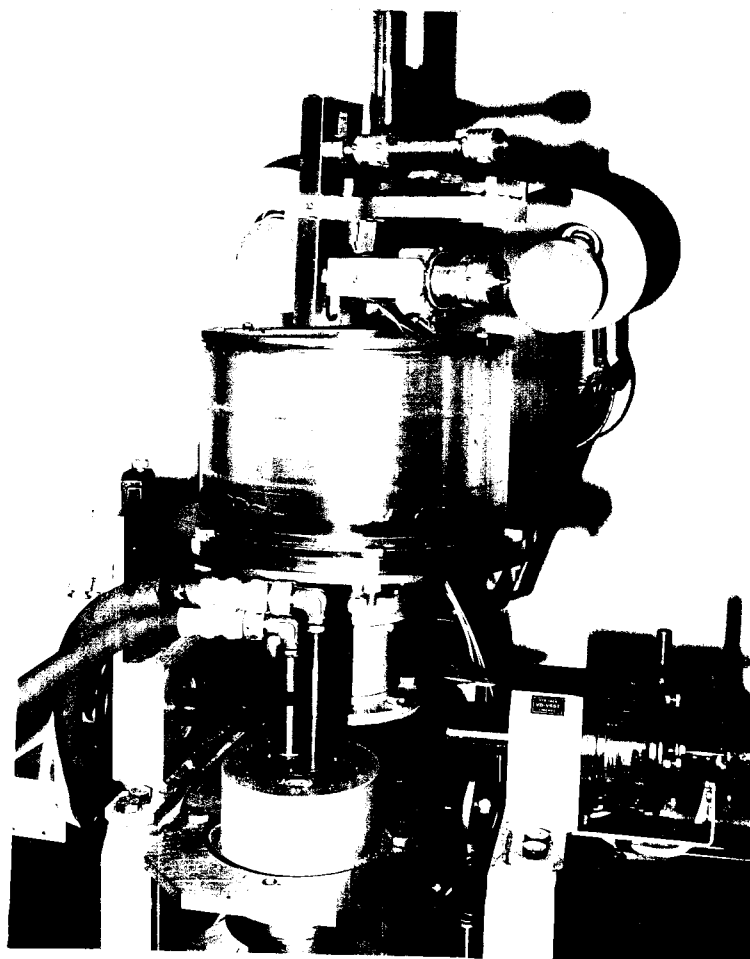
1-MODELOVÁ KAPALINA
2-PLEXISKLO

obr. 12

Zhodnocení cejchování

Místo velmi pracného cejchování na modelu formy můžeme rychle a s dostatečnou přesností provést cejchování na kalibrační nádobce nebo pomocí kalibrů.

Použití kalibrační nádoby nám umožňuje ocejchovat libovolnou tloušťku vrstvy modelové kapaliny.



obr. 13

3.6. Měření na modelovém zařízení

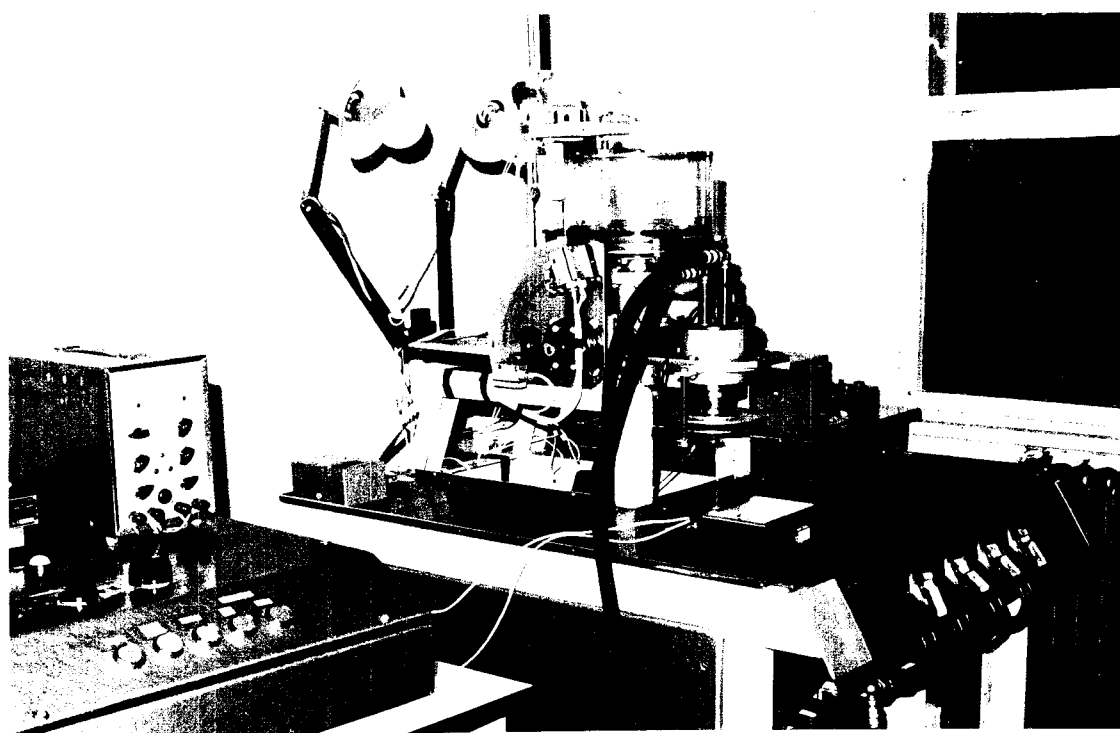
Hlavním úkolem tohoto měření bylo posoudit vhodnost použití absorpční metody pro měření tloušťky stěny modelové kapaliny při TOL a stanovit přesnost, které lze při měření dosáhnout.

Na obr. 14 je zachyceno experimentální pracoviště pro MTOL.

3.6.1. Pracovní postup

1. Zapojení celého zařízení na elektrickou síť
2. Zahřátí systému na pracovní teplotu

3. Seřízení plnicích otáček a tvarovacích otáček
4. Seřízení citlivosti fotoelektrického zařízení
5. Cejchování pomocí kalibrační nádoby nebo kalibrů a registrace jednotlivých hodnot.
6. Roztočení modelu formy na plnicí otáčky ($n_{MP}=50 \text{ min}$)
7. Plnění modelu formy modelovou kapalinou
(254 ml, 20°C , poloha $\alpha = 30^\circ$)
8. Nastavení úhlu sklonu osy rotace ($\alpha = 0^\circ, 30^\circ, 72^\circ$)
9. Spouštění zapisovače xx)
10. Roztočení modelu formy na tvarovací otáčky n_{MT}
11. Po ustálení zaznamenávaných hodnot vypnutí zapisovače a rotace formy
12. Setření modelové kapaliny ze stěny formy
13. Změření teploty modelové kapaliny
14. Příprava dalšího měření
15. (Výměny kapaliny).



obr. 14

xx) Zapisovač nám zaznamenává čas τ , tloušťku vrstvy modelové kapaliny v horní poloze s_{MH} a v dolní poloze s_{MD} (příloha P 5).

3.6.2. Měření v různých polohách osy rotace

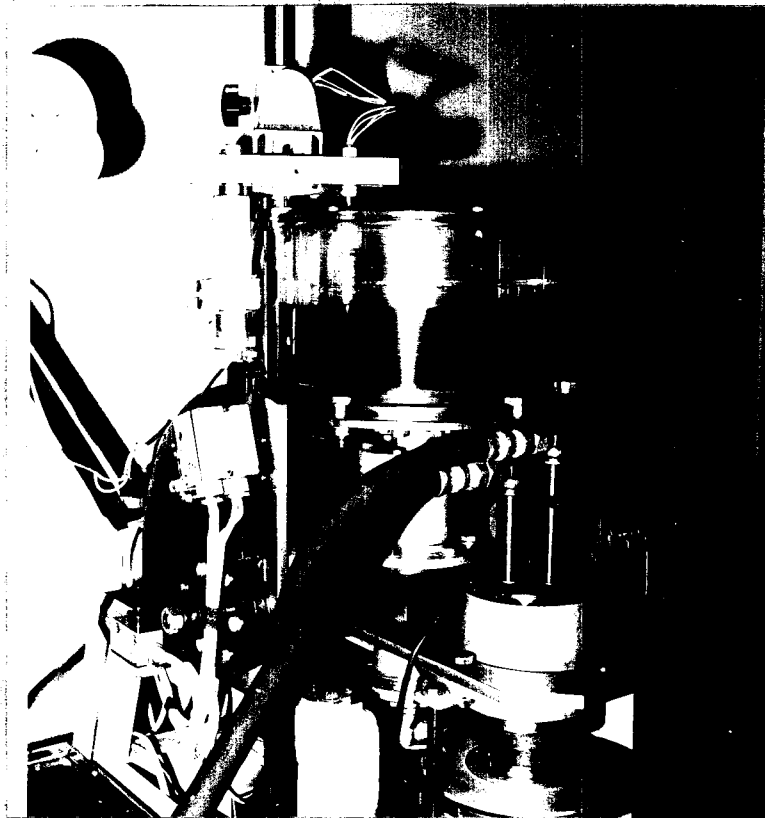
Z cejchovních křivek v příloze P 2 je zřejmé, že můžeme vyhodnocovat tloušťku stěny modelové kapaliny od 1 do 4 mm. Z průběhu cejchovních křivek také vyplývá, že při maximální tloušťce stěny modelové kapaliny (při poměru $s_{MH} / s_{MD} = 1$ je tloušťka stěny rovna 3 mm) dosahujeme minimální přesnosti. Proto při měření sloužícímu k určení přesnosti použité měřicí metody volíme dávku modelové kapaliny V_{MK} odpovídající maximální tloušťce stěny.

3.6.2.1. Měření ve vertikální poloze osy rotace

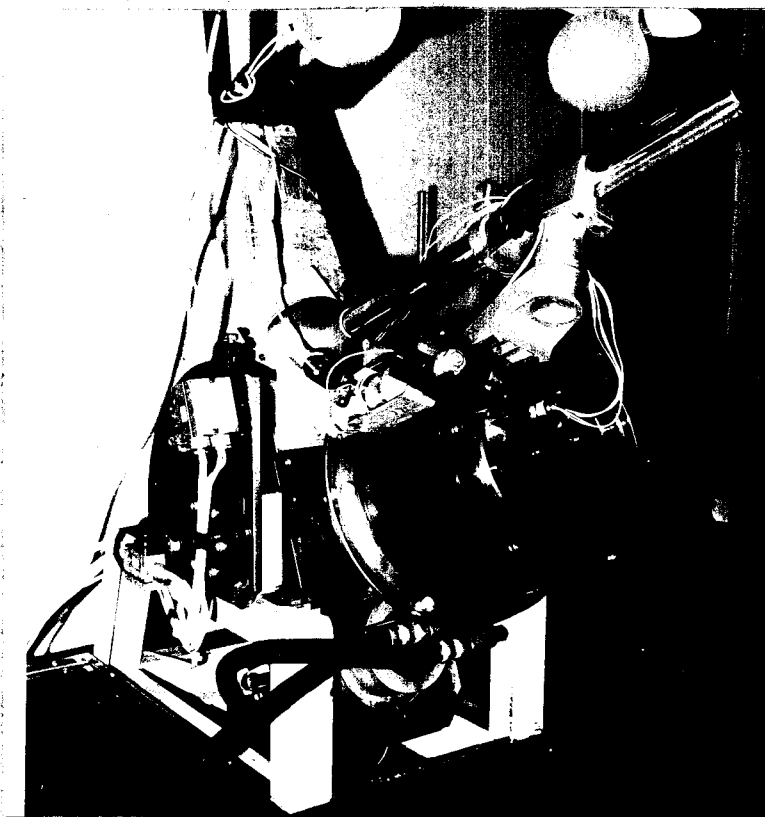
Při měření se postupuje podle předchozího pracovního postupu. Cejchování je provedeno pomocí kalibrační nádoby (přílohy P 3, P 4). Úhel sklonu osy rotace se po plnění nastaví na $\alpha = 0^\circ$ (obr. 15).

Naměřené hodnoty jsou uvedeny v tabulkách 1, 2.

Přesnost výsledku určujeme střední kvadratickou chybou obdobně jako v 4.2.3.



obr. 15



obr. 16

$V_{MK} = 256 \text{ ml}; \eta = 13 \text{ Pa}\cdot\text{s}; t=20^\circ\text{C}; \alpha = 0^\circ.$			
číslo měření	$s_{MH}/s_{MD} \text{ /mm/ pro } n_{MT} \text{ /min}^{-1}/$		
	900	950	1 000
1.	2,83/3,83	2,86/3,78	2,99/3,70
2.	2,84/3,80	2,87/3,78	2,98/3,71
3.	2,83/3,78	2,86/3,76	2,98/3,69
4.	2,84/3,80	2,88/3,77	2,97/3,71
5.	2,84/3,80	2,87/3,78	2,99/3,70

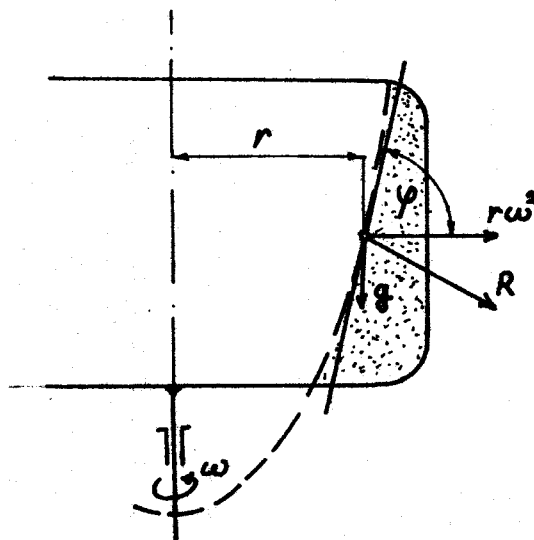
tabulka 1

Výsledky :

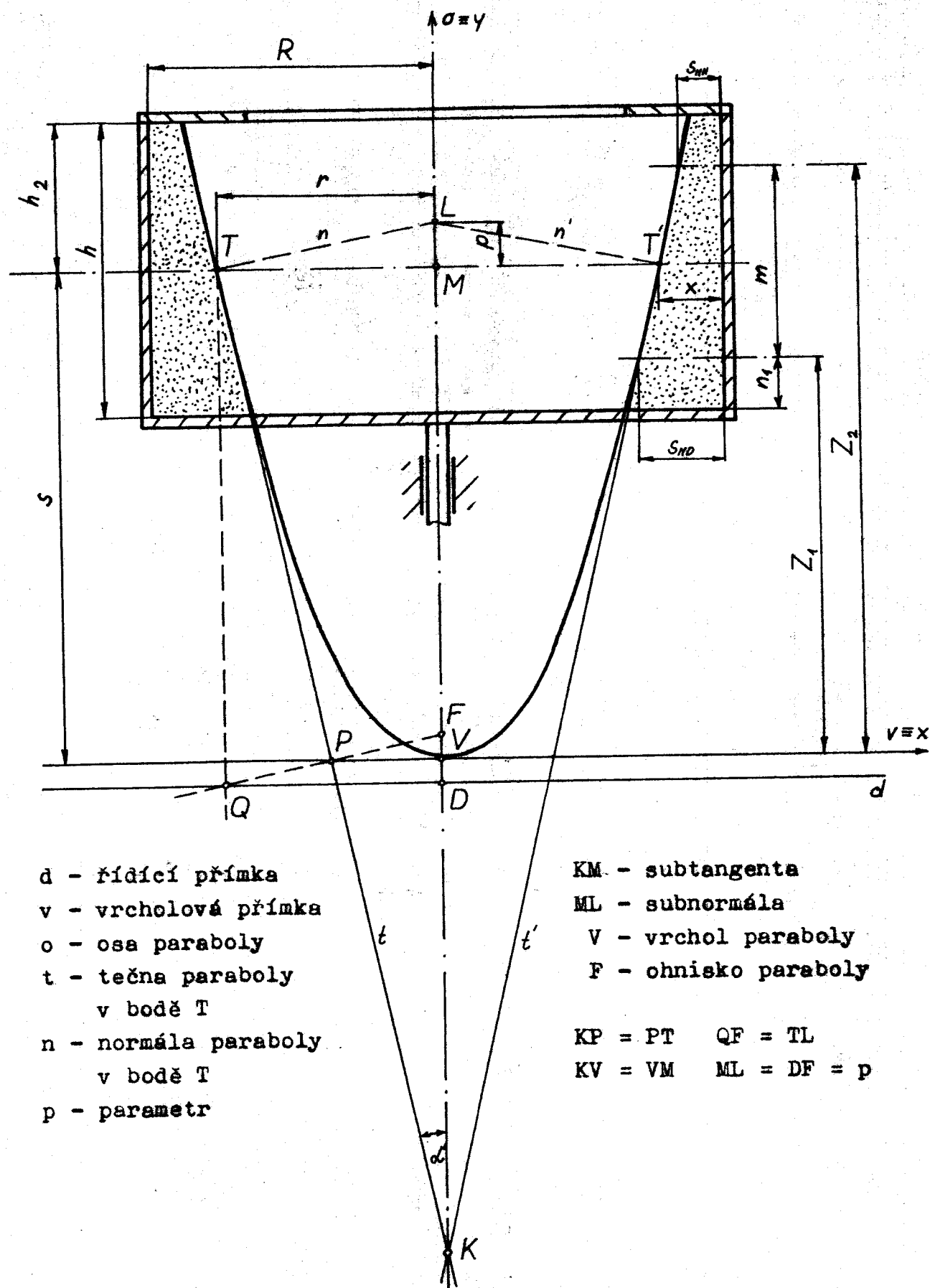
$\alpha = 0^\circ$	otáčky $n_{MT} \text{ /min}^{-1} /$		
tloušťka stěny/mm/	900	950	1 000
s_{MH}	$2,836 \pm 2,4 \cdot 10^{-3}$	$2,868 \pm 3,3 \cdot 10^{-3}$	$2,982 \pm 3,7 \cdot 10^{-3}$
s_{MD}	$3,802 \pm 8 \cdot 10^{-3}$	$3,774 \pm 4 \cdot 10^{-3}$	$3,702 \pm 3,7 \cdot 10^{-3}$

tabulka 2

Při matematickém výpočtu s_{MH} a s_{MD} vycházíme z obr.17, obr. 18 a ze vzorců (10) a (18).



obr. 17



obr. 18

přesné rozměry modelové formy :

$$D = 2R = 207,7 \text{ mm} \quad h = 131,3 \text{ mm}$$

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{r\omega^2}{g} \quad (18)$$

$$\alpha' = 90^\circ - \varphi ; \quad x = R - r$$

x - tloušťka stěny modelové kapaliny v bodě T

$$r = \sqrt{\frac{z}{5,55}} \quad \frac{1000}{n} = \sqrt{z} \quad \frac{424}{n}$$

$$x = 103,85 - \frac{424}{n} \sqrt{z} \quad (19)$$

$z \equiv s$ - vzdálenost bodu T od vrcholu paraboly

Jestliže předpokládáme, že průběh paraboly v rozmezí od z_1 do z_2 je totožný s tečnou t , můžeme uvažovat pro

$$z = z_1, \quad x = s_{MD}$$

$$z = z_2, \quad x = s_{MH}$$

z obr. 18

$$KM = \frac{r}{\operatorname{tg} \alpha'}, \quad s = \frac{KM}{2} = \frac{r}{2 \operatorname{tg} \alpha'}$$

kde

$$r \doteq TM ; \quad p = ML = r \operatorname{tg} \alpha' ; \quad s = MV$$

$$z_1 = s - \frac{h}{2} + n \quad (20)$$

$$z_2 = z + m \quad (21)$$

Po dosazení (20) a (21) do (19) dostaneme hodnoty

s_{MH} a s_{MD} . Výsledek však není dostatečně přesný, protože předpokládáme ideální stav při MTOL.

3.6.2.2. Měření v nakloněné poloze osy rotace

Měření bylo provedeno při úhlu sklonu osy rotace $\alpha = 30^\circ$ a $\alpha = 72^\circ$ (další sklopení je omezeno konstrukcí modelového zařízení) (obr. 16).

Při měření se postupuje obdobně jako v 3.6.2.1.

Naměřené hodnoty jsou uvedeny v tabulkách 3 - 6.

$V_{MK} = 256 \text{ ml}; \eta = 13 \text{ Pa}\cdot\text{s}; t = 20^\circ\text{C}; \alpha = 30^\circ$			
číslo měření	$s_{MH}/s_{MD} \text{ /mm/ pro } n_{MT}/\text{min}^{-1}/$		
	900	950	1 000
1.	2,87/3,73	2,98/3,71	2,98/3,68
2.	2,90/3,70	2,98/3,72	2,97/3,70
3.	2,88/3,71	2,98/3,71	2,98/3,67
4.	2,90/3,72	2,97/3,70	2,98/3,68
5.	2,90/3,72	2,98/3,70	2,98/3,70

tabulka 3

Výsledky :

$\alpha = 30^\circ$	otáčky $n_{MT} \text{ /min}^{-1}/$		
tloušťka stěny/mm/	900	950	1 000
s_{MH}	$2,89 \pm 6,3 \cdot 10^{-3}$	$2,978 \pm 4,2 \cdot 10^{-3}$	$2,978 \pm 2,9 \cdot 10^{-3}$
s_{MD}	$3,716 \pm 5,1 \cdot 10^{-3}$	$3,708 \pm 1,8 \cdot 10^{-3}$	$3,686 \pm 5,1 \cdot 10^{-3}$

tabulka 4

$V_{MK} = 256 \text{ ml}; \eta = 13 \text{ Pa} \cdot \text{s}; t = 20^\circ \text{C}; \alpha = 72^\circ$			
číslo měření	$s_{MH}/s_{MD} \text{ /mm/ pro } n_{MT}/\text{min}^{-1}/$		
	900	950	1 000
1	3,23/3,36	3,25/3,34	3,28/3,30
2	3,25/3,34	3,24/3,32	3,30/3,30
3	3,23/3,35	3,24/3,33	3,30/3,28
4	3,21/3,36	3,24/3,32	3,28/3,30
5	3,20/3,36	3,25/3,34	3,30/3,30

tabulka 5

Výsledky :

$\alpha = 72^\circ$	otáčky $n_{MT} / \text{min}^{-1} /$		
tloušťka stěny/mm/	900	950	1 000
s_{MH}	$3,244 \pm 8 \cdot 10^{-3}$	$3,244 \pm 2,4 \cdot 10^{-3}$	$3,292 \pm 3 \cdot 10^{-3}$
s_{MD}	$3,354 \pm 4 \cdot 10^{-3}$	$3,33 \pm 4 \cdot 10^{-3}$	$3,296 \pm 2,5 \cdot 10^{-3}$

tabulka 6

Při úhlu sklonu osy rotace $\alpha = 72^\circ$ a tvarovacích otáčkách $n_{MT} 1 000 \text{ min}^{-1}$ se mění hladina modelové kapaliny o tvaru rotačního paraboloidu v hladinu válcovou (rozdíly tloušťky stěny s_{MH} a s_{MD} jsou velmi nepatrné - viz. tab. 6). Za těchto podmínek můžeme naměřené hodnoty s_{MH} a s_{MD} srovnat s vypočtenou tloušťkou válcové stěny x .

Při výpočtu vycházíme ze vzorce pro objem válce

$$V = \frac{\pi \cdot h_v}{4} (D^2 - d^2) \quad (22)$$

V - objem válce

h_v - výška válce

D - vnější průměr válce

d - vnitřní průměr válce

$$d = \sqrt{D^2 - \frac{4V}{\pi \cdot h_v}} \quad ; \quad x = \frac{D - d}{2} \quad ;$$

$$x = \frac{1}{2} \left(D - \sqrt{D^2 - \frac{4V}{\pi \cdot h_v}} \right) \quad (23)$$

pro $V = V_{MK} = 256 \text{ ml}$

$D = 207,7 \text{ mm}$

$h_v = 131,3 \text{ mm}$

dostaneme : $x = 3,032 \text{ mm}$

3.6.3. Zhodnocení měření

Z charakteru použité měřicí metody a ze srovnání naměřených a vypočtených tloušťek pro válcovou stěnu modelové kapaliny při TOL vyplývají následující závěry:

1. Měřicí metoda je ve svém principu velmi jednoduchá.
2. Naměřené hodnoty jsou dostatečně přesné (maximální odchylka naměřeného rozměru tloušťky stěny od vypočteného rozměru je $+ 0,267 \text{ mm}$).
3. Měřicí metoda nám umožňuje spojitý záznam tvarovacího procesu.
4. Chyby vzniklé změnou intenzity světelného zdroje a průchozem světla materiálem formy jsou nepatrné.

4. Měření tloušťky vrstvy skloviny při odstředivém lití

Při výběru vhodné měřicí metody pro měření tloušťky vrstvy skloviny při TOL je nutné vycházet z následujících podmínek :

1. Teplota skloviny při dávkování, tedy i uvnitř formy, je 1 350 - 1 450 °C.
2. Forma pro odstředivé lití rotuje kolem své osy a hladina skloviny mění během TOL svůj tvar.
3. Forma je vyrobena z šedé litiny a tloušťka její stěny je maximálně 50 mm.
4. Měřicí zařízení nesmí omezovat vlastní pracovní proces TOL.
5. Účelem měření je nejen ověření výsledků tvarovacího procesu odstředivého lití, ale i možnost průběžného pozorování změny tloušťky vrstvy skloviny při TOL.

Z těchto podmínek vyplývá, že měření musí být prováděno bezdotykově. Vzhledem k fyzikálním vlastnostem skloviny a formy pro odstředivé lití a vzhledem k pracovním podmínkám můžeme z bezdotykových metod měření tloušťky, které jsou shrnuty v kapitole 2, vyloučit jako nevhodnou pro naše účely metodu pneumatickou, kapacitní, magnetickou a metodu založenou na měření stínu.

Ze zbývajících metod (jaderná, laserová) je pro naše účely dostupná a dostatečně přesná metoda bezdotykového měření tloušťky za použití jaderného záření.

4.1. Metody a přístroje k měření ionizujícího záření

Je velmi důležité, vzhledem ke specifickým podmínkám TOL skloviny, zvolit odpovídající vhodnou metodu a měřicí zařízení pro měření ionizujícího záření prošlého sklovinou a formou.

4.1.1. Detektory ionizujícího záření

Při různých způsobech využití radioaktivních izotopů je nutné měřit jaderné a neutronové záření. Detektory používané v dnešní době jsou v mnoha směrech dokonalé, nejsou však univerzální. Proto je třeba pro každý jednotlivý případ zvolit vhodný detektor a jeho způsob práce i odpovídající pomocné elektronické obvody.

Důležitou charakteristikou detektoru je jeho detekční účinnost pro daný druh záření, vyjádřená poměrem počtu zaregistrovaných částic nebo fotonů k celkovému počtu částic nebo fotonů, prošlých účinným objemem detektoru.

V experimentální jaderné fyzice je celá řada měřicích metod, založených na efektech vyvolaných přímo nebo nepřímo ionizujícím zářením. V technické praxi se především používá skupina detekčních metod, založených přímo na ionizačních účincích záření, a dále skupina metod scintilačních, využívajících luminiscenčních účinků ionizujícího záření.

Tam, kde se žádá trvalý záznam o rozložení radioaktivní látky nebo dávky záření a vysoké rozlišovací schopnosti, používá se fotografických metod. Tyto metody jsou založeny na tom, že ionizující záření působí na fotografickou emulzi v podstatě stejně jako fotony viditelného světla.

Po konzultacích s pracovníky Státního výzkumného ústavu materiálu v Běchovicích a provedení laboratorních zkoušek se ukázal jako nejvýhodnější detektor ionizujícího záření, při měření tloušťky vrstvy skloviny, scintilační počítač.

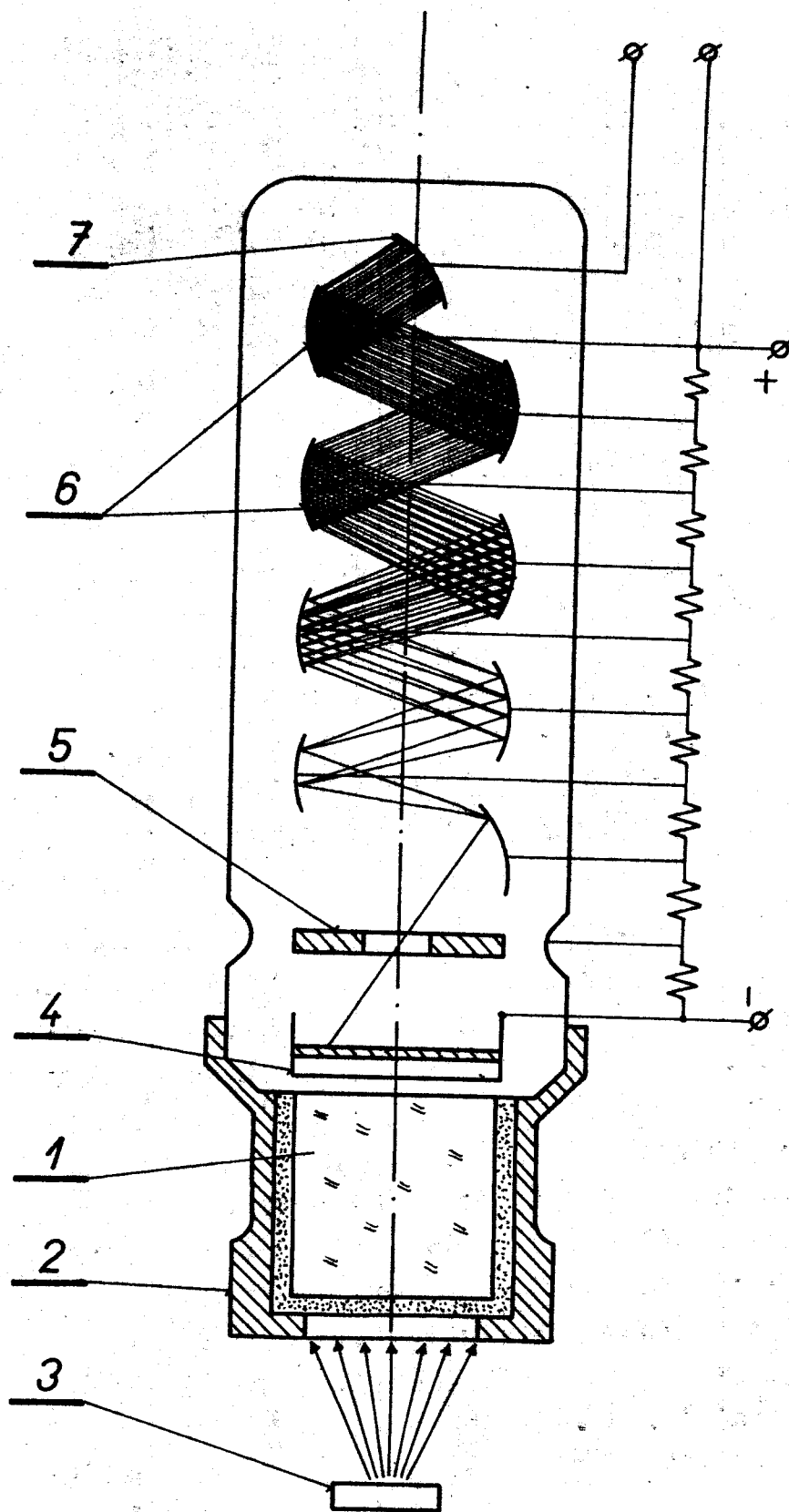
4.1.2. Scintilační počítače

Scintilační metoda patří k nejstarším způsobům detekce jaderného záření. Její podstata je v tom, že při průchodu ionizujícího záření luminiscenčními látkami - scintilátory - vznikají světelné záblesky. U klasického spinteriskopu byly světelné záblesky, vzniklé dopadem částic α na vrstvu ZnS, pozorovány primitivně pomocí lupy lidským okem.

Velké rozšíření scintilační metody nastává teprve po roce 1945, kdy se začalo k registraci světelných záblesků používat fotonásobičů.

Schématicky je scintilační počítač znázorněn na obr. 19. Skládá se ze scintilátoru - luminiscenční látky - a fotonásobiče. Při průchodu ionizující částice scintilátorem se část její energie spotřebuje na ionizaci, vzbuzení a disociaci molekul, část se mění na fluorescenční záření. Toto záření leží ve viditelné nebo ultrafialové oblasti spektra a má pro každou luminiscenční látku charakteristické spektrum.

Světelné fotony dopadají na fotokatodu fotonásobiče a uvolňují z ní elektrony, které působením elektrostatických polí postupně dopadají na řadu dynod. Následkem sekundární emise se na každé dynodě počet elektronů zvětšuje až šestinásobně. Celkový koeficient zesílení fotonásobiče je proto závislý na koeficientu sekundární emise a na počtu dynod. Protože ve fotonásobiči je vakuum, je doba průletu elektronů podstatně kratší než u ionizačních detektorů naplněných plynem. Kromě toho mají scintilační detektory tu přednost, že při vhodném uspořádání je intenzita scintilačních záblesků a velikost elektrických impulsů na výstupu fotonásobiče velmi přibližně úměrná energii detekovaných částic. Scintilační detektory mohou být proto použity ve spektrometru,



1 - scintilátor; 2 - reflektční vrstva (MgO); 3 - zářič; 4 - fotokatoda;
5 - fokusační elektroda; 6 - dynody; 7 - anoda

obr. 19

Vhodným výběrem scintilátoru je tak možné dosáhnout pro určitý druh záření vysoké rozlišovací schopnosti a optimální detekční účinnosti. Scintilátory mohou být plynné, kapalně nebo tuhé.

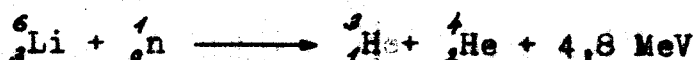
Nedostatkem scintilačních počítačů je závislost zesílení fotonásobiče na napájecím napětí, únava fotonásobiče a šum, který se obzvlášť rušivě uplatňuje při měření s malou energií.

4.1.2.1. Scintilátory

Scintilátory dělíme na organické a anorganické. Organické scintilátory se liší od anorganických podstatně kratší dobou dosvitu. V některých scintilátorech probíhají současně dva druhy luminiscence: fluorescence a fosforescence. Při fluorescenci je přechod ze vzbuzeného stavu na původní velmi krátký. U anorganických krystalů je fluorescence doprovázena fosforescencí, a proto doba, za kterou se scintilátor dostane do původního stavu, je mnohem delší. Ve fotonásobiči vznikají tak vedle impulsů způsobených fluorescencí ještě sekundární impulsy vyvolané fosforescencí, které jsou od prvních špatně rozlišitelné. Doba dosvitu, jež závisí na druhu scintilátoru, určuje mrtvou dobu scintilačního detektoru.

Scintilátor je třeba volit podle druhu detekovaných částic, podle potřebné rozlišovací doby a s přihlédnutím k vlastnostem použitého fotonásobiče, který má být zvolen tak, aby maximum emisního spektra scintilátoru leželo v maximu spektrální citlivosti fotonásobiče. V [8] jsou uvedeny hlavní charakteristiky nejpoužívanějších anorganických scintilátorů.

Z anorganických krystalů se k detekci záření gama používá nejčastěji NaJ(Tl). Má vysokou konverzní účinnost pro elektrony, velkou hustotu a vysokou detekční účinnost pro záření gama. Tato účinnost je pro krystal běžných rozměrů pro 100 KeV 70 %, pro 1 MeV 40 %. Z ostatních anorganických krystalů se nejčastěji používá ZnS (Ag) s přísávkem kyseliny borité nebo jodid lithný. Za přítomnosti neutronů v něm nastává reakce



V /8/ jsou také uvedeny hlavní charakteristiky organických scintilátorů - krystalických, plastických nebo kapalných. Účinnost je přibližně 50 % konverzní účinnosti NaJ (Tl), je však největší mezi organickými scintilátory. Proto byla účinnost antracénu vzata za 100 %.

Organické krystaly jsou vhodné zejména k detekci částic beta, protože mají menší atomové číslo a zpětný rozptyl. se v nich uplatňuje v menší míře. Proti anorganickým krystalům mají kratší dobu dosvitu, a proto se hodí k měření vysokých četností impulsů.

K měření malých aktivit, zejména nízkoenergetických zářičů beta (${}^3\text{H}$, ${}^{14}\text{C}$, ${}^{35}\text{S}$, ${}^{45}\text{Ca}$), slouží kapalně scintilátory, ve kterých se rozpouští i měřený vzorek, čímž se zvyšuje účinnost měření. Kapalně scintilátory jsou roztoky organických scintilačních látek nejčastěji v aromatických rozpouštědlech (v toluenu, xylenu). Nejsou-li vzorky rozpustné v toluenu, přidávají se k rozpouštědlům alkoholy (např. etanol) nebo se místo toluenu používá deoxan.

Při proměřování nerozpustných vzorků nízkoenergetických zářičů se používá také scintilačních gelů, které zamezují sedimentaci radioaktivních vzorků i během dlouhodobých měření.

Plastické scintilátory jsou roztoky organických scintilačních látek v polymerech. Mají menší konverzní účinnost než organické krystaly a rychlé zhasínání. Jsou vhodné pro detekci částic beta. Pro záření gama a rentgenové mají nízkou detekční účinnost.

4.1.2.2. Fotonásobiče

Fotonásobiče převádějí scintilační záblesky, vznikající ve scintilátoru, na proudový impuls. Fotonásobič je tvořen poloprůhlednou fotokatodou, citlivou na světlo, a systémem dynod. Při dopadu světelných záblesků se z fotokatody uvolňují elektrony, které se elektrickým polem usměrňují na dynody. Vlastnosti fotokatody jsou charakterizovány její citlivostí, které se udává v mA/lm, a polohou maxima spektrální citlivosti.

Z fotokatody se uvolňují elektrony také působením tepla. Tyto elektrony vyvolávají na výstupu impulsy, jež se označují jako šumové. Na výstupu je tento proud měřitelný a označuje se jako temný proud.

V poslední době se nejčastěji používají fotokatody Sb - Na - K - Cs, jež mají kromě toho při pokojové teplotě malou termoe emisi a vyhovující poměr signálu k šumu. Dobré vlastnosti mají fotokatody Sb - K - Na, jejichž spektrální citlivost se blíží fotokatodám Sb - Cs; neobsahují však Cs, které vlivem vysoké tenze par zhoršuje izolaci elektrod.

Dynody fotonásobiče jsou pokryty vrstvou látky s vysokým koeficientu sekundární emise δ . Tento koeficient je dán poměrem počtu sekundárně uvolněných elektronů k počtu elektronů dopadlých na dynodu a je funkcí energie elektronů. V čistých kovech bývá tento koeficient malý, 0,8 až 1,5, u slitin je až 6. Optimální vlastností dynod se dosahuje aktivací.

Nyní jsou nejrozšířenější vrstvy dynod typu Sb - Cs, jež mají vysoký koeficient sekundární emise. Často se dává přednost aktivovaným slitinám, např. Ag - Mg nebo Cu - Be, které sice mají nižší koeficient sekundární emise, mají však malý fotoefekt a malou termoelektrickou emisi a velkou stabilitu.

Celkové zesílení fotonásobiče je dáno počtem dynod a koeficientem sekundární emise. Je-li koeficient sekundární emise δ a počet dynod n , pak celkové zesílení ve fotonásobiči bude $\mu = \delta^n$.

Koeficient zesílení fotonásobičů je mezi 10^4 až 10^6 . Maximální počet dynod je omezen, protože s jejich vzrůstajícím počtem se zhoršuje poměr signálu k šumu. Koeficient zesílení fotonásobiče závisí na napětí, a proto je nutné, aby napájecí zdroje měly velkou stabilitu. Jednotlivé dynody se napájejí z odporového děliče.

Ve scintilačních sondách musí být scintilátor v optickém kontaktu s fotokatodou fotonásobiče, aby se zabránilo ztrátám světla. Z konstrukčních důvodů je někdy nutné opticky spojit fotokatodu násobiče se scintilačním krystalem pomocí světlovodičů, zhotovených z křemene, plexi-skla, polystyrénu apod. Scintilační krystal je k omezení světelných ztrát obklopen reflektivním povlakem z MgO nebo z hliníkové leštěné folie.

Pozadí u scintilačních detektorů je mnohem vyšší než u Geigerových - Müllerových počítaců a je způsobeno kosmickým zářením, termoemisí a šumem fotonásobiče. Tento šum se obvykle odstraňuje diskriminací impulzů. Pozadí se snižuje tím, že se scintilační detektor umísťuje do olověných stínících krytů. Termoemise se při měření nízkenergetického záření snižuje chlazením fotokatody.

4.1.3. Elektronické přístroje

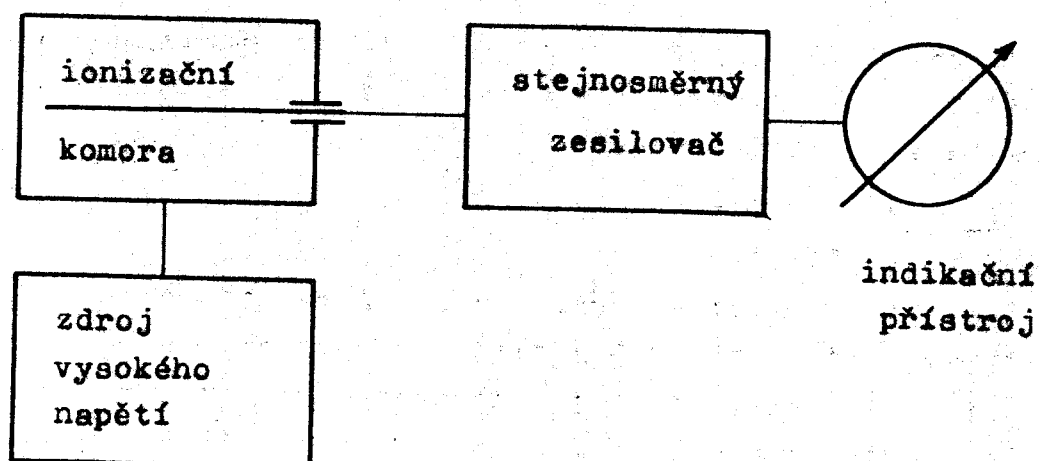
Způsob zpracování signálu se volí podle intenzity měřeného záření nebo aktivity preparátu s přihlédnutím k době měření nebo k rychlosti odezvy měřicího zařízení.

Je-li intenzita záření vysoká, použijeme obvykle jako detektoru ionizační komoru. Skupiny iontů vzniklých ionizací plynne náplně zde splývají, takže jednotlivé impulsy se nerozlišují a komora dává prakticky stejnosměrný proud, jehož velikost je úměrná střední intenzitě záření dopadajícího na komoru. Signál se dále zesiluje pomocí stejnosměrných zesilovačů. Schématicky je tento způsob znázorněn na obr. 20.

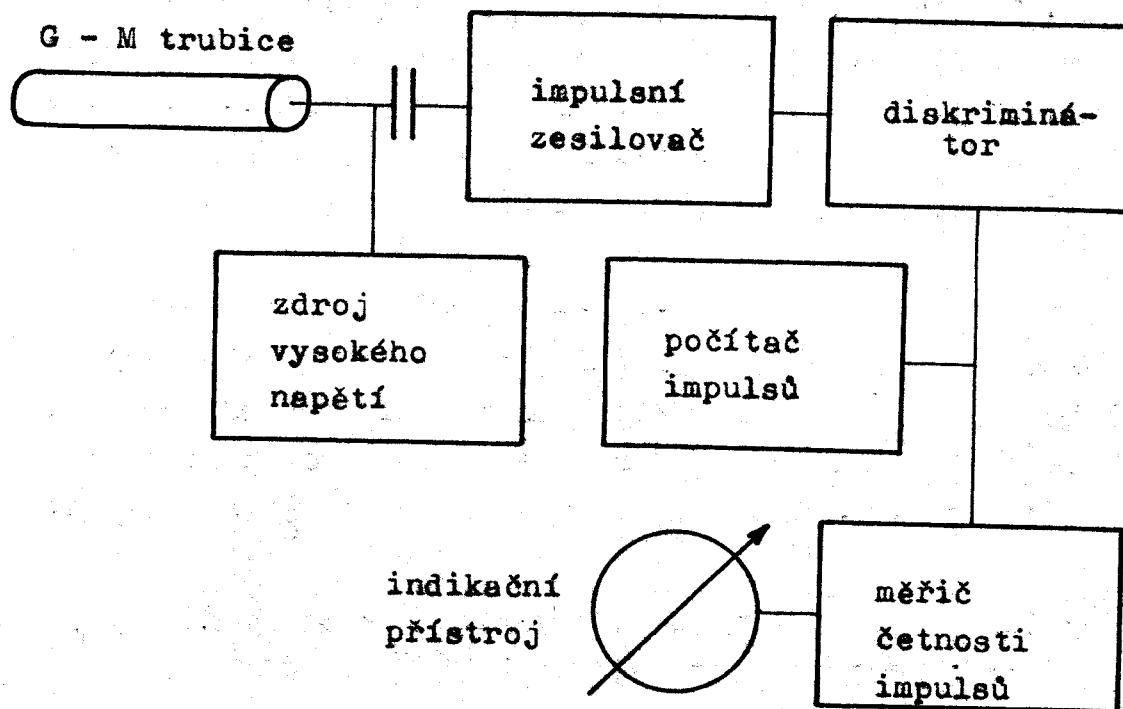
K měření menších intenzit nebo k vyhodnocování aktivity preparátů při použití radioaktivních izotopů jako indikátorů, je možné použít proporcionálních, Geigerových-Müllerových nebo scintilačních počítaců. Z těchto detektorů dostáváme obvykle signály v podobě napěťových impulsů. Protože již v těchto detektorech nastává zesílení (plynové zesílení nebo zesílení sekundární emise), převyšují napěťové impulsy z detektoru dostatečnou měrou šum elektronického zesilovače, takže mohou být bez obtíží zesilovány.

Intenzita záření se vyhodnocuje z počtu impulsů zaregistrovaných počítačem impulsů za určitou dobu. V některých aplikacích, kdy je nutné znát bezprostředně údaj o intenzitě záření, přivádějí se impulsy na měřič četnosti impulsů, na jehož výstupu je signál úměrný intenzitě záření.

Blokové schéma zařízení na měření aktivity zářičů nebo měření intenzity záření je znázorněno na obr. 21.



obr. 20



obr. 21

4.2. Ověřovací měření

K posouzení vhodnosti použití jaderného záření pro měření tloušťky stěny skloviny při odstředivém lití bylo nutné provést laboratorní měření. Měření bylo provedeno ve SVÚM v Běchovicích.

4.2.1. Experimentální měřicí zařízení

Celkové schéma zařízení je na obr. 22. Zářič (1) je centrálně uložen na dně komory (2), která je vyrobena ze slitiny olova a antimonu. Na přemístitelné podložce (6) je umístěn ocelový vzorek (4), který nám představuje při měření stěnu formy pro odstředivé lití. Na tento vzorek se postupně ukládají jednotlivé skleněné destičky (5) o tloušťce 5 - 20 mm. Tyto destičky nám nahrazují vrstvu roztavené skloviny. Ze zářiče přechází jaderné záření přes vzorky do scintilační sondy s krystalem NaJ(Tl) (3). Scintilační sonda je napájena zdrojem vysokého napětí (1 200 V). Z fotonásobiče scintilační sondy se převádí proudový impuls na čítač impulsů (Friesseke - Hoepfner).

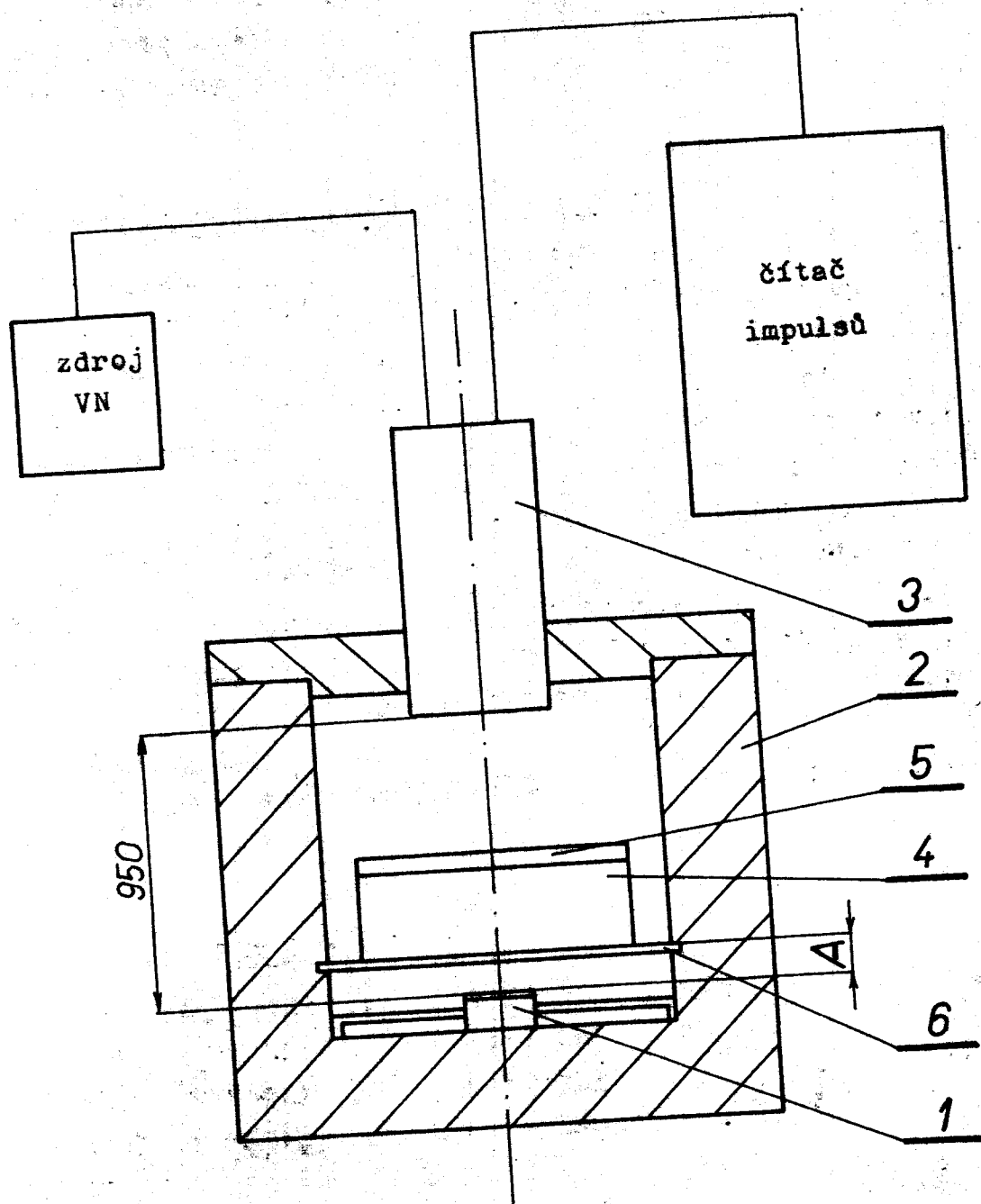
Jako nejvhodnější zářiče byly pro naše účely vybrány ^{241}Am a ^{244}Pm .

4.2.2. Měřené vzorky

Aby mohlo být provedeno předběžné laboratorní měření, bylo nutné nahradit vrstvu roztavené skloviny (teplota 1 350 - 1 450 °C) tuhými skleněnými destičkami. Bylo použito dostupných skleněných destiček z bižuterní skloviny C1 (71 % SiO_2 · 6 % Na_2O · 12 % K_2O · 2 % CaO · 1 % MgO ;

= 2,51 g·cm⁻³) o rozměrech 62 x 62 mm x tloušťka 5, 10, 15, 20 mm.

Stěnu lící formy nám v laboratorních podmínkách představuje ocelový vzorek o rozměrech 20 x 50 x 50 mm.



obr. 22

4.2.3. Určení chyby měření

Při opakovaném měření aktivity ve stejných časových intervalech se přesnost výsledků určuje střední kvadratickou chybou ξ' aritmetického průměru z naměřených hodnot počtu impulsů a vypočte se ze vzorce

$$\xi' = \pm \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^n \frac{(N - N_i)^2}{n \cdot (n-1)}}}{t} = \pm \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\bar{I} - I_i)^2}{n \cdot (n-1)}} \quad (24)$$

n - počet provedených měření

t - doba každého jednotlivého měření

$\bar{N}$ - aritmetický průměr počtu imp. z n měření

N_i - příslušné hodnoty $N_1, N_2, N_3, \dots, N_n$

$\bar{I}$ - aritmetický průměr počtu imp. za 1 min. z n měření

I_i - příslušné hodnoty $I_1, I_2, I_3, \dots, I_n$

$$\bar{I} = \frac{I_1 + I_2 + I_3 + \dots + I_n}{n}$$

$\sum_{i=1}^n (\bar{I} - I_i)^2$ je rovno součtu $(\bar{I} - I_1)^2 + (\bar{I} - I_2)^2 + \dots + (\bar{I} - I_n)^2$

4.2.4. Měření na experimentálním měřicím zařízení

Hlavním úkolem je sestavit cejchovní křivku pro měření tloušťky stěny skloviny od 5 do 20 mm. Celé měření bylo nutné rozdělit na několik samostatných částí.

1. Měření pozadí - slouží nám k určení aktivity prostředí a měří se bez zářiče. Měření je zaznamenáno v tabulce 7.

číslo měření	četnost impulsů /min ⁻¹ /	
	otevřená komora	zavřená komora
1	1 009	680
2	997	735
3	1 005	722
4	996	725
5	974	723

tabulka 7

výsledné četnosti :

otevřená komora : $996,2 \pm 0,001 \text{ min}^{-1}$

zavřená komora : $717,0 \pm 9,534 \text{ min}^{-1}$

2. Měření vzorků - slouží k sestrojení cejchovní křivky. K posouzení vlivu odraženého záření bylo měření provedeno se vzorky uloženými ve dvou polohách A. Při měření bylo použito zářiče ²⁴¹Am a ²⁴⁷Pm. Naměřené četnosti a výsledky měření jsou zaznamenány v tabulkách 8 - 10 .

Zářič ²⁴¹ Am ; vzdálenost A = 4 mm; četnost imp./min ⁻¹ /					
číslo měření	ocelový vzorek tl=20mm	ocelový vzorek + sklen.destičky			
		+5mm	+10mm	+15mm	+20mm
1	6 478	5 649	5 059	4 669	4 034
2	6 328	5 673	5 278	4 487	3 809
3	6 399	5 916	5 072	4 658	3 853
4	6 347	5 827	5 142	4 622	4 007
5	6 413	5 906	5 146	4 577	4 045
výsl.	6 393,0	5 794,2	5 139,4	4 602,6	3 949,6
četnost	$\pm 26,46$	$\pm 56,65$	$\pm 38,9$	$\pm 33,07$	$\pm 49,3$

tabulka 8

Zářič ²⁴¹ Am; vzdálenost A=28 mm; četnost imp./0,1 min ⁻¹ /					
číslo měření	ocelový vzorek	ocelový vzorek+skleněné destičky			
	tl=20mm	+5mm	+10mm	+15mm	+20mm
1	14 902	12 221	9 415	6 912	4 969
2	14 733	12 295	9 432	7 115	5 090
3	14 798	12 354	9 379	7 141	5 038
4	14 871	12 235	9 485	7 242	5 118
5	14 816	12 356	9 450	7 112	5 135
výsl.	14,824,0	12 292,2	9 432,2	7 104,4	5 070,0
četn.	±28,84	±17,65	±17,65	±32,97	±30,13

tabulka 9

Zářič ²⁴¹ Pm; vzdálenost A=28mm; počet imp./0,1 min ⁻¹ /					
číslo měření	ocelový vzorek	ocelový vzorek+skleněné destičky			
	tl=20mm	+5mm	+10mm	+15mm	+20mm
1	7 427	6 445	5 441	4 208	3 724
2	7 488	6 446	5 409	4 579	3 621
3	7 446	6 295	5 510	4 413	3 689
4	7 244	6 467	5 363	4 439	3 738
5	7 485	6 360	5 453	4 468	3 622
výsl.	7 418,0	6 402,6	5 435,2	4 421,4	3 690,8
četn.	±45,0	±30,79	±18,21	±60,39	±33,31

tabulka 10

Grafické zpracování výsledných četností (cejchovní křivky) obsahují přílohy P 6 - P 8 .

4.2.5. Konstrukční uspořádání měřicího přístroje na odstředivém liciím stroji

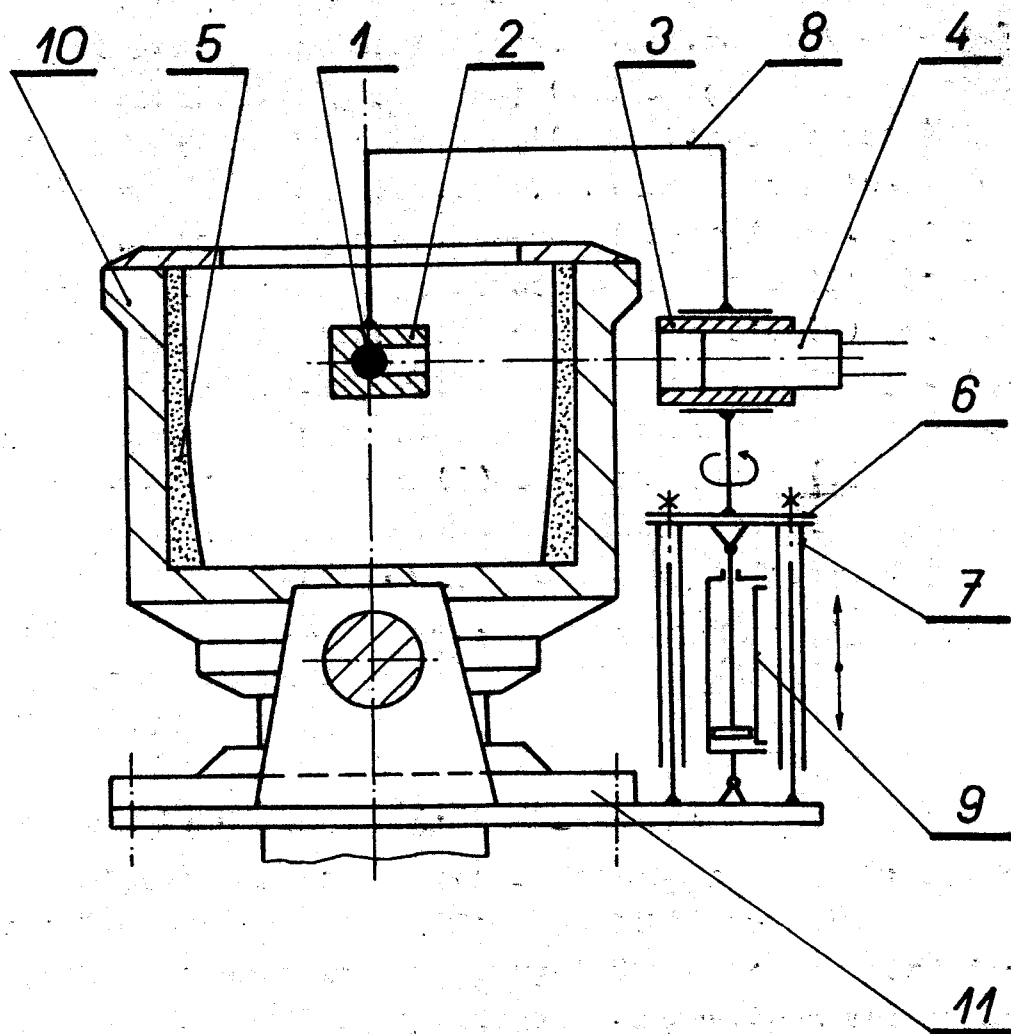
Schéma konstrukčního uspořádání je na obr. 23. Vodou ochlazené pouzdro zářiče (2) se zářičem ^{241}Am (^{241}Pm) (1) je uchyceno na konci nosného ramena (8). Jaderné záření prochází stěnou tvarované skloviny (5), stěnou odstředivé licií formy (10) a dopadá na scintilační sondu (4) s krystalem NaI(Tl) , která je umístěna v olověném stínícím krytu (3). Stínění je nutné z důvodu vyloučení kosmického a odraženého záření. Scintilační sondu a stínící kryt je rovněž nutné ochladit. Nosné rameno je připevněno na otočnou desku stolu (6), což umožňuje při vyjímání vytvarovaného výrobku z formy umístit zářič mimo ní. Vertikální pohyb měřicího přístroje zajišťuje hydraulický válec (9) a vedení stolu (7). Celá nosná konstrukce měřicího přístroje je připevněna k základové desce (11) odstředivé licií formy. Zapojení měřicího zařízení je shodné s obr. 22. Při vlastním měření je nutné dodržovat bezpečnost práce podle ČSN 34 1730.

4.2.6. Zhodnocení ověřovacího měření

Hlavním úkolem tohoto měření bylo posoudit možnost měření tloušťky stěny skloviny při TOL v rozmezí 5 - 20mm pomocí jaderného záření. Z výsledků měření, které jsou zachyceny v P 6 - P 8, je zřejmé, že navržená měřicí metoda nám umožní měření tloušťky stěny skloviny v požadovaném rozsahu s dostatečnou přesností.

Rovněž bylo provedeno pomocí jaderného záření měření tloušťky stěny modelové kapaliny. Pro svou malou měrnou hmotnost a nepatrnou tloušťku stěny (max. 4 mm) však nebyl mezi četnostmi impulsů, odpovídajícími nulové a maximální tloušťce stěny modelové kapaliny, zaznamenán žádný rozdíl. Byl použit zářič ^{241}Am a ^{241}Pm .

Při vlastním měření je nutné dodržovat vyhlášku Ministerstva zdravotnictví ČSR č. 59 a ČSN 34 1730.



obr. 23

5. Ekonomické zhodnocení

Ekonomický přínos modelového zařízení pro TOL spočívá v tom, že nám toto zařízení umožňuje optimalizaci této technologie, přispívá k jejímu teoretickému definování a bude podkladem pro stavbu a zdokonalování připravovaného výrobního zařízení.

Měření tloušťky stěny modelové kapaliny při MTOL na modelovém zařízení slouží k určování některých optimalizačních parametrů pro vlastní odstředivý licí stroj. Náklady vynaložené na provedení jednotlivých měření na modelovém zařízení jsou mnohonásobně menší než při provádění těchto měření na odstředivém licím stroji.

Význam měření tloušťky stěny při odstředivém lití velkých skleněných válců a ostatních výrobků rotačních výrobků na odstředivém licím stroji je v tom, že pomocí měřicího zařízení můžeme sledovat průběh tvarování skloviny a po získání potřebných informací korigovat jednotlivé faktory mající vliv na tento proces nebo kontrolovat tloušťku stěny výrobku v jeho určitém místě na konci tvarovacího procesu, čímž předejdeme opakované výrobě nevyhovujících výrobků během proměřování vytvarovaného skleněného dílu po jeho vyjmutí z licí formy a vychlazení.

Aplikace metody měření tloušťky stěny pomocí jaderného záření se neomezuje pouze na měření tloušťky stěny skleněných válců při jejich výrobě na odstředivém licím stroji. Ve sklářském průmyslu může být tato bezdotyková měřicí metoda rovněž použita při kontrole rozměrů různých výrobků ze skla nebo též v procesu automatické regulace (např. tažení skleněných trub).

Z á v ě r

Úkolem předložené diplomové práce bylo navrhnout měřicí metodu pro měření tloušťky stěny při tvarování skleněných válců odstředivým litím a na principu této metody pracující měřicí přístroj. Snahou bylo najít bezdotykovou měřicí metodu, která by umožňovala jak měření tloušťky stěny modelové kapaliny, tak měření tloušťky stěny skloviny.

Protože se takovouto metodu nepodařilo nalézt, byly pro jednotlivé specifické podmínky TOL vybrány dvě rozdílné měřicí metody.

Pro měření tloušťky stěny modelové kapaliny při MTOL byla navržena a ožkoušena absorpční metoda. Pro měření tloušťky stěny skloviny byla zvolena jaderná metoda.

Absorpční metoda je založena na absorpci světla modelovou kapalinou. Z principu této metody vychází konstrukce měřicího přístroje. Výsledky měření jsou dostatečně přesné a umožňují nám spojitý záznam tvarovacího procesu.

Jaderná metoda využívá vlastnosti skloviny, kterou je částečná absorpce radioaktivního záření. Předběžná laboratorní měření nám ukazují, že použití této metody pro měření tloušťky stěny při odstředivém lití je reálné.

Praktické využití bezdotykových měřicích metod pro měření tloušťky stěny modelové kapaliny při MTOL a tloušťky stěny skloviny při TOL přispěje k dalšímu prohloubení teoretických základů progresivní technologie tvarování velkých skleněných nádob.

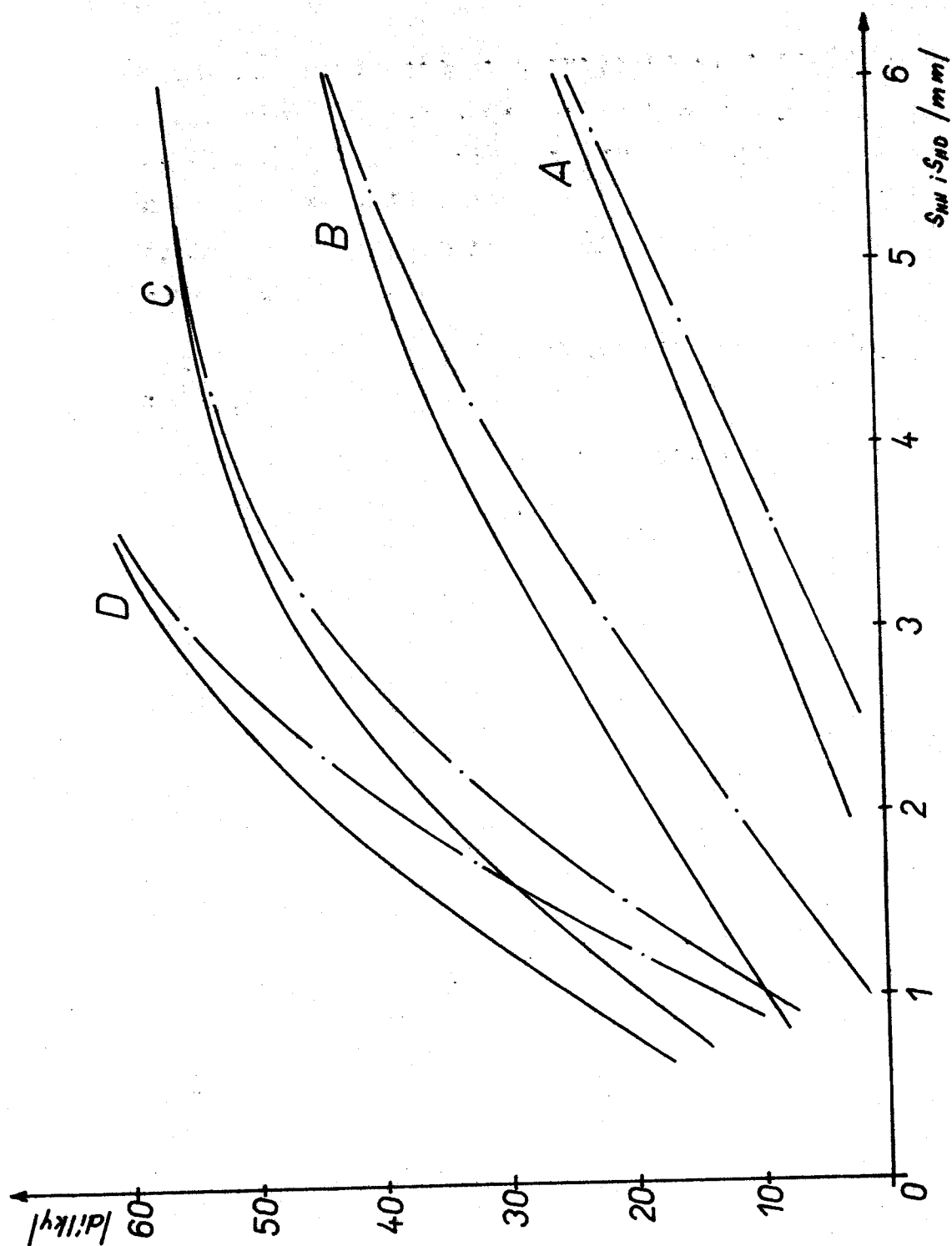
Seznam literatury

- /1/ Nosek, J.: K problematice odstředivé lití,
KSK - VŠST Liberec, 1976
- /2/ Belda, J. : MTOL, technická zpráva, KSK - VŠST
Liberec, 1975
- /3/ Belda, J. : MTOL, závěrečná zpráva, KSK - VŠST
Liberec, 1977
- /4/ Hinze, H.; Schwabe, F. : Zur berührungslosen, konti-
nuierlichen Messung der Dicke von beweg-
tem, strangförmigem Messgut im Produktions-
prozess, Feingerätetechnik 21 (1972) 1, S.11-16
- /5/ Kieper, K. : ~~Banddickenmessgeräte~~ Banddickenmessgeräte für Walzerzeugnisse,
messen steuern regeln 4 (1961) 10, S.435-440
- /6/ Heinze, J. : Erprobung eines kapazitiven Dickenmessge-
rätes, Feingerätetechnik 16 (1967) 12,
S. 551-555
- /7/ Koedam, M.; Stap, M. : Ein Verfahren zur kontinuierli-
chen Messung von Abweichungen des Draht-
durchmessers mit Hilfe eines He-Ne-Lasers,
Draht-Welt 54 (1968) 10, S. 661-662
- /8/ Jirkovský, R. a kol. : Využití radioizotopů v hutnictví
a hornictví, SNTL, Praha, 1967
- /9/ Karjakin, N.I. a kol. : Přehled fyziky, SNTL, Praha, 1970
- /10/ Friš, S.F.; Timoreva, A.V. : Kurs fyziky III., Naklada-
telství Československé akademie věd, Praha,
1954
- /11/ Fuka, J.; Havelka, B. : Optika a atomová fyzika: Optika,
Státní pedagogické nakladatelství, Praha, 1961

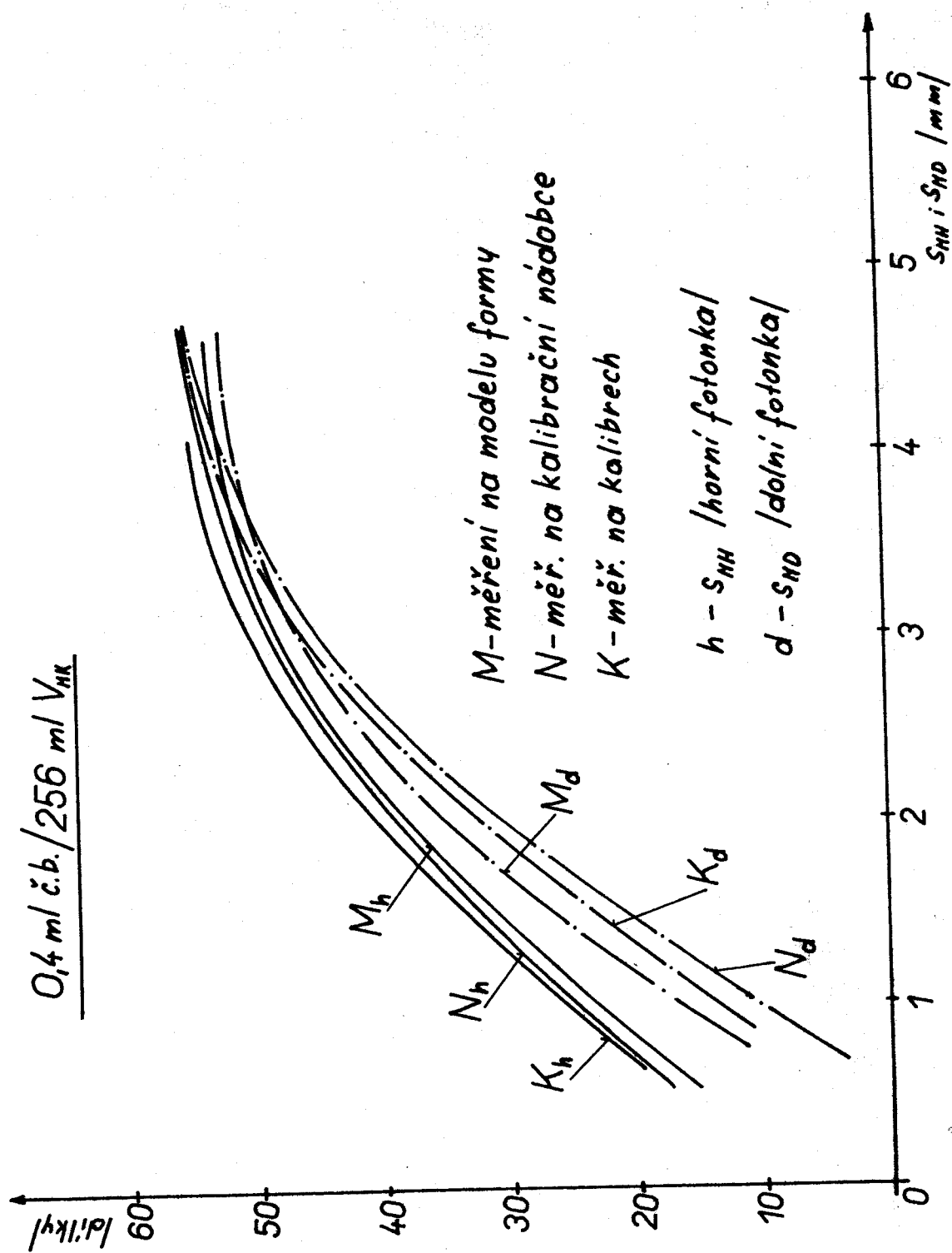
Seznam příloh

- P 1 Volba množství černého barviva (emulze sazí)
- P 2 Srovnání cejchovních křivek získaných při cejchování pomocí modelu formy, kalibrační nádoby a kalibrů
- P 3 Tabulka cejchovních hodnot a cejchovní křivka pro s_{MH}
- P 4 Tabulka cejchovních hodnot a cejchovní křivka pro s_{MD}
- P 5 Ukázka záznamu měření na modelovém zařízení
- P 6 - P 8 Cejchovní křivky pro měření tloušťky skloviny jaderným zářením

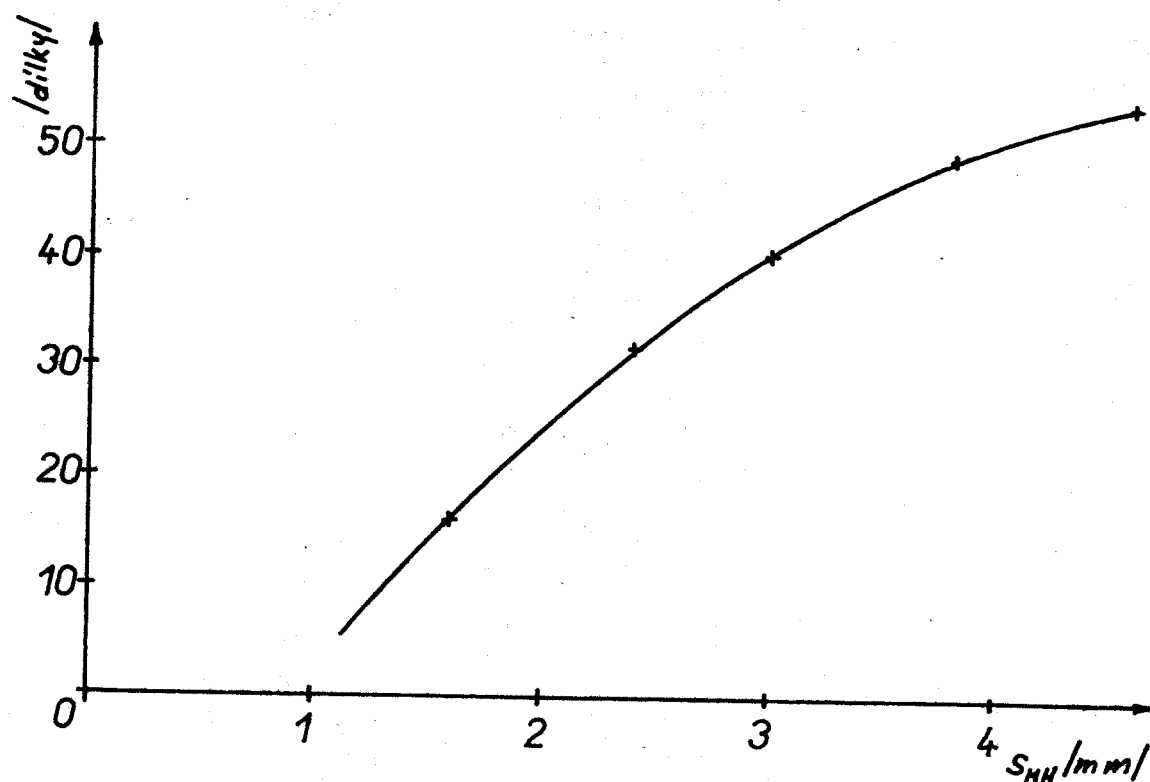
P 1



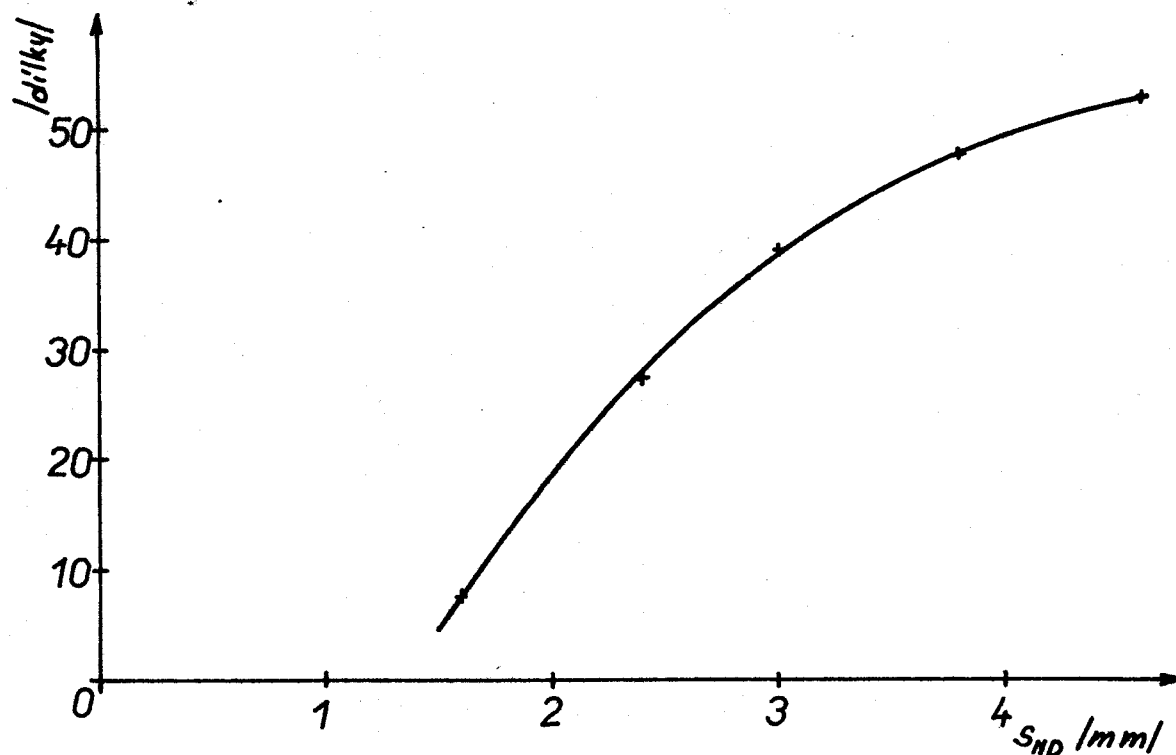
A-0,1 ml č.b. ; B-0,2 ml č.b. ; C-0,4 ml č.b. ;
D-0,5 ml č.b. ; — S_{HH} i — S_{HD} i



$V_{MK} = 256 \text{ ml} + 4 \text{ ml č.b.}; \eta = 13 \text{ Pa}\cdot\text{s}; t = 20^\circ\text{C}$					
číslo měření	s_{MH} - v dílcích na záznamu odpovídající tloušťce stěny /mm/				
	1,6	2,4	3,0	3,8	4,6
1	14,0	35,0	41,0	49,0	54,0
2	18,5	30,5	41,2	49,5	54,5
3	11,5	31,8	39,8	49,8	54,8
4	11,0	32,0	39,8	49,0	55,0
5	11,5	31,8	40,0	49,0	55,0
6	11,8	31,8	40,5	49,5	55,3
7	12,0	31,6	41,0	49,5	55,1
8	12,2	31,6	40,5	49,8	55,0
9	12,2	31,5	40,2	49,8	54,5
10	13,0	32,5	40,0	49,8	54,8
výsledek	12,77 $\pm 0,5$	32,01 $\pm 0,3$	40,4 $\pm 0,2$	49,47 $\pm 0,1$	54,8 $\pm 0,1$



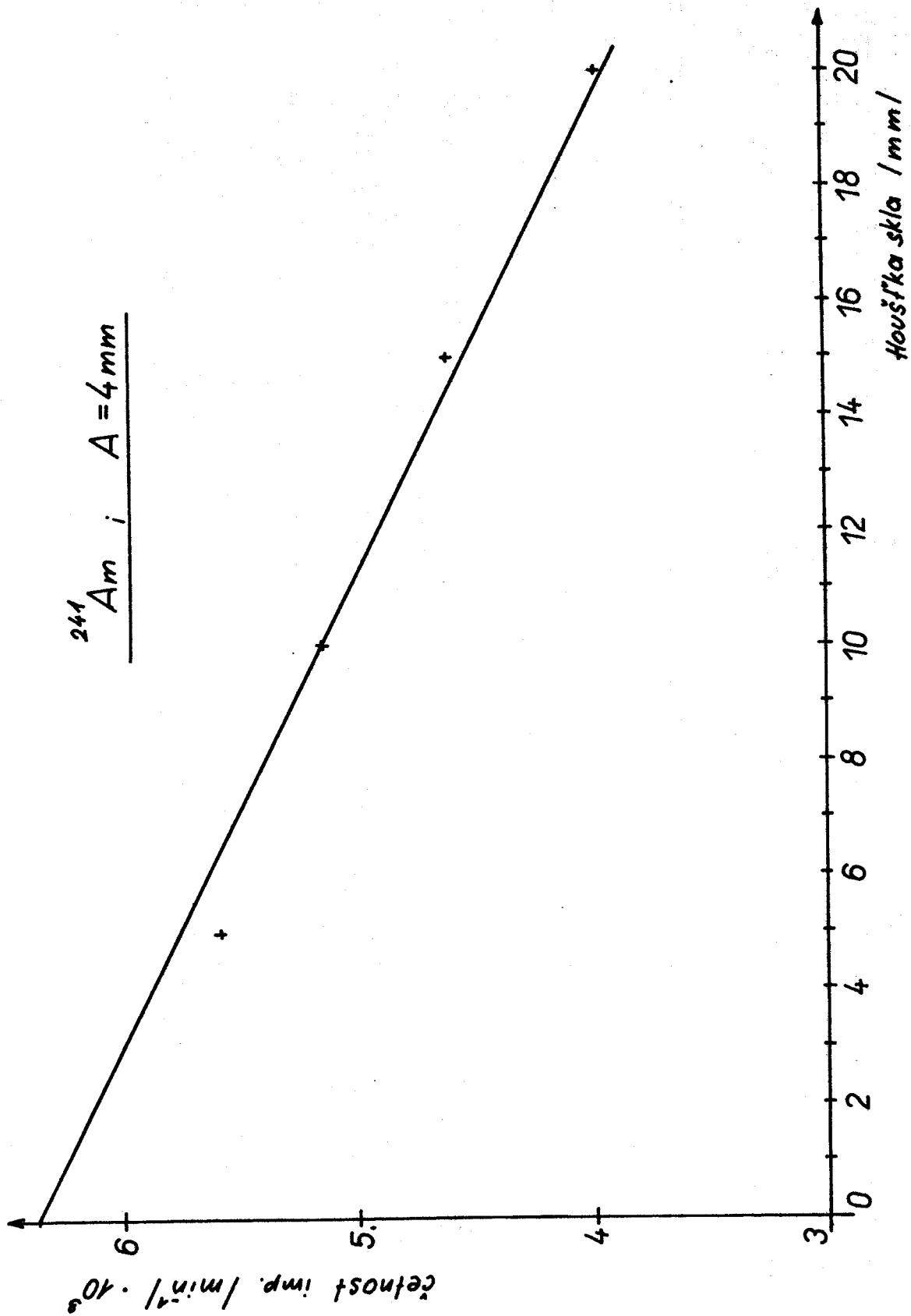
$V_{MK} = 256 \text{ ml} + 4 \text{ ml č.b.}; \eta = 13 \text{ Pa}\cdot\text{s}; t = 20^\circ\text{C}$					
číslo měření	s_{MD} - v dílcích na záznamu odpovídající tloušťce stěny /mm/				
	1,6	2,4	3,0	3,8	4,6
1	4,0	24,0	38,5	48,0	53,0
2	0,0	28,5	38,5	48,0	53,0
3	9,0	28,8	39,8	47,8	52,8
4	10,0	28,8	39,8	48,1	52,8
5	9,8	29,0	39,8	48,0	52,8
6	9,0	29,5	39,8	47,8	52,5
7	9,0	29,8	39,5	47,5	52,5
8	8,5	29,8	39,5	47,4	52,5
9	8,5	29,9	38,5	47,4	53,0
10	8,0	29,0	39,5	48,0	53,0
výsledek	7,58 $\pm 0,99$	28,71 $\pm 0,5$	39,32 $\pm 0,2$	47,8 $\pm 0,09$	52,79 $\pm 0,06$



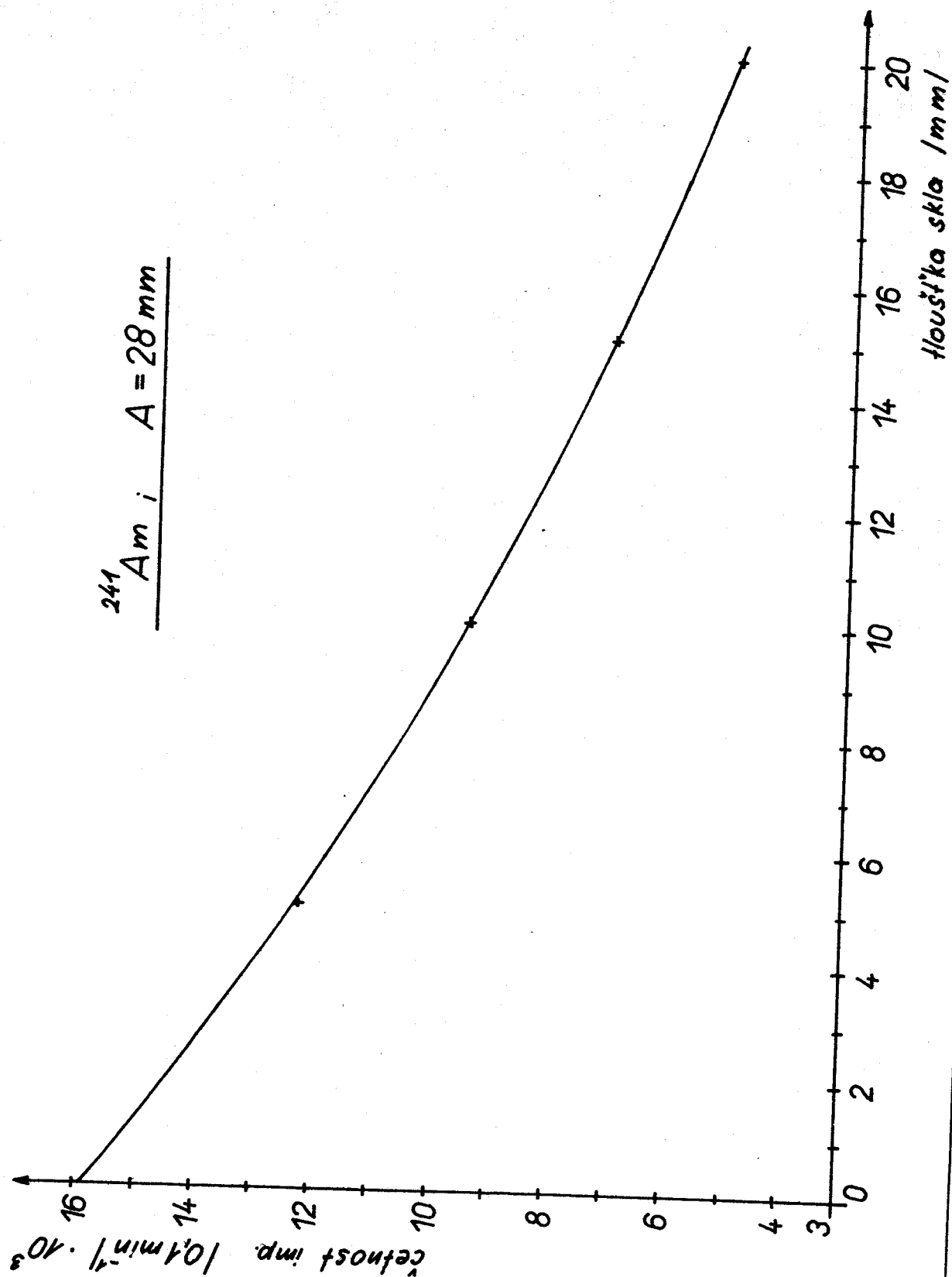
dolní fotonka / s_{HD} /

horní fotonka / s_{HH} /

^{241}Am ; $A = 4 \text{ mm}$



^{241}Am ; $A = 28 \text{ mm}$



$$\frac{{}^{147}\text{Pm}}{i} \quad A = 28\text{mm}$$

