

Vysoká škola: **strojní a textilní**
v Liberci

Katedra: **obráběcích strojů a metrologie**

Fakulta: **strojní**

Školní rok: **1972/73**

DIPLOMOVÝ ÚKOL

pro **Pavla Pavla**

odbor **stavba výrobních strojů a zařízení**

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

Název tématu: **Studie kruhového otočného stolu**

Pokyny pro vypracování:

- 1./ Hospodářský význam úkolu
- 2./ Studie literatury a dosavadních výsledků práce katedry
- 3./ Proměření zkušební vzorku otočného stolu s pneumostatickým vedením
 - a) zjištění tuhosti
 - b) přesnosti
 - c) zjišťování velikosti odchylek při působení vnějších vlivů
- 4./ Konstrukční návrh otočného stolu s kuličkovým vedením
- 5./ Porovnání a zhodnocení

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

VYSOKÁ ŠKOLA STROJNÍ A TEXTILNÍ
Usilování knihovna
LIBEREC I. STUDENTSKÁ 5

V 79/1973

Rozsah grafických laboratorních prací: **4 - 6 výřezů**

Rozsah průvodní zprávy: **40 - 50 stran**

Seznam odborné literatury: **Dosavadní práce katedry**
WIENER: Luftlagerung

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Jan Novák**

Konzultanti: **doc. Ing. Vojtěch Dráb**

Datum zahájení diplomové práce: **16.X.1972**

Datum odevzdání diplomové práce: **6.7.1973**



Jan Novák

vedoucí katedry

Husman

děkan

Liberec

16.X.1972

V

dne

196

VŠST Liberec	Studie kruhového otočného stolu	Katedra obráběcích strojů a metrologie	
Fakulta strojní		DP	VS-71/73

D I P L O M O V Ý Ú K O L

Studie kruhového otočného stolu

Vedoucí diplom. práce : Ing. J. Novák

Konzultant : Doc. ing. V. Dráb, CSc

5. července 1973

Pavel Fajgl

VŠST Liberec	Studie kruhového otočného stolu	Katedra obráběcích strojů a metrologie	
Fakulta strojní		DP	VS-71/73

<u>Obsah</u>	List č.
1. Úvod	3
1.1 Odchytky, rozdělení, základní pojmy a definice	3
1.2. Metody měření úchylek kruhovitosti	6
1.3. Uložení otočného stolu měř. přístroje	9
2. Pneumostatické uložení	10
2.1. Základy teorie a konstrukce pneumostatických ložisek	10
2.2. Konstrukce otočného stolu	12
2.3. Způsoby zatěžování a snímání odchylek	13
2.4. Centrické zatěžování	14
2.5. Excentrické zatěžování	20
2.6. Zhodnocení přístroje	23
3. Valivé uložení	25
3.1. Základy teorie a konstrukce valivých ložisek	25
3.2. Axiální ložiska	27
3.3. Konstrukce otočného stolu	30
3.4. Popis měřicího přístroje	31
4. Porovnání, zhodnocení	33
5. Závěr	34
6. Grafy výsledků zkoušek	36
7. Literatura	45

VŠST Liberec	Studie kruhového otočného stolu	Katedra obráběcích strojů a metrologie	
Fakulta strojní		DP	VS-71/72

1. Úvod

Se stále se zvyšujícím objemem výroby rostou také požadavky na kvalitu výrobků. K dosažení potřebné kvality však nestačí pouze zavádět nové stroje, ale neméně pozornost je třeba věnovat měřicí a kontrolní technice. Nároky kladené na měřicí přístroje jsou značné a stále stoupají. Některé typy přístrojů se v ČSSR nevyrábějí a jejich potřeba se řeší dovozem. V rámci řešení problému výroby československých přístrojů jsme se v naší práci zabývali návrhem přístroje na měření kruhovitosti.

1.1. Odchytky, rozdělení, základní pojmy a definice

Ve výrobě obráběcích strojů, automobilovém a leteckém průmyslu, jemné a přesné mechanice i v dalších odvětvích průmyslu se rozlišují tyto základní skupiny odchylek :

1. rozměru /parametrické/
2. drsnosti povrchu
3. geometrického tvaru
4. polohy

První skupina je již dosti důkladně zpracovaná, předepisování a používání tolerancí je zavedeno již delší dobu.

V posledních letech se zdokonalily přístroje na měření drsnosti, bylo vyrobeno mnoho druhů vzorkovnic povrchu /u nás vzorkovnice vyrábějí např. n.p. Gramofonové závody/ a názory na tyto úchytky se sjednocují.

Odchytky geometrického tvaru se vztahují na jednotlivé plochy /rovina, kužel/, úchytky plohy na vzájemnou polohu jednotlivých ploch /souosost, rovnoběžnost atd./.

Nyní si probereme některé základní definice, jak je uvádí norma ČSN 01 4403 /lit. [3]/.

VŠST Liberec	Studia kruhového otočného vrtáku	Katedra obráběcích strojů a metrologie	
Fakulta strojní		DP	VS-71/73

1. Geometrická plocha je geometrické místo bodů, které jednoznačně vyhovují daným podmínkám. Geometrická plocha se vždy definuje geometrickými útvary jednoduššími, než je plocha sama /bod, přímka/.

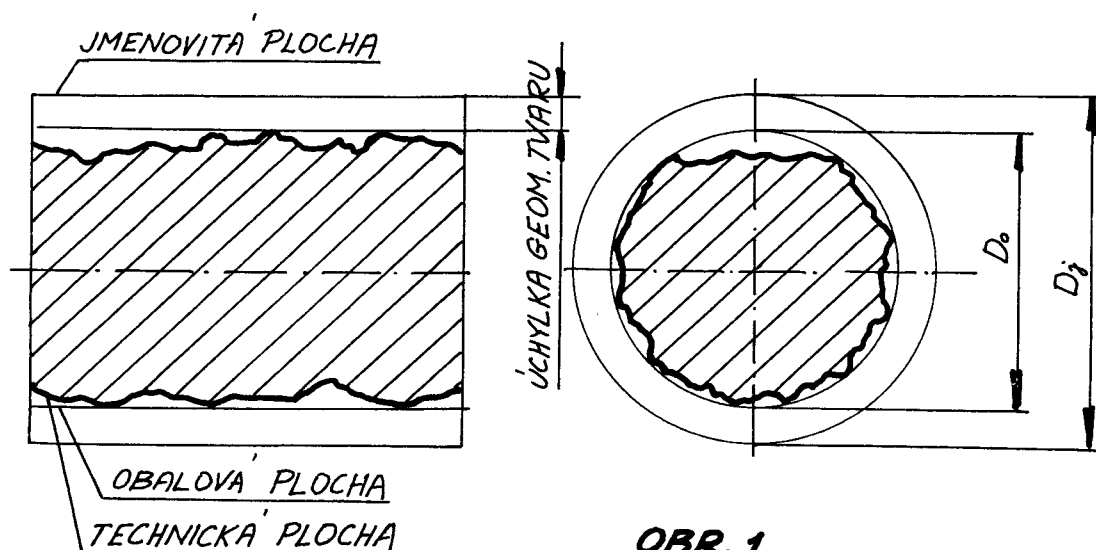
2. Jmenovitá plocha je geometrická plocha určená jmenovitými rozměry na výkrese. K ní se vztahují úchytky technické plochy.

3. Technická /skutečná/ plocha je plocha skutečně provedená na výrobku. Má /z výrobních důvodů/ proti ploše jmenovité určité úchytky, jejichž velikost lze ohraničit mezními úchytkami.

Úchytky geometrického tvaru se zjišťují pomocí obalové plochy, úchytky polohy pomocí tzv. základních ploch.

Obalová plocha je geometrická plocha téhož druhu jako měřená technická plocha, tečně proložená z vnější strany /takže uvnitř daného rozsahu neprochází materiálem/ k měřené technické ploše.

Za úchytky geometrického tvaru technických ploch se považují vzdálenosti jednotlivých vrcholů drsnosti měřené technické plochy /tj. povrchu výrobku/ od plochy obalové, viz obr. 1.



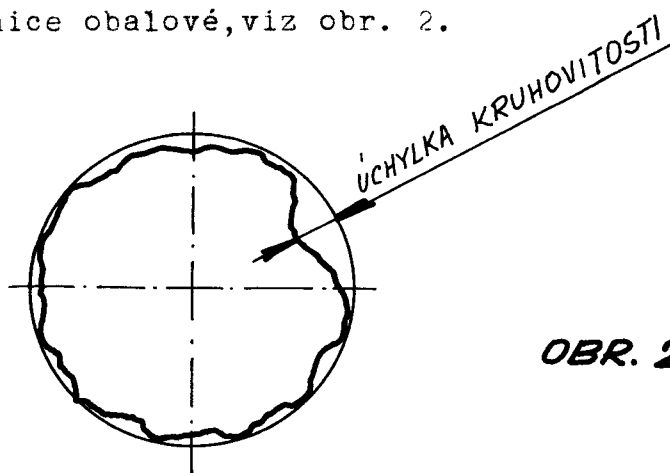
VŠST Liberec	Studie kruhového otočného stolu	Katedra obráběcích strojů a metrologie	
Fakulta strojní		DP	VS-71/73

Úchylka kruhovitosti

Obalový válec

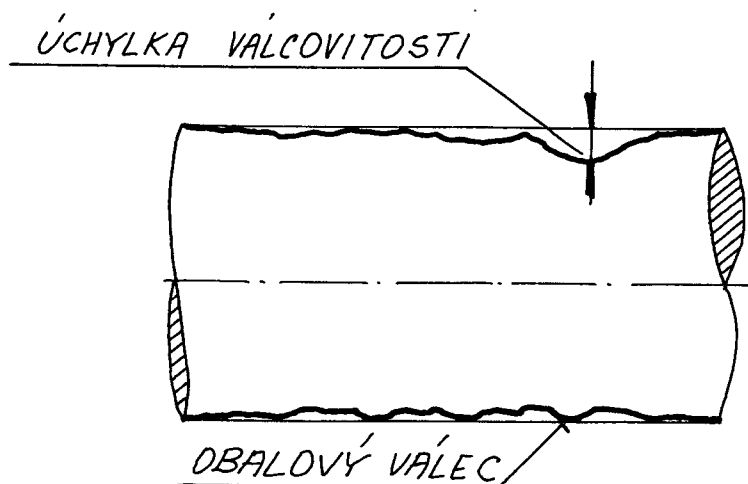
- a/ opsaný - je geometrický válec nejmenšího průměru opsaný válcovému tělu skutečně provedenému.
- b/ vepsaný - je geometrický válec nejmenšího průměru vepsaný do skutečně provedené válcové díry.

Pak úchylku kruhovitosti definujeme jako největší naměřenou vzdálenost vrcholů drsnosti technické kružnice od kružnice obalové, viz obr. 2.



OBR. 2

Úchylka válcovitosti je pak největší vzdálenost mezi skutečným a obalovým válcem. Zahrnuje tedy úchyly kruhovitosti kolmých řezů a úchyly rovnoběžnosti a přímosti povrchů. Úchylka válcovitosti je naznačena na obr. 3.

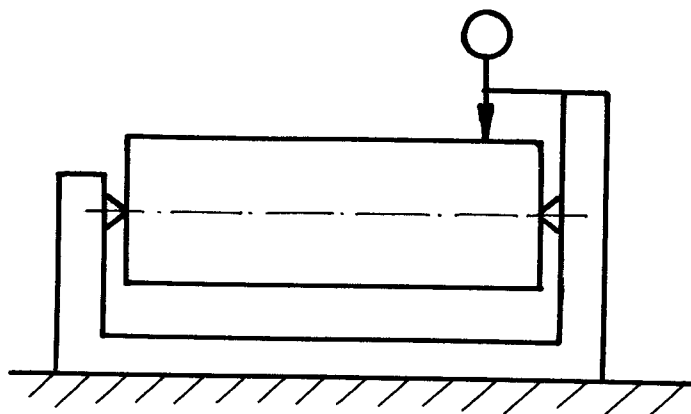


OBR. 3

1.2. Metody měření úchylek kruhovitosti

Podrobně jsou tyto metody zpracovány v [4].

1. Měření v hrotech - obr. 4.

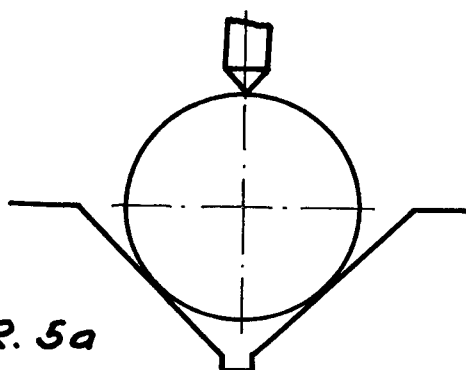


OBR. 4

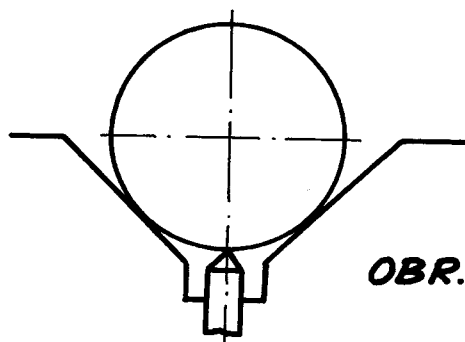
Při měření v hrotech se změří hodnota obvodového házení, která se skládá z úchylky kruhovitosti a z úchylky souososti geometrické osy součásti a osy rotace určené středicími dulkami. Pro přesné změření úchylky kruhovitosti je tedy nutno věnovat zvýšenou pozornost souososti středicích dulků /použití speciálních navrtávacích strojů/.

2. Měření v pevné prismatické podložce

Patří k často užívaným metodám. Jde o měření tříbové, při němž součást spočívá, resp. otáčí se v prismatické opěrce a úchylka se měří číselníkovým indikátorem, směřujícím do osy klínu, jak je znázorněno na obr.5a. Druhá možnost je, že indikátor prochází opěrkou, obr.5b.



OBR. 5a



OBR. 5b

VŠST Liberec	Studie kruhového otočného stolu	Katedra obráběcích strojů a metrologie	
Fakulta strojní		DP	VS-71/73

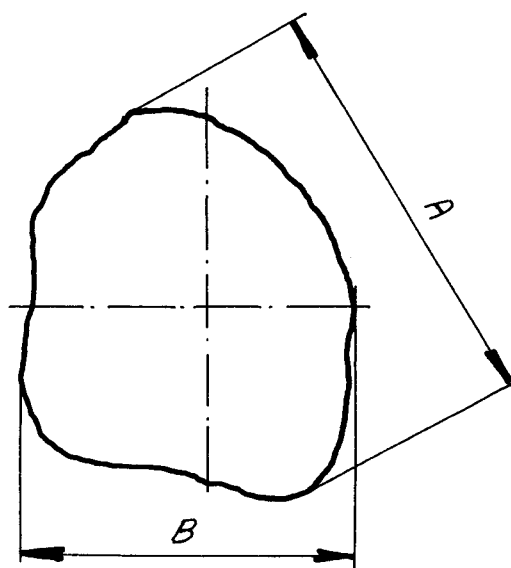
Při výrobě součástí např. bezhrotým broušením se často vyskytují lichouhelníkové profily /troj-,pěti- a sedmihrany/. Pokud by se měřilo bez uvažování této skutečnosti, došli bychom k chybným výsledkům. Pro každý pravidelný n-hran lze však stanovit jeden nebo několik úhlů prismatických opěrek, při nichž naměřená úchylka kruhovitosti odpovídá skutečné odchylce nebo jejím násobkům.

3. Měření ve stavitelné prismatické opěrce

Využívá se poznatku, že při určitém úhlu prismatické opěrky jsou hodnoty naměřené indikátorem přibližně celými násobky úchylky kruhovitosti. Platí to jen pro pravidelné n-hrany.

4. Obkročné obvodové měření

Ve výrobě je to jedna z nejpoužívanějších metod. Měření se provádí mikrometrem buď přímo nebo na rovinném stolku, měřicími stroji s mikrometrickými odpichy apod. Při tomto způsobu měření je úchylka kruhovitosti definována jako rozdíl mezi maximální a minimální naměřenou vzdáleností protilehlých vrcholů drsnosti měřeného profilu, viz obr. 6.



$$U = A - B$$

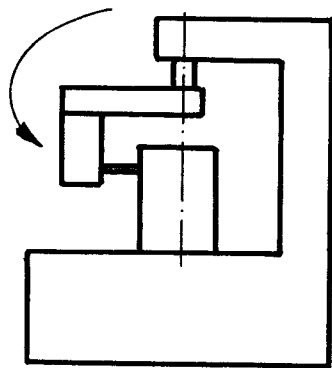
OBK. 6

VŠST Liberec	Studie kruhového otočného stolu	Katedra obráběcích strojů a metrologie	
Fakulta strojní		DP	VS-71/73

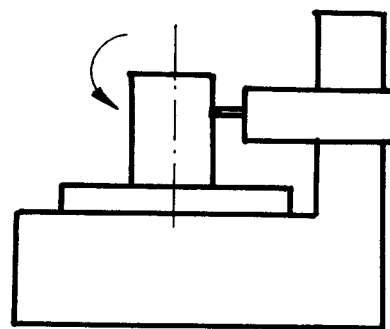
5. Elektrické měřicí přístroje

Tyto přístroje měří úchytky kruhovitosti jako vzdálenost vrcholů nerovností od obalové kružnice, což odpovídá definici.

Existují dva základní typy těchto přístrojů, a to přístroje s otočným snímačem /obr. 7a/ a s otočným stolem a pevným snímačem /obr. 7b/.



OBR. 7a



OBR. 7b

K přístrojům prvního typu patří např. Talyrond anglické firmy Taylor & Hobson, Leicester. Měřené součásti se pokládají buď přímo na pevný stůl, nebo na pomocné středící zařízení. S velmi přesným vřetenem, uloženým otočně, je pevně spojeno rameno měřicí hlavy. Na rameni je radiálně stavitelný dotyk. Pro snímání se používá vysoce citlivého elektroinduktivního snímače. K přístroji se dodává /kromě jiného příslušenství/ kontrolní skleněný etalon tvaru polokoule, u něhož je zaručena kruhovitost vrstevnicových řezů s přesností 0,00005 mm.

U přístrojů tohoto typu je obtížné vyřešit spolehlivé a citlivé snímání elektrického signálu s otáčejícího se vřetene. Provádí se to např. pomocí stříbrných kroužků s kartáči. Uvažuje se také o přechodu na elektroinduktivním principu.

Druhým typem je například přístroj Hommel-Makro-Tester západoněmecké firmy Hommel.

VŠST Liberec	Studie kruhového otočného stolu	Katedra obráběcích strojů a metrologie	
Fakulta strojní		DP	VS-71/73

Při měření se součást pokládá na vysoce přesný rotační stůl a úchytky se snímají snímačem, posuvným po pávné konzole. Je možno získat diagram polární nebo rozvinutý přímkový.

Dále se budeme zabývat pouze přístroji s otočným stolem a probereme si jednotlivé způsoby uložení stolu z hlediska praktického užití v dílenském měřicím přístroji.

1.3. Uložení otočného stolu měřicího přístroje

Na uložení stolu jsou kladeny značné požadavky. Je třeba dosáhnout co nejmenšího radiálního a axiálního házení, alespoň 10x menšího než je přesnost, se kterou měříme. Otáčky stolu mají být dostatečně malé, přibližně 3-15 ot/min. Dotyk snímače a obrobku musí být stálý a dokonalý.

Tyto požadavky je možno řešit různými způsoby:

Uložení kluzné: stykové plochy jsou mazány olejem.

Těžko se nám podaří dosáhnout toho, aby pohyb při malých rychlostech byl rovnoměrný. Dochází k trhavým pohybům způsobeným rozdílnou hodnotou součinitele tření za klidu a za pohybu.

Uložení hydrostatické: dá se předpokládat, že jeho vlastnosti budou podobné jako u dále popsaného pneumostatického ložiska. K nevýhodám patří nezbytný únik oleje a s tím spojené problémy.

Uložení pneumostatické: k jeho hlavním výhodám patří úplné odstranění trhavých pohybů, poměrně jednoduchá konstrukce, čistý provoz a vyrovnávací účinky vzduchové vrstvy v důsledku stlačitelnosti vzduchu.

Uložení valivé: jednoduchá konstrukce, čistý provoz, obejde se bez tlakových zdrojů, nemůže dojít k samobuzenému kmitání.

VŠST Liberec	Studie kruhového otočného stolu	Katedra obráběcích strojů a metrologie	
Fakulta strojní		DP	VS-71/73

V další části diplomové práce se budeme zabývat konstrukcí a funkcí pneumostatického uložení, navrženého a vyrobeného podle [1] a dále uložení valivým.

2. Pneumostatické uložení

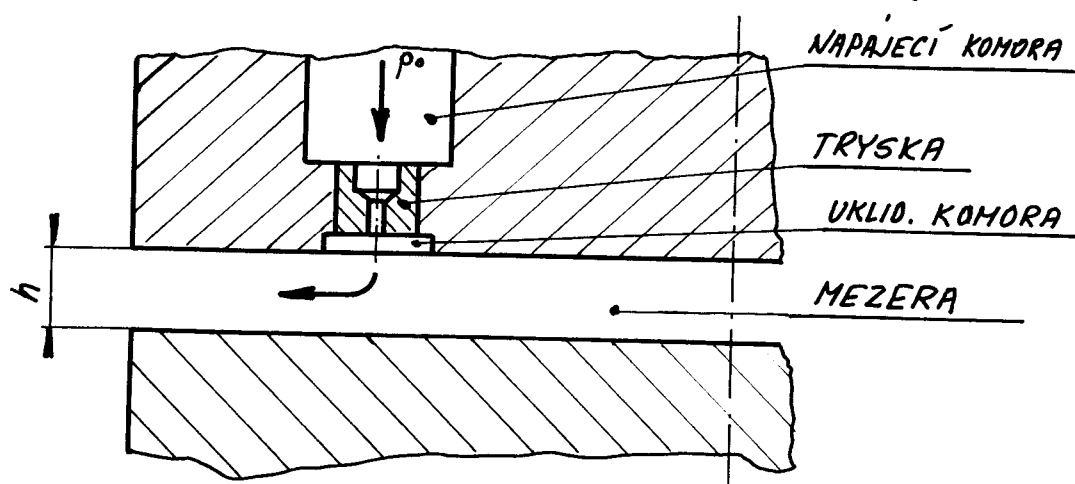
2.1. Základy teorie a konstrukce pneumostat. ložisek

/Zde uvedené vztahy jsou odvozeny v [1] /.

První pokusy s užitím vzduchu jako mazacího prostředku byly uskutečněny již r. 1897 prof. A. Kingsburym. Teoreticky tuto problematiku zpracoval W.J. Harrison v roce 1913.

Princip práce pneumostatického ložiska:

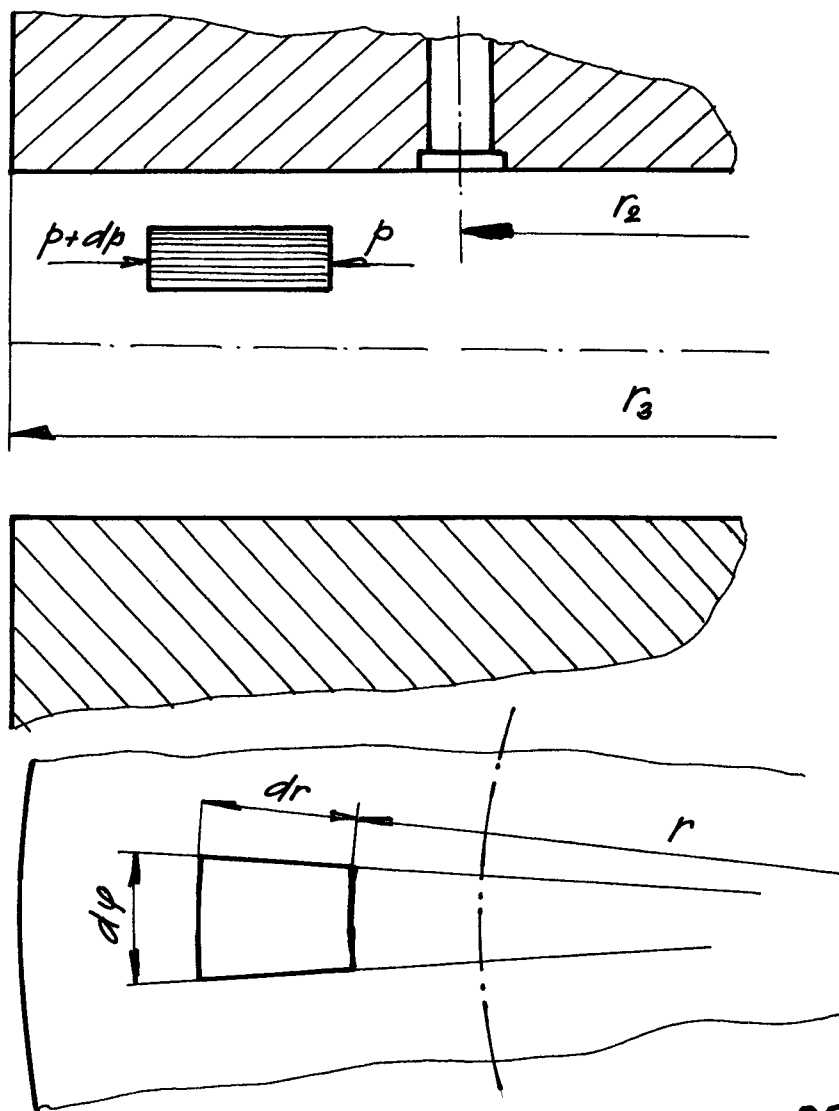
Do štěrby mezi pevným a pohyblivým dílem ložiska se tryskami přivádí stlačený vzduch. V závislosti na vnějším zatížení se nastaví určitý přetlak vzduchu a podle množství přiváděného vzduchu určitá velikost štěrby.



Výška štěrby, průběh tlaku

Pomocí stavové rovnice a rovnice kontinuity se dá odvodit výška štěrby a průběh tlakového spádu v mezeře mezi pevným a pohyblivým dílem ložiska. Střední hodnotu tlaku potřebujeme pro výpočet nosnosti ložiska.

VŠST Liberec	Studie kruhového otočného stolu	Katedra obráběcích strojů a metrologie	
Fakulta strojní		DP	VS-71/73



OBR. 9

Tlak v mezikruží /mezi poloměry r_2 a r_3 / je rozložen podle vztahu

$$p = \sqrt{p_2^2 - (p_2^2 - p_3^2) \cdot \frac{\ln \frac{r}{r_2}}{\ln \frac{r_3}{r_2}}}$$

Pro výšku mezery platí

$$h = \sqrt[3]{\frac{\lambda(r_2)}{8} \cdot Re(r_2) \cdot r_2 \cdot \ln \frac{r_3}{r_2} \cdot \frac{p_3^2}{p_2^2 - p_3^2}}$$

kde

$$\lambda(r_2) = 0,036 \text{ pro } Re(r_2) \in \langle 2690, 8000 \rangle$$

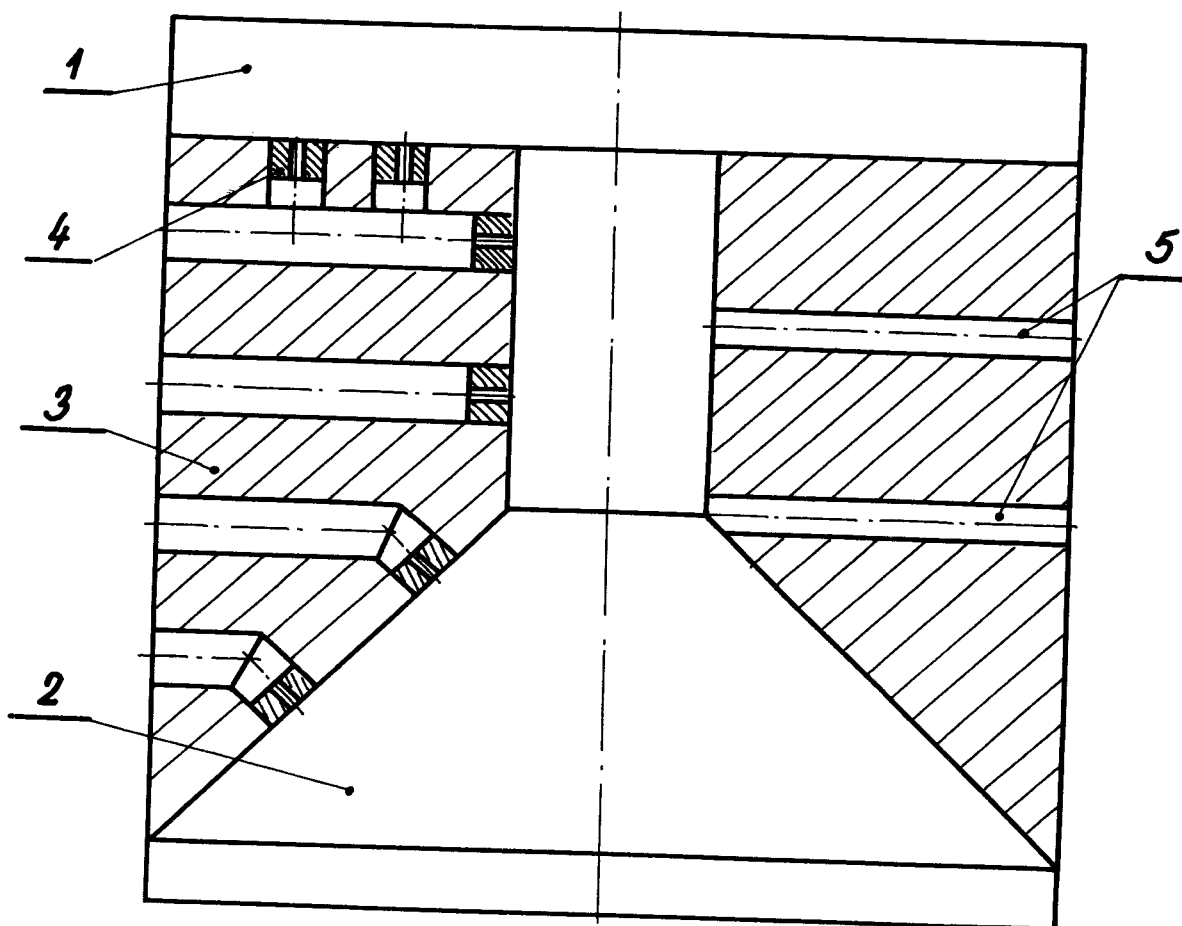
příp.

$$\lambda(r_2) = \frac{96}{Re(r_2)} \text{ pro } Re(r_2) \leq 2690$$

a Re/r_2 je Reynoldsovo číslo na poloměru r_2 .

2.2. Konstrukce otočného stolu na pneumostat. uložení

Je řešena tak, aby s co nejmenším počtem dílů bylo možno vyzkoušet různé alternativy uložení. V našem případě to jsou 4 alternativy, 2x jako jednostranné uložení, 2x jako uložení oboustranné.



OBR. 10

VŠST Liberec	Studie kruhového otočného stolu	Katedra obráběcích strojů a metrologie	
Fakulta strojní		DP	VS-71/73

V obr. 10 značí:

1. Kruhová deska
2. Nosný kužel s válcovým čepem
3. Stator
4. Trysky
5. Odpouštěcí otvory

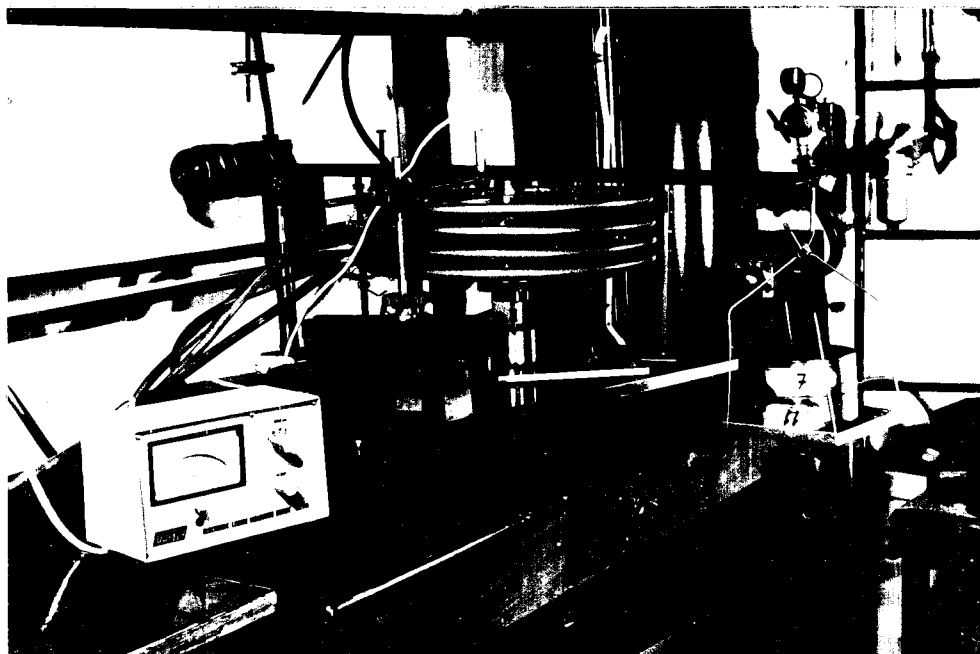
Podrobnou dokumentaci uvádí [17].

Těleso statoru je upevněno v objímce a je možno jej o 180° obrátit. Napájení statoru je ze 4 rozváděcích prstenců do vývrtů po obvodu tělesa statoru. Do vodorovné polohy se objímka se státorem vyrovná třemi stávcími šrouby.

Různým sestavením kruhové desky a nosného kužele získáme 4 alternativy, které jsou dále popsány a byly také prakticky odzkoušeny.

2.3. Způsoby zatěžování a snímání odchylek

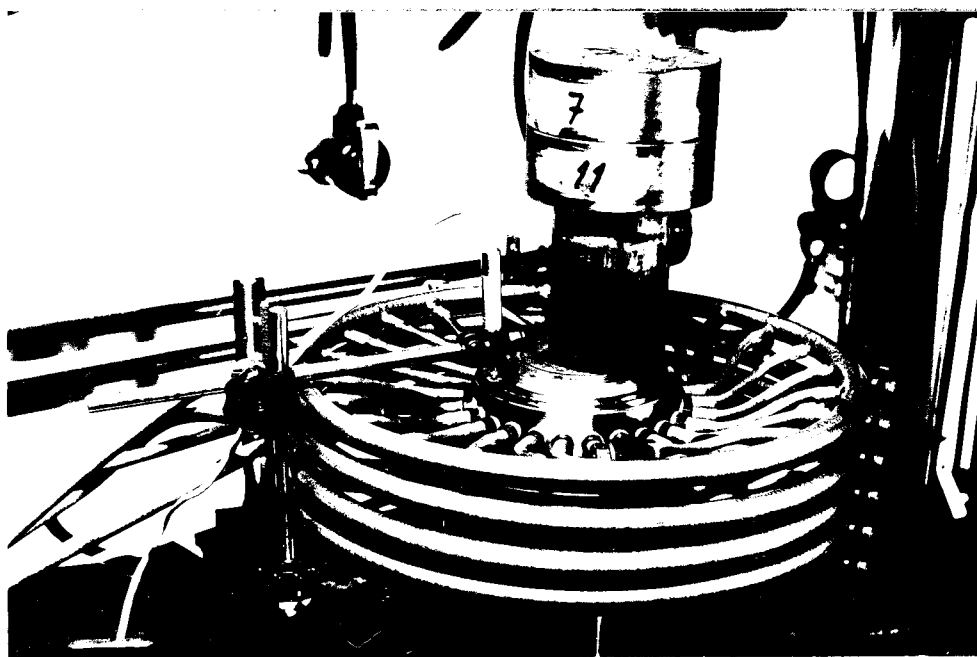
Protože přímé zatěžování závažími by se dalo obtížně realizovat /ložisko jsme proměřovali při zatížení až do 54 kp/, použili jsme pákového převodu. Rameno páky má průřez 40x30 mm, což umožnilo umístění snímače prakticky v kterémkoliv místě stolu. Měřicí pracoviště vidíme na fot. 1.



FOT. 1

VŠST Liberec	Studie kruhového otočného stolu	Katedra obráběcích strojů a metrologie	
Fakulta strojní		DP	VS-71/73

Při excentrickém zatěžování, kdy se stůl otáčel, jsme použili zatěžování závažími, ale pouze do 30 kp. Závaží jsme umístili na nosnou trubku /fot. 2./, kterou jsme podle potřeby posunovali po stole. Největší dosažitelná excentricita byla 15 mm. Snimač byl v tomto případě umístěn na okraji stolu /na průměru 135 mm/ a snímal tedy největší odchylky.



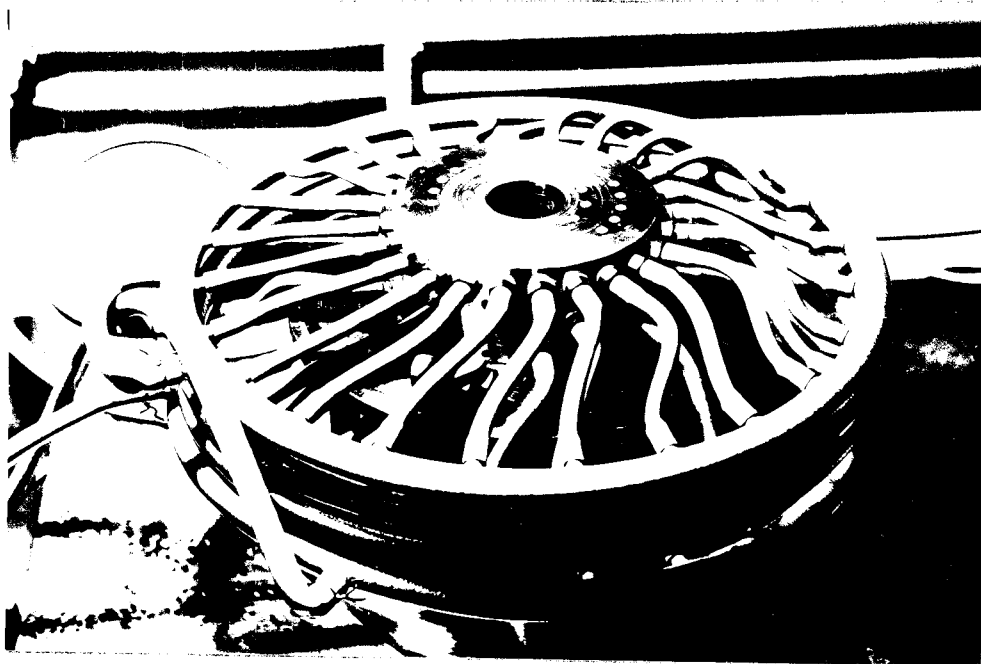
Fot. 2

2.4. Centrické zatěžování

2.4.1. 1. alternativa

Odpovídá sestavení z obr. 10. Ofukuje se pouze kruhová deska a radiální válcový čep. Nosné tlakové pole pod deskou je vytvářeno dvěma kruhovými řadami trysek. Na ϕ 108 mm je rozmístěno 24 trysek, na ϕ 68 mm je 12 trysek. Na fotografii č.3. je vidět rozmístění trysek, na č.4. je vyfotografována nosná kruhová deska.

VŠST Liberec	Studie kruhového otočného stolu	Katedra obráběcích strojů a metrologie	
Fakulta strojní		DP	VS-71/73



FOT. 3

VŠST Liberec	Studie kruhového otočného stolu	Katedra obráběcích strojů a metrologie	
Fakulta strojní		DF	VS-71/72

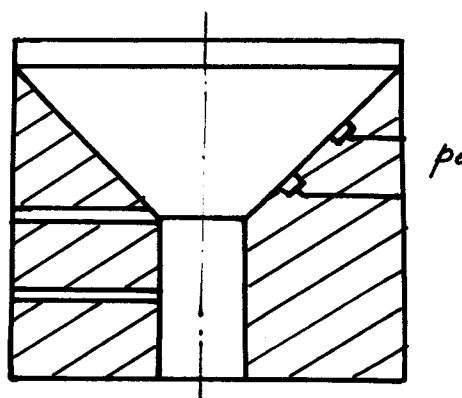
Tyto trysky jsou provedeny s uklidňovacími komorami, viz obr. 11. Uklidňovací komora usměrní proudění vzduchu v mezeře. Tím se skutečné podmínky přibližují teoretickým. Válcový čep je radiálně ofukován 6 tryskami, provedenými bez uklidňovacích komor /obr. 12/. Sníží se tím náchylnost k samobuzeným kmitům.

Výsledky měření

Na grafu obr. 13 je vidět srovnání teoretických výsledků s výsledky praktických zkoušek. Ukazuje se, že ložisko v oblasti užitého zatížení pracuje s větší vzduchovou mezerou. U zkušební vzorku byla vůle mezi statorem a rotorem 0,056 mm. Při zatížení do 10 kp byla vzduchová mezera mezi stolem a tělesem taková, že ložisko drhlo kuželovými plochami o sebe. Můžeme odhadnout, že by mezera v nezatíženém stavu byla asi 0,062 mm pro tlak 1,6 kp/cm² až 0,065 mm při tlaku 2,2 kp/cm². Velikost mezery při max. užitém zatížení /tj. 54 kp/ byla 0,039 - 0,0405 mm, což je v oblasti spolehlivé práce ložiska. Změna tlaku o 0,2 kp/cm² vyvolá změnu výšky mezery o 0,0005 - 0,001 mm oproti teoretické hodnotě 0,003 - 0,005 mm. Náchylnost k samobuzenému kmitání nebyla pozorována.

2.4.2. II. alternativa

Při tomto způsobu sestavení je nosnou částí kužel s vrcholovým úhlem 90°, viz obr. 15.



OBR. 15

VŠST Liberec	Studie kruhového otočného stolu	Katedra obráběcích strojů a metrologie	
Fakulta strojní		DP	VS-71/73

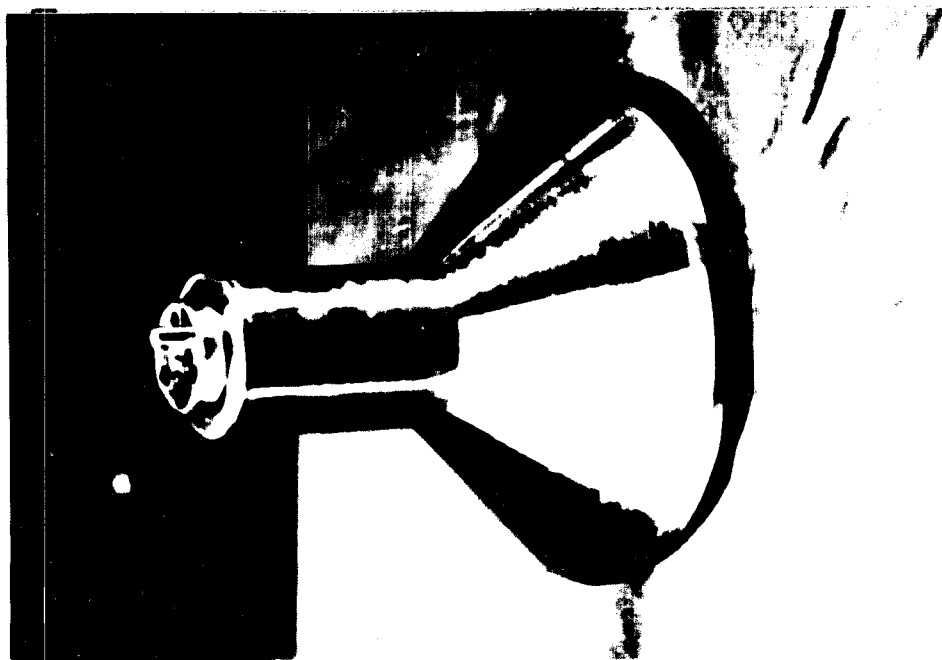
Jsou napájeny pouze 2 řady, v první je 24 trysek na ϕ 108 mm, ve druhé je 8 trysek na ϕ 64 mm /fot. 5./. Středění ofukováním čepu se neprovádí, protože kuželová část zaručuje dobré středění. Výroba a slicování kuželových částí je nejchoulostlivější operací a na kvalitě provedení jsou závislé konečné vlastnosti ložiska. Fotografie 6. ukazuje nosný kužel, který lícuje s kuželovou plochou na fot. 5.

Při srovnání grafů teoretické únosnosti se skutečnou dojdeme k těmto důležitým závěrům: skutečná tuhost ložiska je větší než výpočtová /obr. 16/. Výška vzduchové mezery je v rozmezí /podle napájecího tlaku/ 0,049 - 0,0515 mm při zatížení 15 kp až 0,0275 - 0,0305 mm při zatížení 54 kp. Podle výpočtu by mělo při napájecím tlaku 1,6 kp/cm² a zatížení okolo 54 kp dojít ke zhroucení ložiska. Zkoušky ukázaly, že ani v oblasti zatížení 54 kp nedošlo ke znatelnému snížení vzduchové mezery. Únosnost ložiska je tedy dobrá. Oproti teoretickému zvětšení vzduchové mezery o 0,003 - 0,005 mm při zvýšení tlaku o 0,2 kp/cm² bylo při praktických zkuš^ukách naměřeno zvětšení pouze 0,0015 mm. Nevýhodou tohoto uložení je malá tuhost v oblasti malých zatížení. Jak dále uvidíme, je možné toto odstranit použitím oboustranného uložení.

VŠST Liberec	Studie kruhového otočného stolu	Katedra obráběcích strojů a metrologie	
Fakulta strojní		DP	VS-71/73



FOT. 5

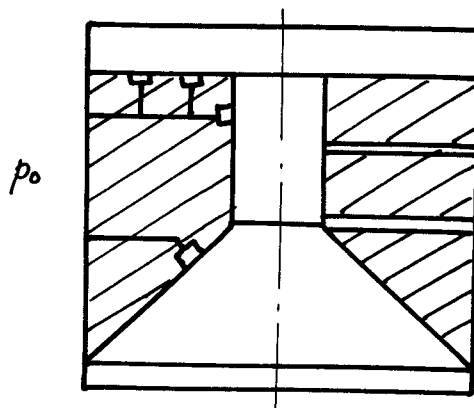


FOT. 6

VŠST Liberec	Studie kruhového otočného stolu	Katedra obráběcích strojů a metrologie	
Fakulta strojní		DP	VS-71/73

2.4.3. III. alternativa

Ke zvýšení tuhosti ložiska s kruhovým deskovým stolem podle alt. I. se použije oboustranného uložení /obr. 17/.



OBR. 17

Nosnou částí je kruhový deskový stůl, ofukovaný dvěma řadami trysek na ϕ 108 mm a na ϕ 68 mm. Středění ložiska je provedeno kuželovou částí, ofukovanou tryskami na ϕ 68 mm.

Na obr. 18 je porovnání teoretických a skutečných křivek únosnosti pro centrické zatěžování. Součtová vůle $a = h_1 + h_2 = 0,056$ mm je menší než původně uvažovaná hodnota $a = 0,070$ mm /0,080 mm/, ale porovnáním zjistíme, že se únosnost v oblasti použitých zatížení nesnížila. Velikost vzduchové mezery je přibližně o 0,006 - 0,008 mm větší, než udávají teoretické křivky. Zajímavé je, že křivky nemají rozbíhavý charakter /tj. zmenšující se tuhost při snížení napájecího tlaku/, ale v oblasti užitých zatížení jsou rovnoběžné.

2.4.4. IV. alternativa

Je v podstatě vylepšenou alternativou II. Základem zůstává kuželový nosný stůl a ke zvýšení tuhosti je zespodu upevněna kruhová deska o ϕ 100 mm.

VŠST Liberec	Studie kruhového otočného stolu	Katedra obráběcích strojů a metrologie	
Fakulta strojní		DP	VS-71/73

S takto navrženým vzorkem /obr. 19/ se předběžně počítá pro užití v měřicím přístroji. Výsledky zkoušek ukázaly, že skutečně tato alternativa má nejlepší vlastnosti ze všech navržených vzorků.

Výsledky zkoušek jsou na obr. 20. Velikost mezery $a = h_1 + h_2 = 0,056 \text{ mm}$, při ofukování kužele i desky se nastavila velikost mezery $h_1 = 0,039 \text{ mm}$. Tuhost stolu byla větší než podle vypočtených hodnot a činila asi $4,7 \text{ kp}/\mu\text{m}$. Při zatížení 54 kp a tlaku $1,6 \text{ kp}/\text{cm}^2$ mělo dojít ke zhroucení ložiska, únosnost skutečného ložiska je větší.

2.5. Excentrické zatěžování

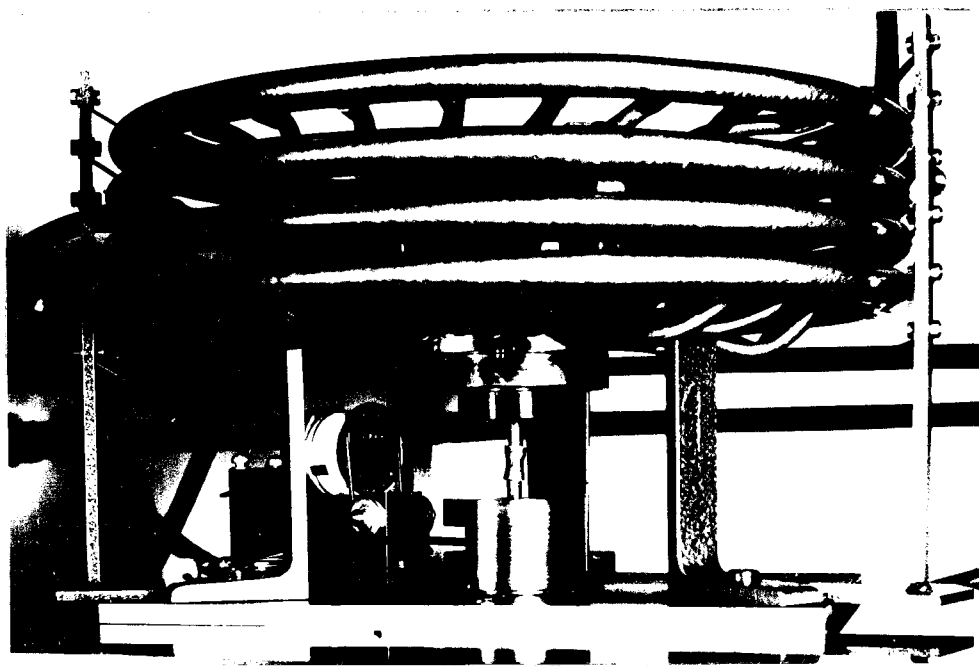
Další skupinou zkoušek bylo zjišťování chování ložiska při excentrickém zatěžování. Házení ložiska má být co nejmenší, nesmí docházet ke kmitání ani k drhnutí rotoru o stator.

Pohon zařízení obstarával motor B 602 s převodovkou. Otáčky motoru se přenášely lankem na řemenici, umístěnou v ose stolu /fot. 7./. Osička řemenice byla s unášecím čepem stolu spojena gumovou hadičkou. Gumová hadička jakožto spojovací element měla několik nevýhod:

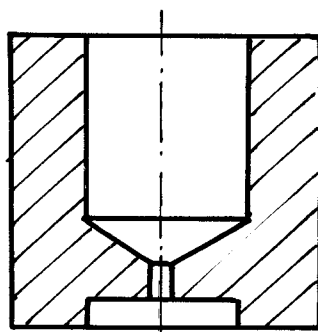
1. Při rozběhu zařízení je třeba překonat určitý moment setrvačnosti závaží. Při zapnutí motorku docházelo k tomu, že stůl z počátku stál a hadička se zkrucovala. Když došlo k „utržení“ stolu, nebyl jeho pohyb v důsledku napružení hadičky rovnoměrný, ale kmitavý. Bylo třeba chvíli čekat, než se pohyb uklidní.

2. Zpočátku docházelo při měření ke značným odchylkám ve výsledcích. Při podrobnějším zkoumání jsme zjistili, že hadička ovlivňuje velikost axiálního posuvu stolu /tj. výšku vzduchové mezery/. Tento vliv není zdaleka zanedbatelný, protože měření se prováděla v $0,001 \text{ mm}$.

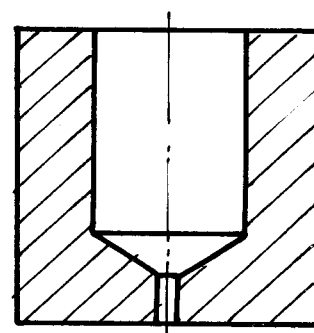
VŠST Liberec	Studie kruhového otočného stolu	Katedra obráběcích strojů a metrologie	
Fakulta strojní		DF	VS-71/73



FOT. 7



OBR. 11



OBR. 12

VŠST Liberec	Studie kruhového otočného stolu	Katedra obráběcích strojů a metrologie	
Fakulta strojní		DP	VS-71/73

V návrhu měřicího přístroje jsou tyto nedostatky odstraněny použitím pevného unašeče, který umožňuje určitou nesouosost hřídele stolu a řemenice a dále umožňuje určitý axiální posuv /rozhodně větší, než je změna výšky vzduchové mezery/.

Výsledky zkoušek:

1. Obr. 21 odpovídá alternativě I /nosnou částí je kruhová deska/. Velikost házení při centrickém zatěžování je v rozmezí 0,008 - 0,010 mm. Tato hodnota značně závisí na způsobu montáže stolu /utažení upevňovacích šroubů/. Její velikost ale není směrodatná, protože při měření v praxi se mezi obrobek a stůl vkládá vyrovnávací deska. Tato deska je tříbodově uložená a stavěcími šrouby je možné házení při centrickém zatěžování zcela eliminovat.

Křivky házivosti při excentrickém zatížení jsou značně strmé, což je nevýhodné. Navíc při excentricitě $e = 15$ mm docházelo k drhnutí stolu.

2. Na obr. 22 vidíme průběh házení při zatěžování stolu, sestaveného podle II. alternativy. Nosnou část tvoří kužel. Toto sestavení snáší lépe excentrické zatěžování než alt. I. Křivky jsou pozvolnější a také absolutní velikost házení je menší. Při měření kužele v hrotech jsme naměřili čelní házení 0,002 mm.

3. Obr. 23 ukazuje průběh házení při sestavení podle alternativy III. Nosnou částí je deska a dále je ofukován kužel na ϕ 68 mm. Při excentrickém zatěžování se ukazuje podobnost s příp. podle obr. 21. Citlivost kruhové desky je při excentrickém zatěžování poměrně málo ovlivňována ofukováním kuželu. Křivky házivosti jsou opět poměrně strmé, i když méně než v příp. 1.

VŠST Liberec	Studie kruhového otočného stolu	Katedra obráběcích strojů a metrologie	
Fakulta strojní		DP	VS-71/73

4. Z obr. 24 zjistíme chování ložiska sestaveného podle IV. alternativy. Spojuje výhody II. alternativy - kuželová nosná část - se zvětšenou tuhostí vlivem ofukování spodní desky o ϕ 100 mm. Tato alternativa se ukazuje jako nejvhodnější pro další praktické použití v měřicím přístroji. Křivky házivosti mají velmi pozvolný vzestup a i při zatížení 30 kp je házivost poměrně malá. Na obr. 25 jsou vyneseny křivky pro odlišné napájecí tlaky /1,8 a 2,2 kp/cm²/. Vidíme, že při použití vyšších napájecích tlaků se velikost házení zmenšuje. Z technických důvodů jsme bohužel nemohli vyzkoušet ještě vyšší napájecí tlaky.

Poznámka: Obrázky 13, 16, 18, 20, 21, 22, 23, 24, 25 jsou uvedeny jako příloha na konci této práce.

2.6. Zhodnocení přístroje

Přístroj byl vyroben ve vývojových dílnách VŠST. Z výrobního hlediska bylo nejobtížnější dosáhnout přesného lícování kuželových součástí, jejichž tvarová a povrchová přesnost má velký vliv na chování a přesnost ložiska. Požadovaná výrobní přesnost byla u všech součástí dodržena a přístroj vykazoval v mnoha případech lepší vlastnosti než podle teoretických závěrů.

Při praktických zkouškách větší rozměry /dané průměry napájecích prstenců/ spolu s váhou přístroje poněkud ztěžovaly manipulaci. Na druhé straně byla přestavba jednotlivých alternativ z mechanického hlediska záležitostí jednoduchou a funkčně spolehlivou. O problémech spojených s pohonem stolu jsme se zmínili již dříve.

Porovnáním výsledků zkoušek a chování vzorku v různých situacích s přihlédnutím k požadovaným vlastnostem uložení se jako nejvýhodnější jeví IV. alternativa

VŠST Liberec	Studie kruhového otočného stolu	Katedra obráběcích strojů a metrologie	
Fakulta strojní		DP	VS-71/73

/oboustranné uložení s kuželovou nosnou částí/. Toto uložení se vyznačuje dostatečnou tuhostí a má nejpríznivější charakteristiky při excentrickém zatěžování - tedy vlastnosti, žádoucí u měřicího přístroje.

Domníváme se, že měřicí přístroj pracující s pneumaticky uloženým stolem podle alternativy IV. by byl vhodný jako dílenský měřicí přístroj s dostatečnou přesností a únosností.

3. Valivé uložení

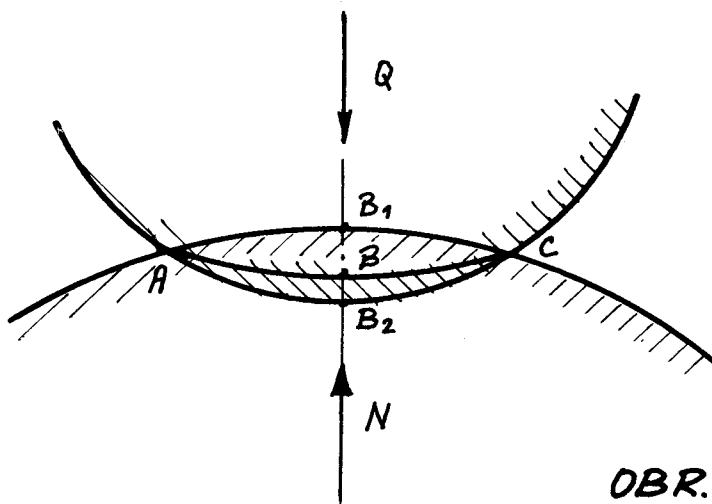
Tření a jeho vliv na spotřebu energie je známo již velmi dlouhou dobu. Lidé se už od pradávna snažili /i když zpočátku primitivní formou/ převádět kluzné tření na valivé. Lokazují to výzkumy v Egyptě, Syrii nebo i na Polynéských ostrovech. Pro přepravu rozměrných a těžkých nákladů se používalo saní pojíždějících na válcích, kamenné bloky se valily po kamenných kouřích apod.

Valivé uložení prošlo dlouhým a složitým vývojem. V nynější době se nejčastěji používá ložisek pro uložení otáčejících se částí strojů a přístrojů. Pro potřeby odběratelů se vyrábí mnoho druhů ložisek v různých velikostech.

3.1. Základy teorie a konstrukce valivých ložisek

/Podrobněji viz [9]/.

Fyzikální podstata valivého tření je značně složitá a doposud nebyl podán její úplný výklad. V důsledku konečné tuhosti skutečných těles nedochází k zidealizovanému odvalování geometrických útvarů, kdy si tělesa zachovávají ve styku nezměněný tvar a délky odvalených oblouků jsou stejné. Blíže si skutečné odvalování osvětlíme podle obr. 26.

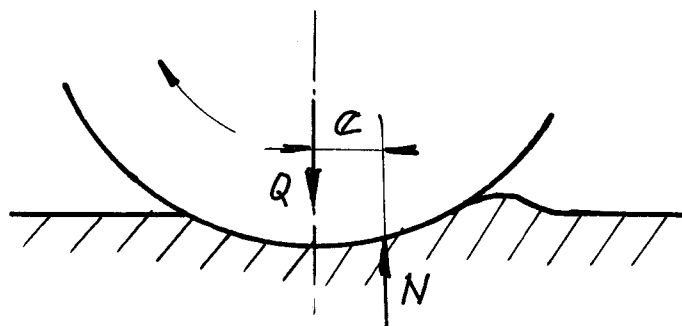


OBR. 26

VŠST Liberec	Studie kruhového otočného stolu	Katedra obráběcích strojů a metrologie	
Fakulta strojní		DP	VS-71/73

V důsledku pružnosti skutečných těles se při působení normálních sil jejich tvar deformuje. Lotyková ploška je zakřivená. Původní oblouky $\overline{AB_1C}$ a $\overline{AB_2C}$ o rozdílných délkách se po stlačení změnily na oblouk $\overline{ABC}$ o stejné délce. Tato změna je příčinou relativních skluzů ve stykové ploše a tím i vzniku první složky valivého tření.

Při odvalování takto deformované stykové plochy dochází k posuvu deformace ve směru valení. V přední části stykové plochy dojde k zatěžování, v zadní k odlehčování. Velikost deformace závisí nejen na velikosti napětí, ale i na smyslu zatěžování. Při odlehčování zůstává deformace větší než při zatěžování. Dochází k tzv. pružné hysterezi materiálu. Následkem hystereze bude stykové napětí na zatěžované ploše větší než na ploše odlehčované. Výslednice normální reakce N bude oproti přítláčné síle posunuta o hodnotu e /viz obr. 27/. Druhou složkou valivého tření je tedy moment o velikosti $N.e$.



OBR. 27

Velikost hystereze není ovlivněna přítomností maziva. Vliv mazání na součinitel valivého tření je tedy většinou zanedbatelný.

Celkový valivý odpor závisí na mnoha činitelích, z nichž na předních místech stojí:

1. volba materiálů valivé dvojice
2. tvar a vzájemná poloha odvalujících se ploch
3. jakost povrchu
4. velikost přítláčné síly

VŠST Liberec	Studie kruhového otočného stolu	Katedra obráběcích strojů a metrologie	
Fakulta strojní		DP	VS-71/73

Velký význam pro přesnost práce ložiska má jeho opotřebení. Hlavní složkou celkového průběhu opotřebení jsou plastické deformace. Při opakovaném převalování pod zatížením se mikronerovnosti povrchu ve stykových plochách plasticky deformují. Částice materiálu jsou postupně vytrhávány, vydrolovány a drceny. Tvrdé částice materiálu i cizí nečistoty, vnikající do ložiska, ničí valivé plochy. Je tedy nutné, aby valivé dráhy byly chráněny před vnikáním nečistot, byly vyrobeny přesně a s vysokou jakostí povrchu.

V naší práci se dále budeme zabývat valivým uložením otočného stolu, které je principiálně srovnatelné s axiálním ložiskem.

3.2. Axiální ložiska

Problematikou ložisek se důkladně zabýval švédský badatel A. Palmgren, z jehož práce [5] jsou dále uvedené vztahy.

Rozdělení zatížení v axiálním ložisku

Působí-li v ose ložiska síla Q , je každé valivé tělísko zatíženo silou o velikosti

$$F = \frac{Q}{z \cdot \sin \beta}$$

kde z - počet valivých tělísek

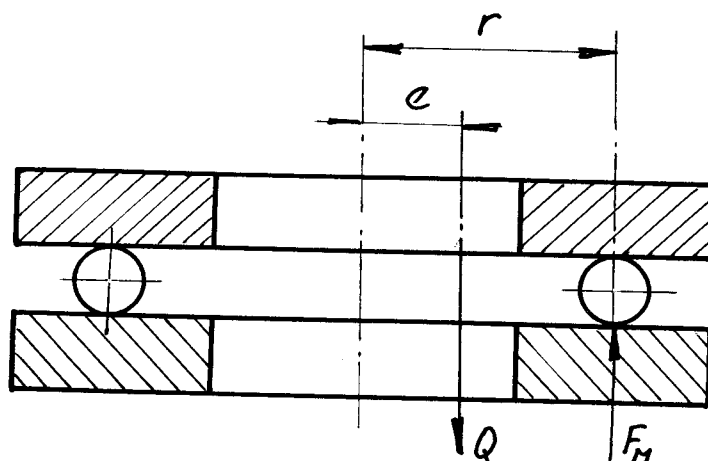
β - úhel styku valivého tělesa s kroužkem /90°/.

Síla F je potom

$$F = \frac{Q}{z}$$

Tento vzorec platí pouze pro centrické zatěžování.

Při zatížení excentrickém jsou síly působící na jednotlivá valivá tělíska /kuličky/ různé a závisejí na velikosti excentricity /viz obr. 28/.



OBR. 28

Pro $e = 0,6 r$ je jedna kulička zcela odlehčena a na protější kuličku působí síla

$$F_M = 2,36 \cdot \frac{Q}{2}$$

Je-li $e = 0,8 r$, potom zatížení přenáší pouze jedna polovina kuliček a největší síla je

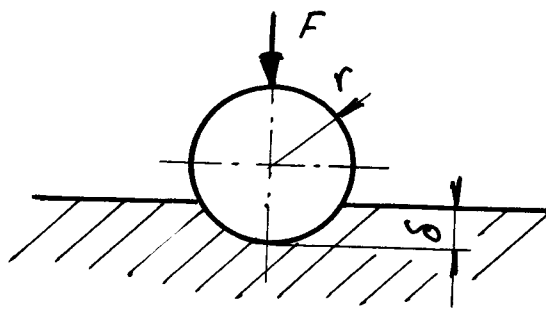
$$F_M = 3,6 \frac{Q}{2}$$

Při $e = r$ přenáší celé zatížení jedna kulička a síla $F_{\max} = Q$.

$$F_M = Q$$

Při zatížení kuličky dojde k plastické deformaci ve stykové oblasti a k zamáčknutí kuličky o hodnotu δ , jejíž velikost je závislá na síle F , modulu pružnosti E a poloměru kuličky r podle vztahu

$$\delta = 1,22 \cdot \sqrt[3]{\frac{F^2}{E^2 \cdot r}}$$



OBR. 29

VŠST Liberec	Studie kruhového otočného stolu	Katedra obráběcích strojů a metrologie	
Fakulta strojní		DP	VS-71/73

Při pohybu ložiska je třeba překonávat určitý odporový moment. Jeho přesné stanovení je velmi obtížné. Je závislý na mnoha činitelích - zatížení, rychlosti otáčení, počtu kuliček atd. Přibližně jej lze určit ze vzorce

$$M = Q \cdot \left(f \cdot \frac{D_o}{d_k} + \frac{3}{32} \cdot \mu \cdot L \right)$$

kde Q - axiální zatížení

f - součinitel valivého tření. Jeho velikost je podle otáček 0,002 - 0,003

D_o - průměr oběžné dráhy

μ - součinitel kluzného tření. U axiálních ložisek je jeho hodnota přibližně 0,003.

L - délka obrysu kontaktní plošky, která se určí ze vztahu

$$L = 0,045 \sqrt{F_H \cdot d_k}$$

F_H - zatížení jedné kuličky

Pro kinematické vztahy v ložisku platí:

otáčí-li se jeden kroužek proti druhému otáčkami n , pak otáčky klece

$$n_s = \frac{n}{2}$$

a otáčky kuliček

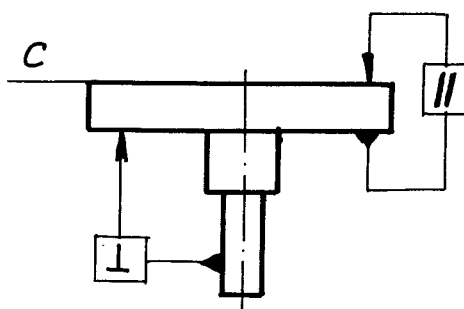
$$n_k = \frac{n}{2} \cdot \frac{D_o}{d_k}$$

VŠST Liberec	Studie kruhového otočného stolu	Katedra obráběcích strojů a metrologie	
Fakulta strojní		DP	VS-71/73

3.3. Konstrukce otočného stolu

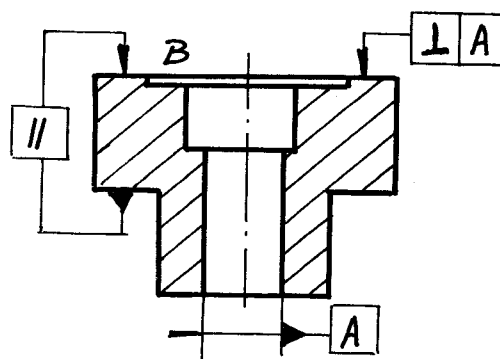
Klidný rotační pohyb stolu bude realizován na principu valivého uložení. Na jeho konstrukci jsou kladeny vysoké požadavky. V první řadě to je pečlivé vypracování valivých ploch z hlediska drsnosti povrchu a geometrických úchylek ploch.

U otočné části ložiska je nutno výrobně zajistit rovnoběžnost úložné a valivé plochy a dále kolmost vodičího čepu k valivé ploše /obr. 30 /.



OBR. 30

U pevné části ložiska požadujeme /viz obr. 31/ rovnoběžnost valivé plochy s plochou opěrnou a kolmost valivé plochy k ose otvoru, v němž bude zalisován vodičí čep. Pevná část ložiska je upevněna šrouby k úložné desce skříně. Vodorovná poloha plochy B se vyrovná po konečné montáži stavěcími šrouby. Prakticky se zřejmě bude vyrovnání provádět k ploše C /obr. 30/.



OBR. 31

Jako valivé elementy jsou v našem případě užity ocelové kuličky do valivých ložisek podle ČSN 02 3680.

VŠST Liberec	Studie kruhového otočného stolu	Katedra obráběcích strojů a metrologie	
Fakulta strojní		DP	VS-71/73

Vzhledem k vysoké požadované přesnosti uložení volíme kuličky stupně přesnosti 00, tzn. pro ϕ 10 mm, který použijeme, je třídící tolerance průměru 0,0004 mm a úchylka kulovitosti 0,0002 mm. Z dodaných kuliček by zřejmě bylo třeba vytrždit 10 - 12 ks se stejnými rozměry. Provedli bychom to např. pomocí koncových měrek a dvou nožových pravítek. Koncovými měrkami se nastaví určitý úkos mezery mezi pravítky. Kulička s určitým rozměrem propadne v místě, z jehož polohy a známého úkosu můžeme určit její rozměr.

3.4. Popis měřicího přístroje

V přiložené dokumentaci je navržena konstrukce dílenského měřicího přístroje. Naší snahou bylo co nej-jednodušší, ale přitom přesné a spolehlivé provedení.

Základ měřicího přístroje tvoří svařované těleso skříně. Pro větší názornost je vyznačena poloha a tvar svarů, i když to neodpovídá normám strojnického kreslení /svary se kreslí až na detailním výkrese/. Horní část skříně tvoří jemně obrobená deska, na které je přišroubováno jednak vlastní valivé uložení, jednak vedení snímače. Valivé uložení tvoří otočný stůl /pos. 5/, který se na soustavě kuliček, uložených v kleci /pos. 60, 38/ otáčí proti pevné části ložiska /pos. 6/. Stůl i deska jsou vyrobeny z chromové oceli 14 100, tepelně zpracované na vysokou tvrdost. Klec, vylišovaná z ocelového plechu, udržuje stálou rozteč a průměr oběžné dráhy kuliček. Čep otočného stolu zasahuje do prostoru skříně a je ukončen závitem. Na tento závit se našroubuje náboj. Přenos krouticího momentu je uskutečněn dvěma způsoby:

1.alternativa - je použit trojfázový **asynchronní** převodový motor PT 2C 62 C, který má 5 ot/min a záběrový moment asi 0,5 kpm. Na výstupním hřídeli převodovky je nasazen náboj s drážkou. Spojení je provedeno

VŠST Liberec	Studie kruhového otočného stolu	Katedra obráběcích strojů a metrologie	
Fakulta strojní		DP	VS-71/73

Oldhamovou spojkou, která dovoluje určitou nesouosost hřídele převodovky a osy stolu. Motor je přišroubován na základové desce, která se vloží zespoďu do skříně a upevní na lišty, přivařené na boku skříně. Sesazení spojky je možno kontrolovat montážním otvorem v čele skříně.

2.alternativa - pohon obstarává převodový motorek B 602. Na hřídeli převodovky je nasazen náboj, ve kterém jsou zalisivány dva kolíky. Na konci kolíků jsou otočně uloženy kuličky, které přenášejí otáčivý pohyb na další náboj, upevněný na hřídeli stolu. Lrážka vyfrézovaná v tomto náboji má větší šířku i hloubku než je průměr kuličky, což umožňuje spolehlivý chod i v případě nesouososti a nerovnoběžnosti hřidelů. Motor je nasazen a páskem přitažen k úhelníku. Úhelník se přišroubuje na základovou desku a ta se opět zespoďu připevní k tělesu skříně. I v tomto případě je možno montážním otvorem kontrolovat sesazení.

Při manipulaci se stolem musíme zaručit, že valivé uložení nebude trpět otřesy. Je proto provedena aretace stolu. V boční stěně skříně je vyvrtán otvor, vněmž je zalisována vodicí trubka. Šroubovákem lze tedy pohodlně otáčet šroubem, který je spojen s nábojem. Při otáčení náboje se posouvá vidlice, která odtlačuje hřídel otočného stolu směrem dolů a zamezí tím možným pohybům stolu vůči desce.

Jako měřicího zařízení se bude při dílenském měření používat elektroinduktivní snimač SID-1 s elektronickou aparaturou EL-1A. Těleso snimače je upevněno v držáku, který můžeme podle průměru měřené součásti axiálně vysouvat. Snimač lze přemísťovat také výškově. Držák snimače je umístěn v tělese, které se posouvá po přesném vodicím sloupku. Lo hřebenu přišroubovaného na sloupku zabírá pastorek a posouvá tak tělesem.

VŠST Liberec	Studie kruhového otočného stolu	Katedra obrátěcích strojů a metrologie	
Fakulta strojní		DP	VS-71/73

Aretaci tělesa i držáku zajišťují odtlačovací šrouby. Pro přesnou práci snimače musíme zaručit, aby osa vodičího sloupku byla rovnoběžná s osou otočného stolu. Sloupek je zalisován do příruby /pos. 4/ a je v ní tedy nepohyblivý. Jedinou možností, jak změnit jeho polohu vůči otočnému stolu, je změna polohy základny příruby. Protože se bude jednat o velmi malé změny, bude se úprava provádět zřejmě lapováním.

Mazání, ochrana proti prachu.

Protože valivé uložení přenáší poměrně malé zatížení a pohybuje se malou rychlostí, není třeba valivé plochy mazat. Kluzné uložení čepu musí být naopak mazáno dobře. Mazání se provádí v pravidelných intervalech otvorem v desce stolu, který je jinak zaslepen šroubem. Jako mazivo doporučujeme olej ES-3, který je vhodný ke zmírnění trhavých pohybů. Horní část přístroje je zakryta svařovaným krytem. Kryt zapadá do drážky vysoustružené v otočném stole a vytváří tak labyrintové těsnění.

4. Porovnání, zhodnocení

I když je obtížné srovnávat přístroj již hotový se vzorkem pouze navrženým, pokusíme se stručně zhodnotit výhody a nevýhody jednotlivých typů.

1. Pneumostatické uložení

Výhody: při práci ložiska nedochází ke styku otáčejících se částí, které jsou odděleny vzduchovou mezerou. Jsou tím odstraněny trhavé pohyby vznikající při malých rychlostech pohybu. Mechanické opotřebení ložiska je nulové. Kuželové uložení stolu zajišťuje přesný chod při souosém zatížení. Ložisko má malou spotřebu vzduchu a pracuje téměř bezhlučně.

VŠST Liberec	Studie kruhového otočného stolu	Katedra obráběcích strojů a metrologie	
Fakulta strojní		DP	VS-71/73

Nevýhody: potřeba tlakového zdroje. Vzduch napájející ložisko musí projít přes filtr a odlučovač vody a oleje. Výroba nosného kužele a kuželové dutiny v tělese je značně náročná /kužel se lapuje s tělesem na barvu/ a na konečném výsledku jsou silně závislé vlastnosti ložiska. Tloušťka vzduchové mezery musí totiž být konstantní, jinak ložisko nemá přesný chod /hází/. Pneumostatické ložisko špatně snáší excentrické zatěžování.

2. Valivé uložení

Výhody: ložisko dobře snáší excentrické zatěžování. Nepotřebuje zdroj tlakového vzduchu. Moment potřebný k pohonu ložiska je malý. Tuhost uložení je větší než u uložení pneumostatického.

Nevýhody: po určité době dojde k vyběhání valivých ploch, což může nepříznivě působit na přesnost chodu ložiska. Další zdroje nepřesností vznikají nestejným průměrem a tvarem kuliček. Je nutná ochrana před nečistotami /vzduchové ložisko je vyfukuje/.

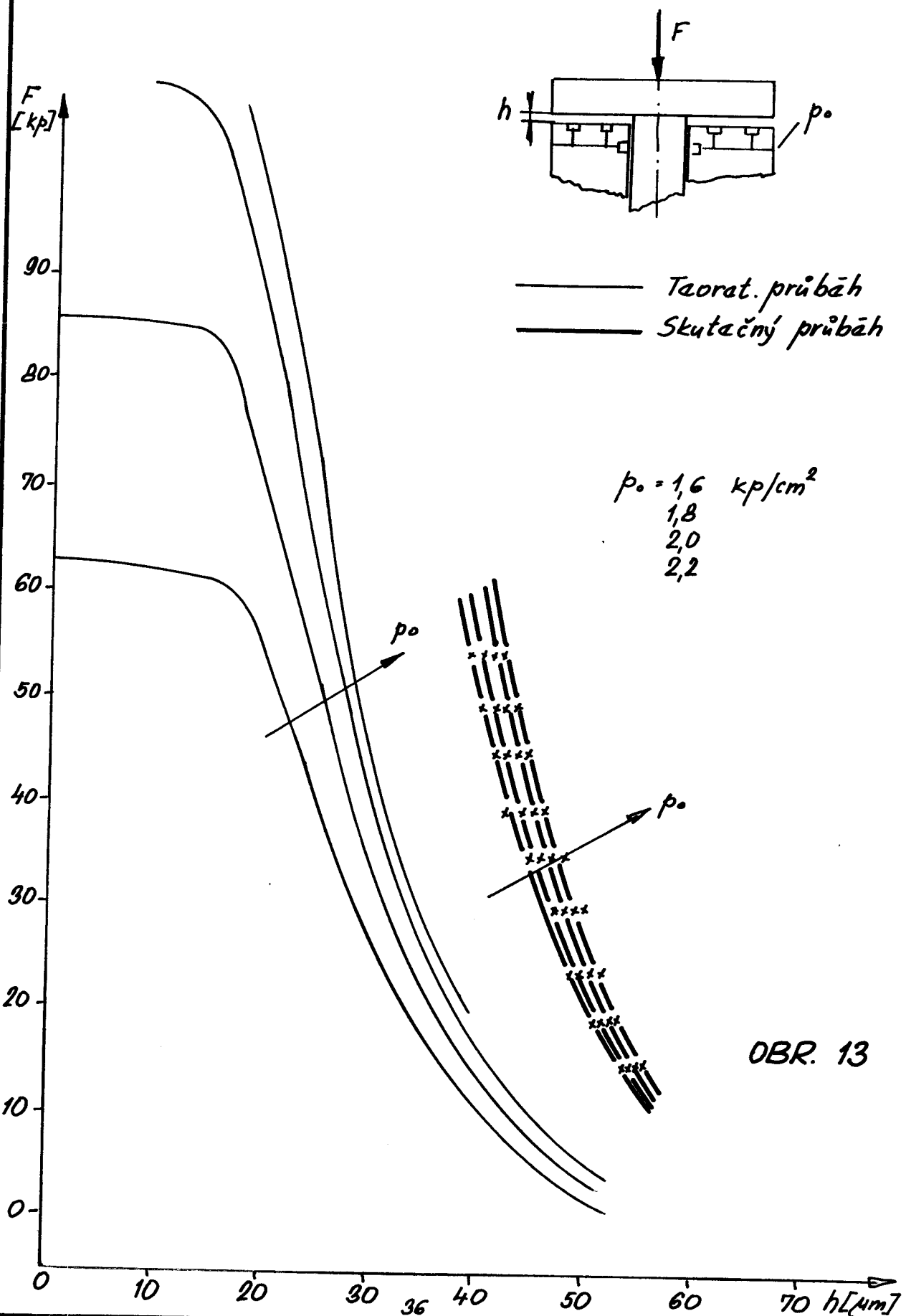
5. Závěr

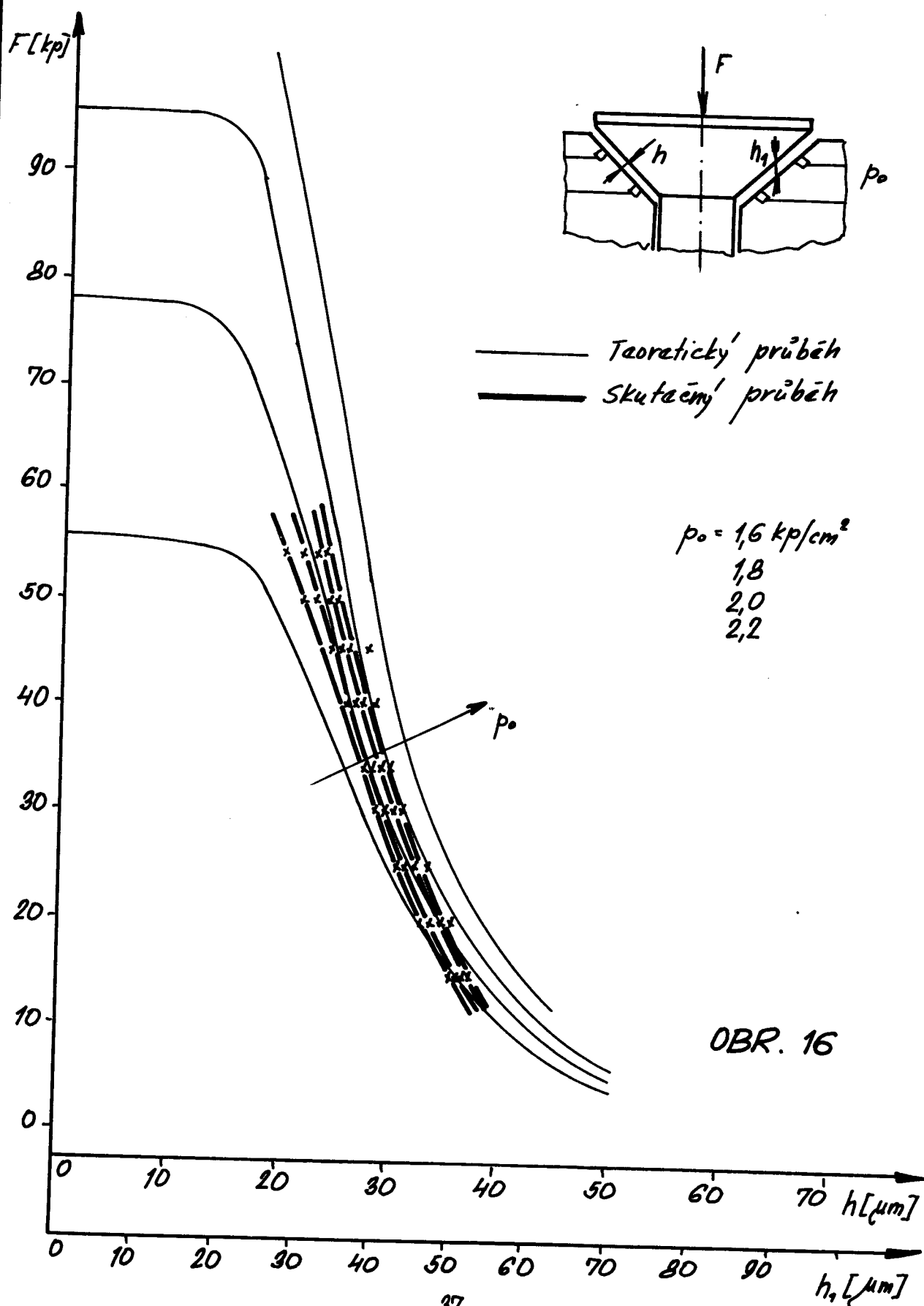
Obor měřicí techniky je velmi rozsáhlý. V naší práci jsme se soustředili na měřicí metody a přístroje pro měření kruhovitosti. Při konstrukci přístrojů je možno používat různé druhy uložení stolu. Podle výzkumů a zkoušek, které jsme prováděli, je nejvhodnější oboustranné pneumostatické uložení s nosným kuzelem a uložení valivé. Přesnost dosažitelná při použití těchto uložení je pro dílenské měření vyhovující.

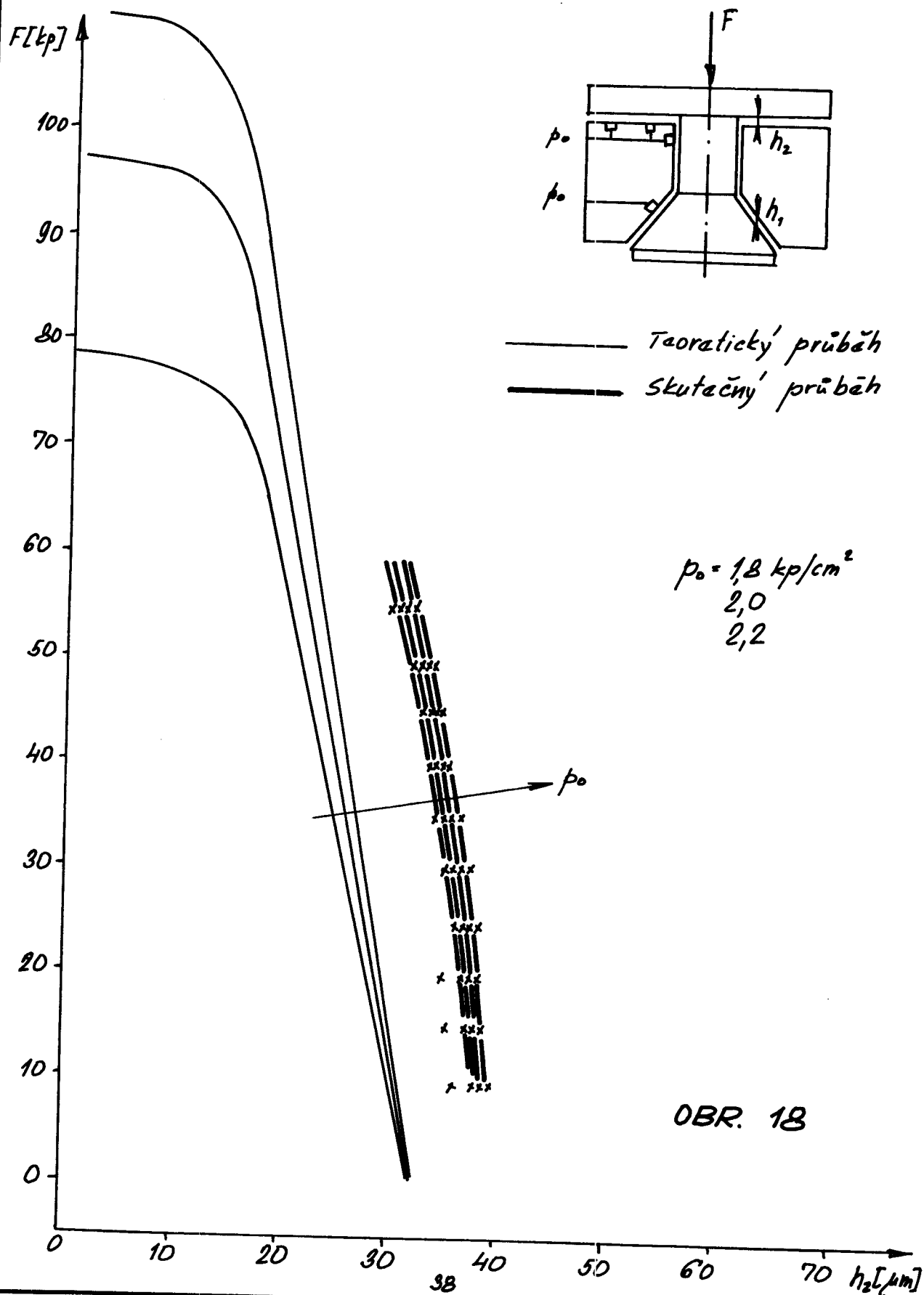
VŠST Liberec	Studie kruhového otočného stolu	Katedra obráběcích strojů a metrologie	
Fakulta strojní		DP	VS-71/73

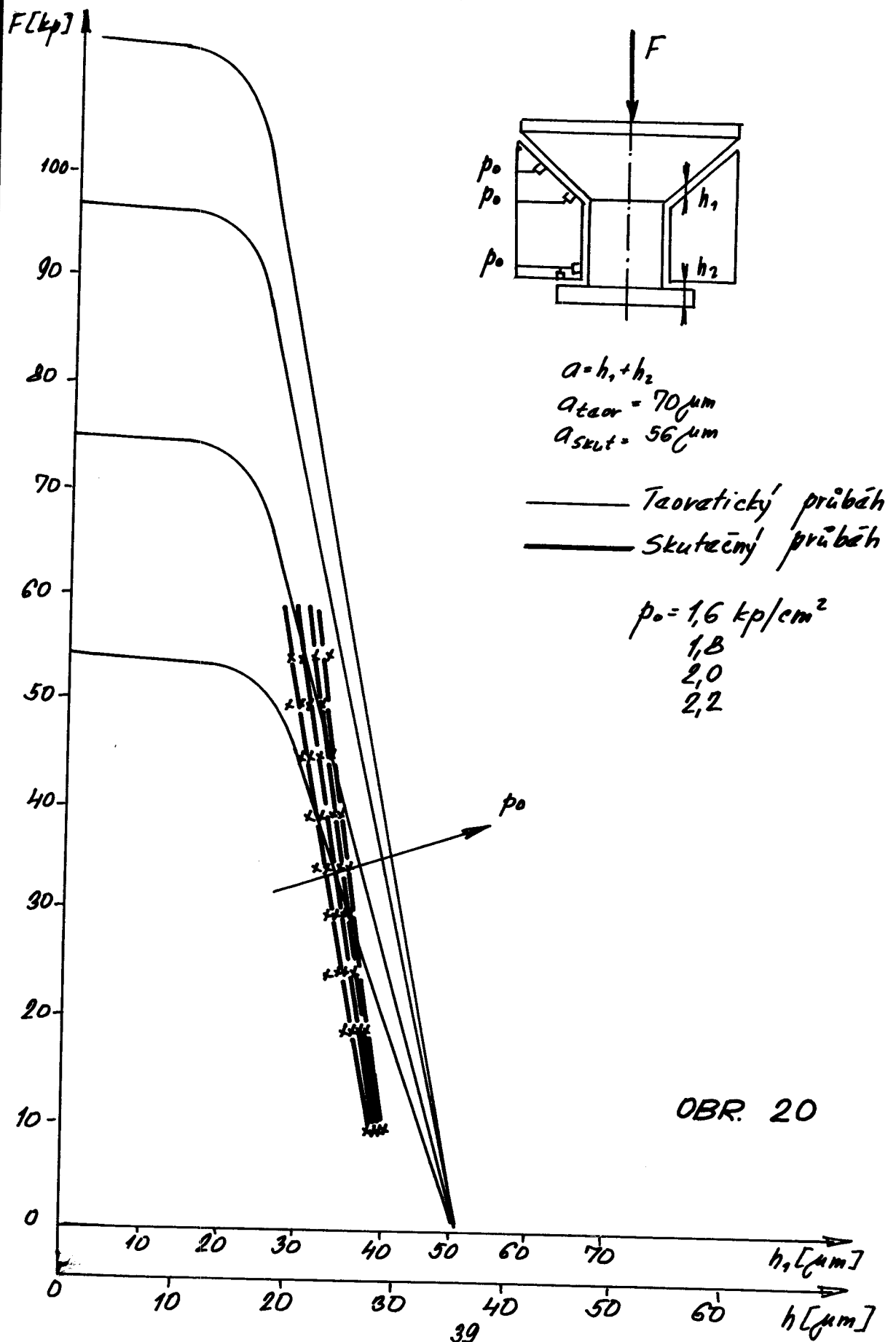
Nakonec bych chtěl poděkovat ing. J. Novákovi z KOS za velmi dobré vedení v době zpracování diplomové práce, doc. ing. V. Drábovi, CSc z KOS za pomoc při realizaci zkušebního vzorku, J. Nedělovi z vývojových dílen za zhotovení zkušebního vzorku a M. Čihulovi za pomoc při měření.

Pavel Fajgl



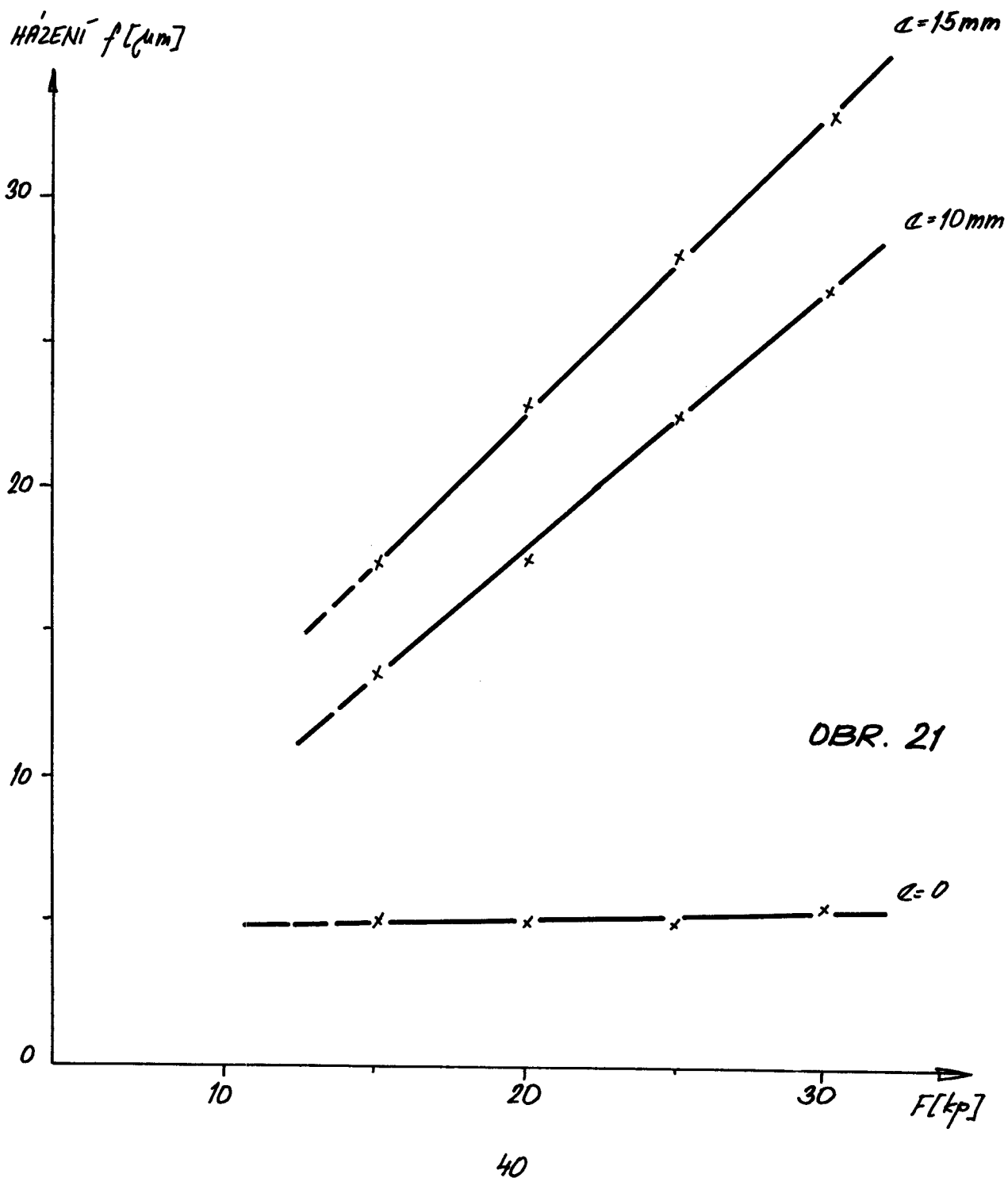






I. alternativa

$$p_0 = 2 \text{ kp/cm}^2$$

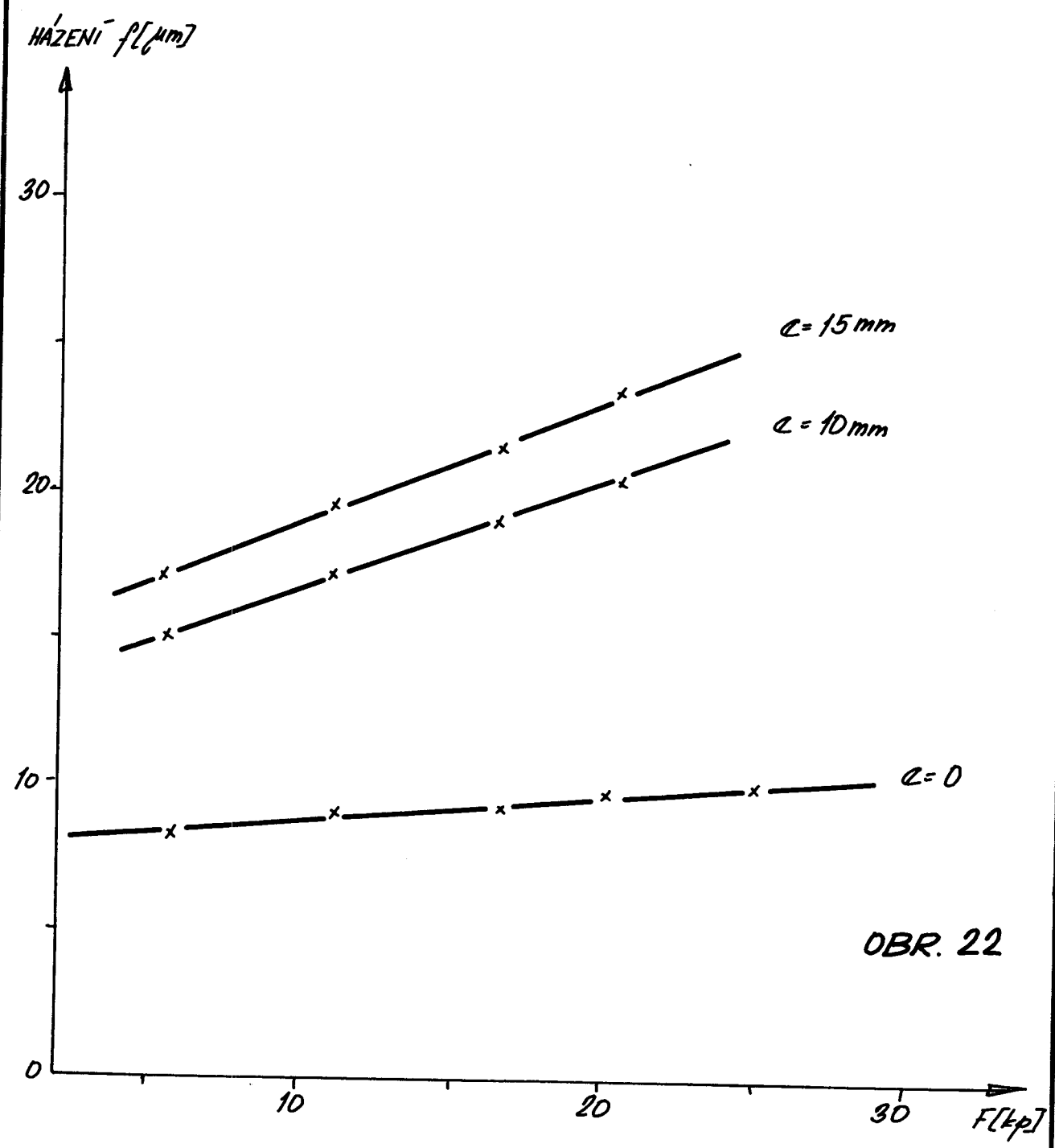
 $e = \text{excentricita}$ 

VŠST Liberec	Studie kruhového otočného stolu	Katedra obráběcích strojů a metrologie	
Fakulta strojní		DP	VS-71/73

II. alternativa

$$p_0 = 2 \text{ kp/cm}^2$$

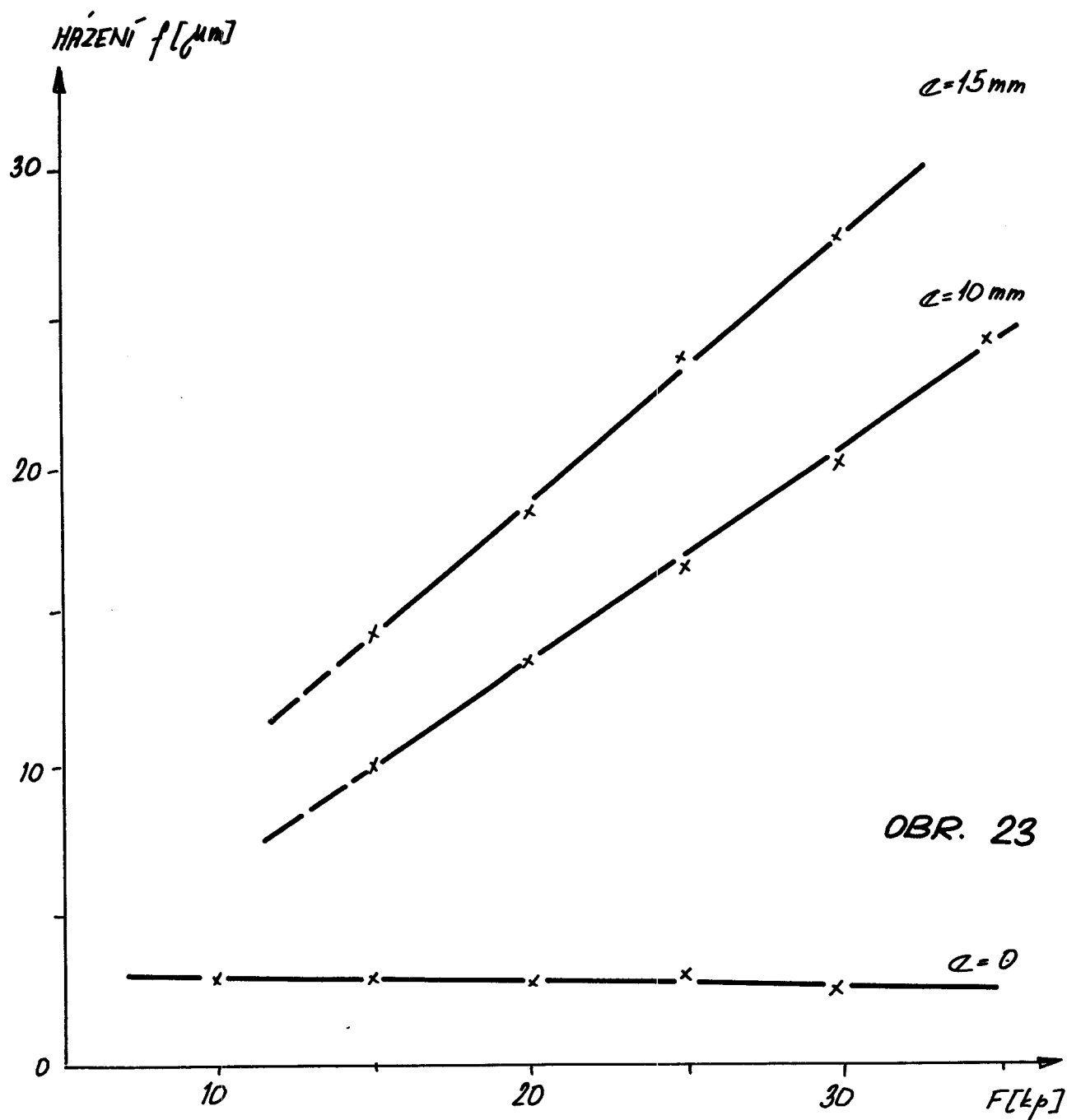
$e = \text{excentricita}$



OBR. 22

III. alternativa

$$p_0 = 2 \text{ kp/cm}^2$$

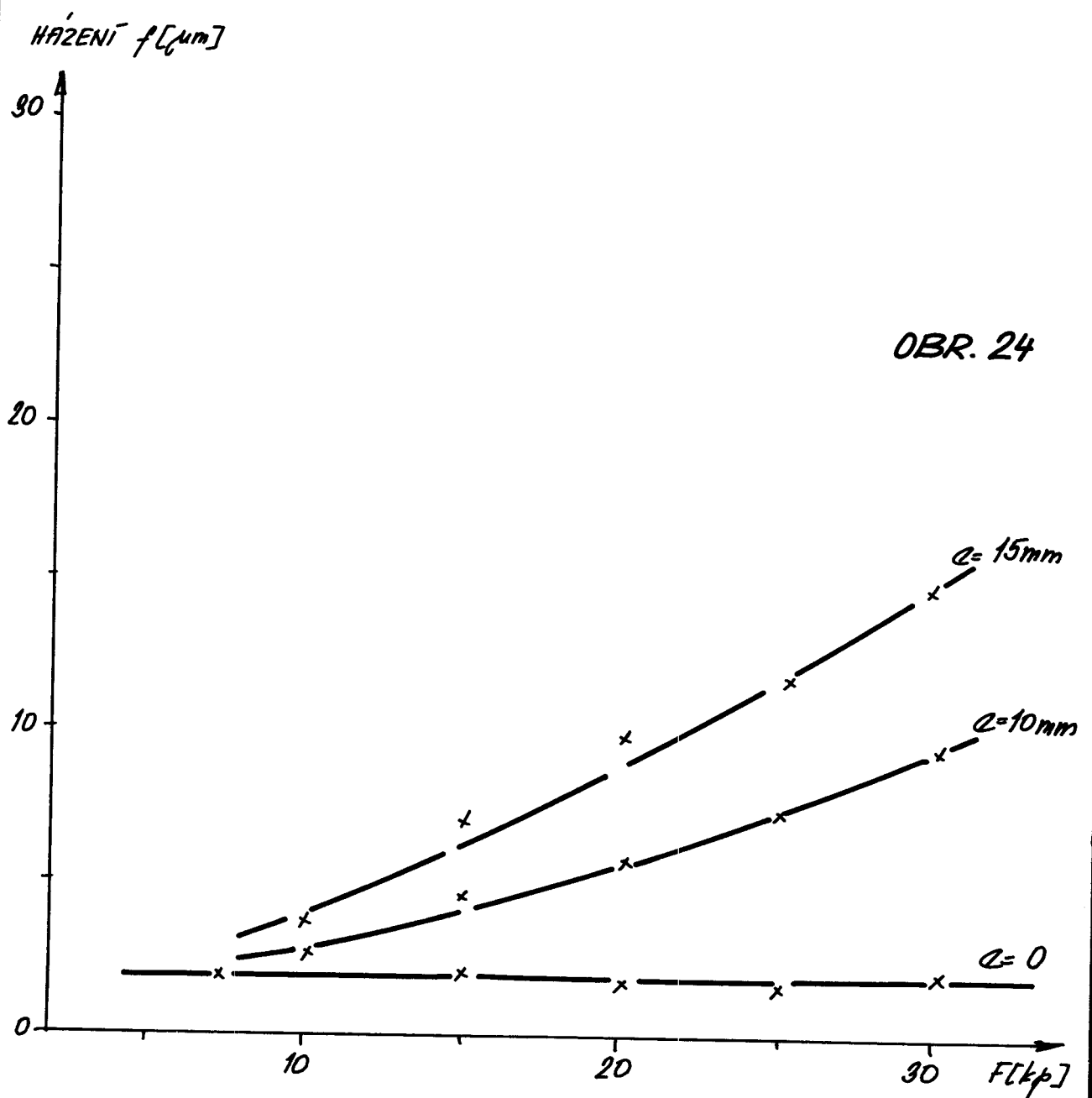
 $e = \text{excentricita}$ 

VŠST Liberec	Studie kruhového otočného stolu	Katedra obráběcích strojů a metrologie	
Fakulta strojní		DP	VS-T1/73

IV. alternativa

$$p_0 = 2 \text{ kp/cm}^2$$

$a = \text{excentricita}$



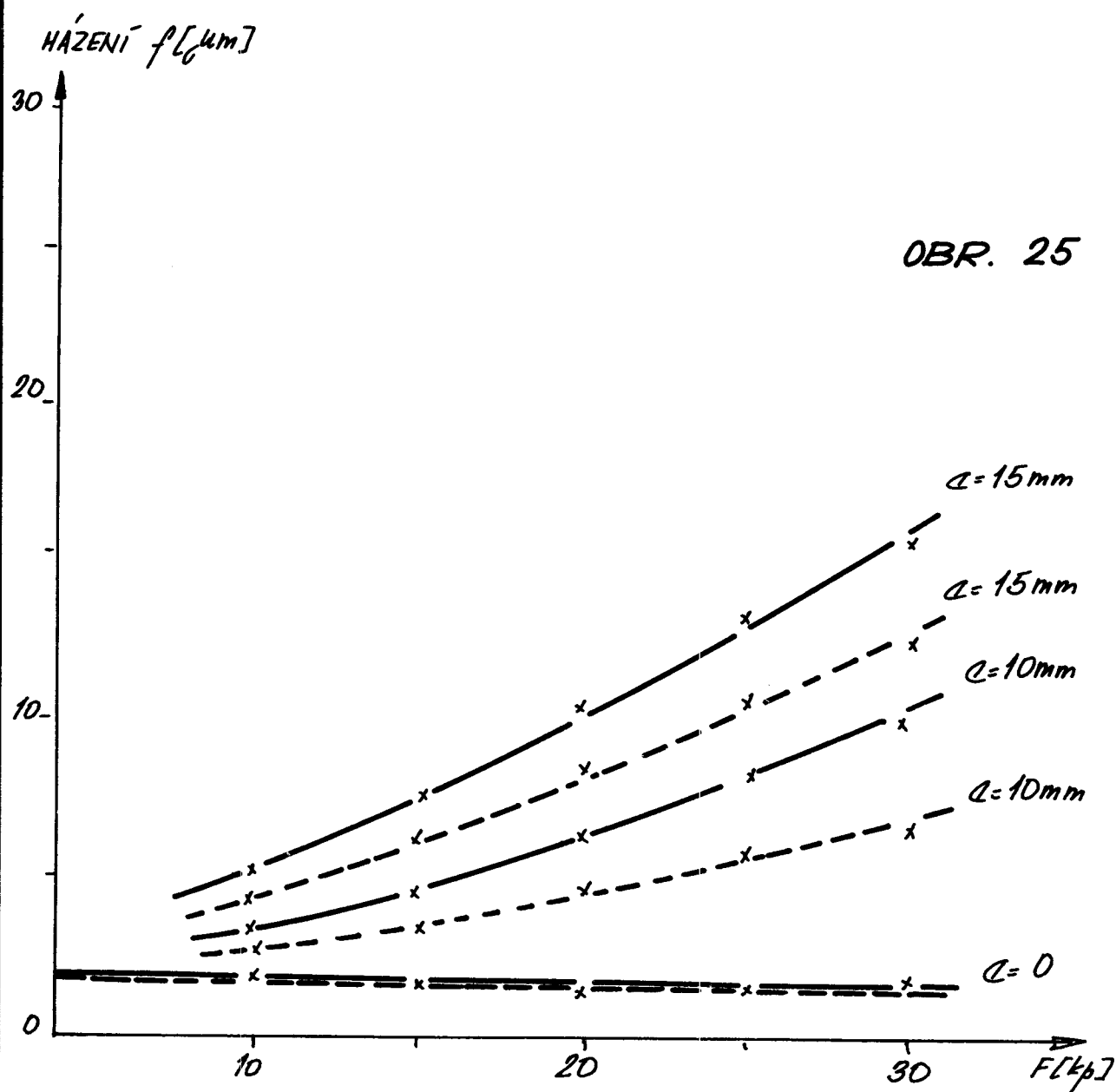
VŠST Liberec	Studie kruhového otočného stolu	Katedra obráběcích strojů a metrologie	
Fakulta strojní		DP	VS-71/73

IV. alternativa

———— $p_0 = 1,8 \text{ kp/cm}^2$

----- $p_0 = 2,2 \text{ kp/cm}^2$

$a = \text{excentricita}$



VŠST Liberec	Studie kruhového otočného stolu	Katedra obráběcích strojů a metrologie	
Fakulta strojní		DP	VS-71/73

Použitá literatura

- 1 J. Kratochvíl : Studie pneumatického uložení
otočného stolu
/ DP - VS - 61/72 /
- 2 A. Wiemer : Luftlagerung
/ Verlag Technik Berlin 1970 /
- 3 : ČSN 01 4403
- 4 J. Odvody : Metody měření úchylek kruho-
vitosti
/ Studijní zpráva V 725 A /
- 5 A. Palmgren : Základy techniky valivých
ložisek
- 6 J. Vinš : Kluzná ložiska
/ SNTL Praha 1970 /
- 7 N. Bejzelman : Podšipniki kačenijsa
- 8 : Valivá ložiska ZKL
/ SNTL Praha 1965 /
- 9 A. Němec : Části strojů III
/ SNTL Praha 1964 /

[illegible]