

DIPLOMNÍ ÚKOL

pro

Vratislava N a d ě j e

obor

strojírenská technologie

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

Název tématu: Měření řezných sil při ševingování

Pokyny pro vypracování:

- 1) Politicko-ekonomické zhodnocení zadání
- 2) Konstrukční řešení cejchovního zařízení pro jednotlivé složky řezné síly
- 3) Geometrie záběru při ševingování ozubených kol a studie průběhu řezných sil
- 4) Návrh a provedení technologických zkoušek v závislosti na otáčkách, posuvu a přísunu
- 5) Vyhodnocení a grafické zpracování výsledků tech.zkoušek

Autorské právo se řídí směrnicemi MŠK pro státní závěrečné zkoušky z. j. 31 727/62-III/2 ze dne 13. čer. 1962 a Měrník MŠK XVIII, sešit 24 ze dne 31. 8. 1962 a 1963 a příloha zákona č. 115/63 Sb.

VYSOKÁ ŠKOLA STROJNÍ A TEXTILNÍ
Ústřední knihovna
LIBEREC LAPOŠOVA 1

Rozsah grafických laboratorních prací: 5 - 10 výkresů

Rozsah průvodní zprávy: 40 - 50 stran

Seznam odborné literatury:

Výzkumné zprávy
Odborné časopisy
Dosevední práce katedry

Vedoucí diplomní práce: Doc. ing. Vojtěch Dráb

Konsultanti: Ing. Jan Novák

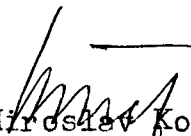
Datum zahájení diplomní práce: 30. srpna 1965

Datum odevzdání diplomní práce: 9. října 1965




Doc. ing. Vojtěch Dráb

Vedoucí katedry


Doc. ing. Miroslav Kořínek

Děkan

O b s a h .

1. Úvod	1
2. Geometrie záběru při ševingování	3
2.1. Princip dokončování ozubených kol ševingováním	3
2.2. Záběr ševingovacího nástroje a obrobku	6
2.3. Určení délky záběrové úsečky šroubového válcového soukolí	12
3. Řezné síly při ševingování	19
3.1. Dosavadní údaje o měření řezných sil	19
3.2. Dynamometr na ševingování	22
3.3. Konstrukční řešení cejchovacího zařízení	26
4. Měření řezných sil v závislosti na posuvu, přísluvu a otáčkách	28
4.1. Návrh zkoušek	28
4.2. Údaje o obrobku, nástroji, stroji a aparatuře	29
4.3. Vyhodnocení naměřených hodnot	33
5. Studie průběhu řezných sil a řezné rychlosti	39
5.1. Studie průběhu řezných sil	39
5.2. Studie průběhu řezné rychlosti	49
6. Závěr	52
7. Seznam literatury	54
8. Seznam příloh	55

VŠST LIBEREC	Měření řezných sil při ševingování ozubených kol.	DP — STR. 368/65
		9. ŘÍJNA 1965 1
		Vratislav Naděje

1. Ú v o d .

Rozvoj všech výrobních odvětví v národním hospodářství klade rostoucí nároky na náš průmysl. Je proto stále více zapotřebí užívat nových způsobů práce na dokonalejších strojích.

Urychlený technický rozvoj obráběcích strojů je důležitým předpokladem při zvyšování výrobnosti celého našeho průmyslu. S rostoucími nároky na výkonnost, účinnost a klidný chod strojů jsou kladeny stále vyšší požadavky na pohybové součásti mechanismů a z nich zvláště na ozubená kola, pokud jde o geometrickou přesnost.

Ozubená kola se hrubují výkonnými odvalovacími metodami, takže výrobní časy jsou krátké. Dokončování se provádí u přesného ozubení broušením po tepelném zpracování (cementaci a kalení). Jde o operaci nákladnou a dlouhou, která vyžaduje speciální stroje, většinou dovážené.

Proto je v posledních letech nákladné a zdlouhavé broušení nahrazováno ševingováním, které je až 10x výkonnější než broušení. V mechanizovaných a automatisovaných provozech má ševingování plné technické a ekonomické uplatnění. Z předností je možno kromě uvedené vysoké produktivity

uvést přesnost, jakost povrchu, jednoduchou konstrukci a obsluhu stroje i značnou trvanlivost nástroje. Nedostatkem je vysoká cena nástroje, jeho pracný výpočet, náročné zhotovení a ostření. Vyšší pozornost je nutno také věnovat hrubování ozubení.

Na rozdíl od broušení se ševingováním obrábějí ozubená kola před tepelným zpracováním. Následující tepelné zpracování musí být tedy takové, aby při něm vznikla co nejmenší deformace ozubení. Z tohoto důvodu nevyhovuje cementace a kalení, ale na příklad nitrocementace.

Ševingování nalézá uplatnění nejen v automobilovém průmyslu s hromadnou výrobou, ale i v maloseriové výrobě velkých ozubených kol.

Jelikož je ševingování operace dokončovací, přesnost vyráběného ozubení záleží značně na tuhosti obráběcího stroje. Z toho důvodu je nutné správně dimenzovat hřídele a ložiska nástroje i obrobku. To lze provést jedině při znalosti sil, které v průběhu ševingovacího procesu vznikají. Měřením těchto sil se zabývá tato práce.

VŠST LIBEREC	Měření řezných sil při ševingování ozubených kol.	DP — STR. 368/65
		9. ŘÍJNA 1965 3
		Vratislav Naděje

2. G e o m e t r i e z á b ě r u
p ř i š e v i n g o v á n í .

2.1. Princip dokončování ozubených kol
ševingováním.

Ševingovací nástroj na evolventní ozubení je korigované ozubené kolo se šikmými zuby, na jehož evolventních bocích zubů jsou zhotoveny drážky (viz fotografie v příloze 2b). Tím se vytvoří řada řezných hran, které při vmačknutí do obrobku odebírají vlivem řezného pohybu jemné třísky. Aby se tento řezný pohyb vytvořil, ustavujeme nástroj vzhledem k obrobku do polohy záběru dvou ozubených kol se šikmými zuby a mimoběžnými osami - jedná se tedy o šroubové soukolí. Vzniklý relativní skluz zubů ozubení je vlastní řezný pohyb (bližší viz kapitola 5.2.). Aby nastalo opracování boků zubů po celé délce, vykonává obrobek posuv a to několika způsoby:

a) ve směru osy obráběného kola při podélném ševingování. Tato metoda má význam u širokých ozubených kol, jinak je překonána metodou diagonální.

b) příčně u tangenciálního ševingování. Tohoto způsobu se dnes nepoužívá pro jeho menší přesnost. Zanechává vlnitý povrch od řezných hran, neboť obrobek se osově neposouvá.

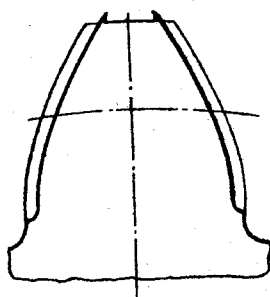
Obr. 1

Šikmým (diagonálním) ševingováním se získá zub mírně soudečkový, což je žádáno pro snížení hluku ozubení a zabránění rohového záběru.

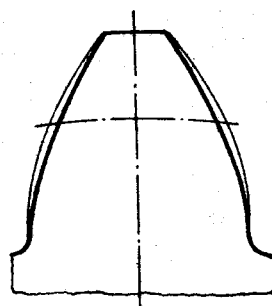
Hrubování ozubených kol pro ševingování.

Výroba ozubených kol určených k ševingování se provádí hrubovací odvalovací frézou. Tato fréza vytvoří hlubší patu zubu obráběného kola a přídavek na boku zubu. Velikost přídavku se určuje podle modulu a průměru roztečné kružnice.

Úběr třísek při ševingování ozubených kol, které mají přídavek nemodifikovaný, vypadá takto (obr. 2).



Obr. 2



Obr. 3

Hlava ševingovacího nástroje ubírá příliš tlustou třísku. Tím trpí nástroj a konečná přesnost je menší. Na hlavě zubů ševingovaného kola vznikají ostřiny, které je nutno další operací odstranit.

Tyto nevýhody odstraňuje modifikovaný přídavek podle obr. 3. Hlava i pata zubů ševingovaných kol je bez přídavku na obrábění. Ševingovací nástroj je tak při práci odlehčen na nejchoulostivějším místě - na hlavě a u ševingovaných kol nevznikají na hlavě ostřiny. Proti normálním

přídavkům se objem ubíraného materiálu snižuje až o 35%. Činná délka ostří břitů je zde kratší než u přídavků nemodifikovaných. Tím se značně snižuje tlak mezi zuby nástroje a ševingovaného kola. To vysvětluje podstatné zvýšení přesnosti ševingovaných kol, u nichž byly přídavky takto modifikovány.

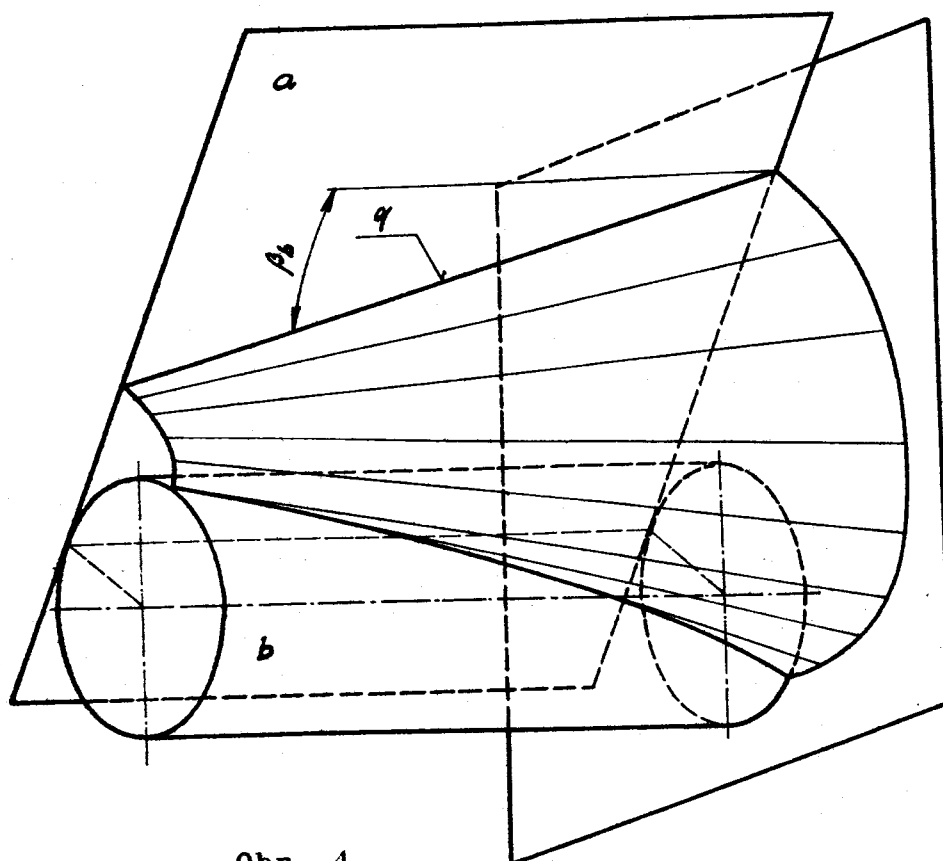
2.2. Záběr ševingovacího nástroje a obrobku.

Znalost geometrie záběru ševingovacího nástroje s obrobkem je důležitá pro konstrukci ševingovacího nástroje a pro stanovení průběhu řezných sil.

Ševingovací nástroj a obrobek představují záběr šroubového válcového soukolí, kde jeden ze zabírajících členů je volně otočný v hrotech. Současně s odvalem dochází k posuvu obrobku. Ten při teorii záběru nebude zatím uvažován. Při odvození teorie záběru vyjdeme z toho, jak je zub nástroje vytvořen.

Evolventní šroubová plocha.

Bok zubu ševingovacího nástroje, to znamená ozubeného kola se šikmými zuby, je tvořen evolventní šroubovou plochou, jejíž vznik je znázorněn na obr. 4.

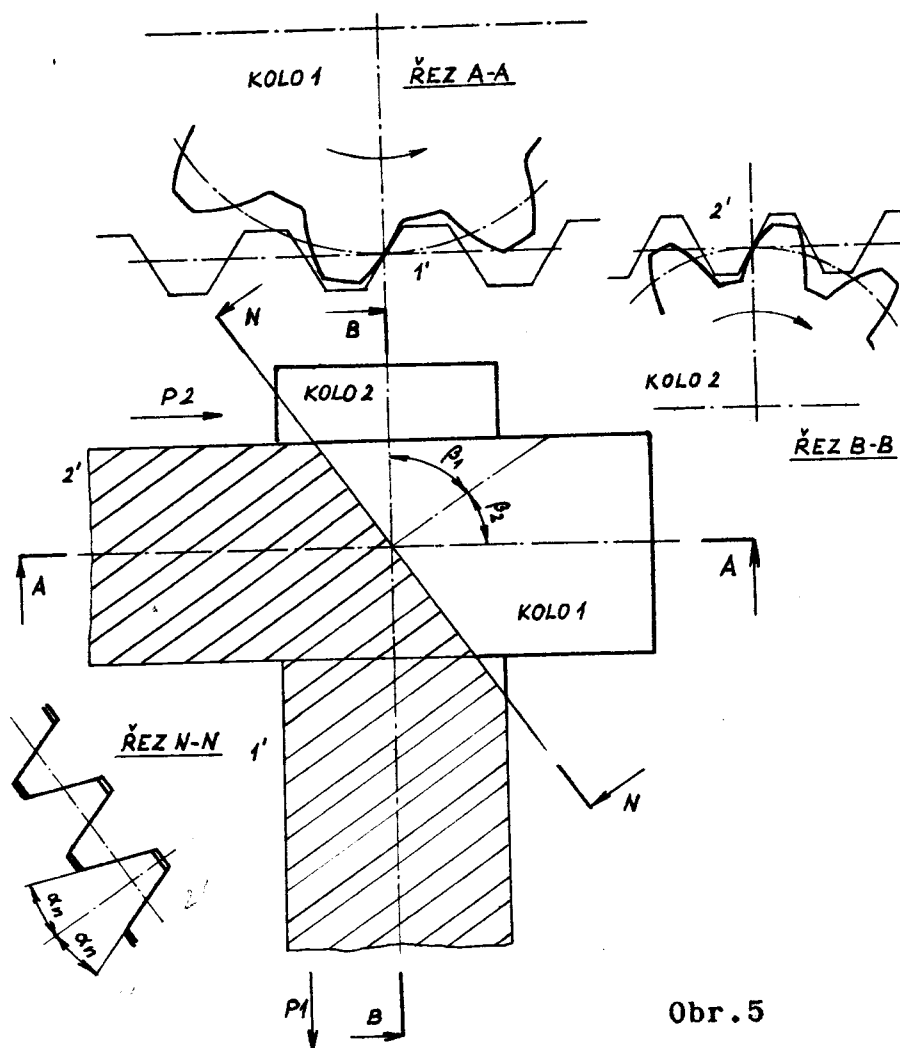


Obr. 4

Navineme-li základní rovinu a na základní válec b, opisuje přímka q evolventní šroubovou plochu. Přímka q leží v základní rovině, je skloněna pod úhlem β_b a nazývá se tvořící přímka. Úhel β_b je úhel sklonu tvořící přímky nebo také úhel sklonu zubu na základním válci.

Základní hřebeny válcového šroubového soukolí.

Pro objasnění záběru válcového šroubového soukolí je výhodné představit si tento záběr s myšlenými základními hřebeny (obr. 5), které vložíme mezi obě kola. Tím se představa záběru zjednoduší.



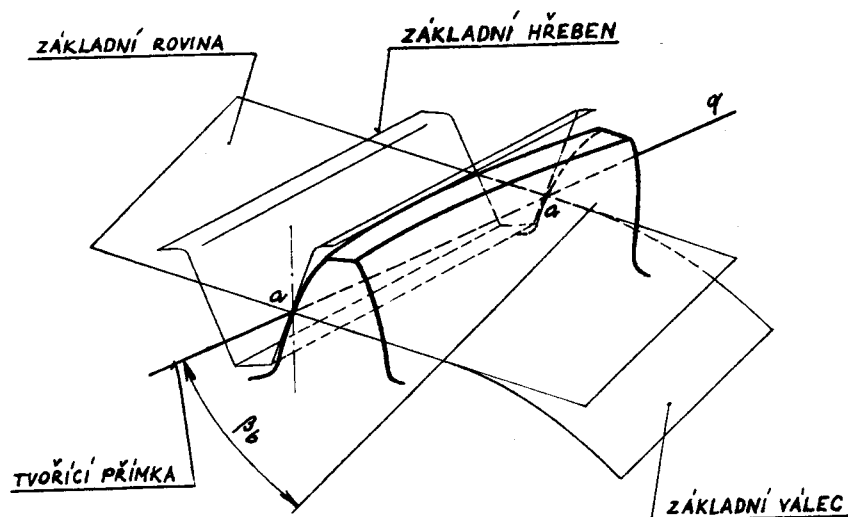
Obr. 5

Boky zubů základních hřebenů se v místech záběru vzájemně ztotožňují. Záběr šroubového válcového soukolí se základními hřebeny si pak lze představit takto: hnací ozubené kolo 1 se zašroubovává do základního hřebene 1' a posouvá ho ve směru šipky P1. Posouvající se základní hřeben 1' posouvá základním hřebenem 2' ve směru šipky P2 a současně otáčí ozubeným kolem 2. V normálním řezu N-N odpovídají profily zubů základních

hřebenů profilu základního hřebene podle
ČSN 04 4607.

Záběr základního hřebene s ozubeným kolem
čelním se šikmými zuby.

Šroubové válcové soukolí je vytvořeno
ze dvou ozubených kol čelních, která mají šikmé
zuby a mimoběžné osy. Jak bylo uvedeno, má každé
ozubené kolo svůj základní hřeben.



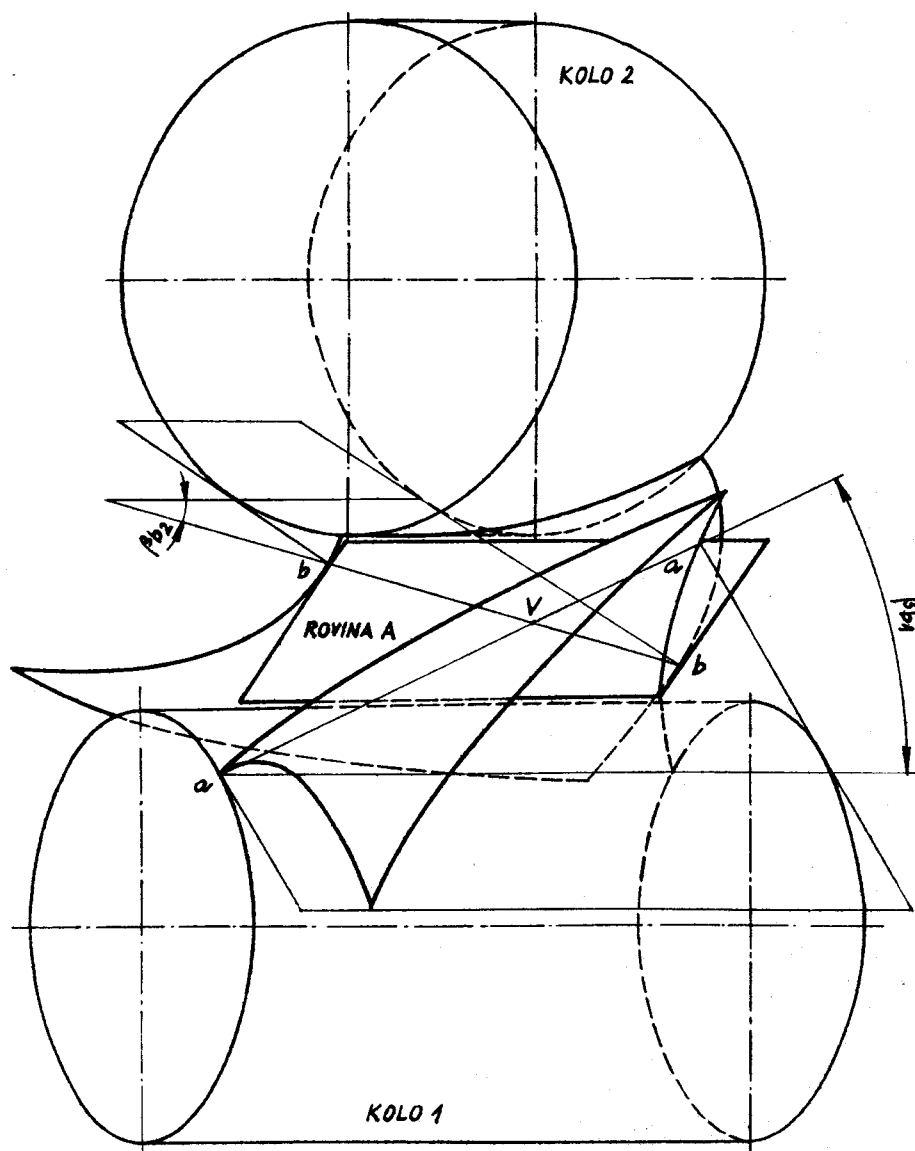
Obr. 6

Na obr.6 je znázorněn záběr ozubeného kola
čelního se šikmými zuby se základním hřebenem.
Bok zubu kola (i hřebene) může být vytvořen
tvořící přímkou q , která leží v základní rovině.
Základní rovina protíná bok zubu kola i hřebene
úsečkou $a-a$ na tvořící přímce q . Proto je tato
úsečka geometrickým místem styku základního
hřebene a ozubeného kola. Bok zubu základního
hřebene (obr.5) má v normální rovině úhel

záběru α_n . Proto bok zubu základního hřebene svírá se svou roztečnou rovinou úhel $90^\circ - \alpha_n$.

Sklon záběrové přímky šroubového soukolí.

Záběr šroubového válcového soukolí si lze rozložit na dva případy záběru ozubeného kola čelního se šikmými zuby se základním hřebenem, jehož boky jsou společné pro obě kola. Na obr.7 je bok zubu základního hřebene nahrazen rovinou A.



Obr. 7

Tvořící přímka a-a je potom geometrickým místem dotyku ozubeného kola 1 s rovinou A (se základním hřebenem) a tvořící přímka b-b je geometrickým místem dotyku ozubeného kola 2 s rovinou A. Jelikož obě přímky a-a a b-b leží v jedné rovině a jsou různoběžné, mají společný pouze jeden bod V. Tento bod je jediným bodem dotyku spolu zabírajících boků zubů.

Pootočí-li se ozubené kolo 1 a rovina A se přemísťuje ve směru na ni kolmém, nezmění se ani poloha úseček a-a, b-b, ani jejich průsečíku V. Jelikož se rovina A přemísťuje, ale bod záběru V, který leží na záběrové přímce soukolí zůstává stálý, musí být přímka záběru šroubového soukolí kolmá na rovinu A a musí ležet v obou základních rovinách. Může to být proto jen průsečnice základních rovin. Jinými slovy: jelikož základní roviny jsou kolmé k rovině A a protínají ji v přímkách a-a a b-b, je k rovině A také kolmá průsečnice základních rovin, která protíná rovinu A v bodě V. Průsečík V je okamžitým bodem záběru obou boků zubů a průsečnice základních rovin je záběrovou přímkou šroubového soukolí.

Rovina A svírá s rovinou rovnoběžnou s osami kol úhel $90^\circ - \alpha_n$. Proto bude záběrová přímka, která je kolmá k rovině A svírat s rovinou rovnoběžnou s osami kol úhel α_n . Jelikož

však leží v průsečíku obou tvořících přímek a-a a b-b a je kolmá k rovině A, musí být skloněna v základních rovinách pod úhlem β_1 a β_2 vzhledem k čelům ozubených kol a pod úhlem $90^\circ - \beta_1$ a $90^\circ - \beta_2$ vzhledem k osám kol.

2.3. Určení délky záběrové úsečky šroubového válcového soukolí.

V předešlé kapitole byla podrobně objasněna poloha záběrové přímky šroubového soukolí. Nyní můžeme přistoupit ke stanovení délky záběrové úsečky, která bude potřebná při rozboru řezných sil. Délka záběrové úsečky šroubového soukolí se určuje graficky nebo početně.

Grafické určení délky záběrové úsečky.

Ke grafickému určení délky záběrové úsečky je nutno nejdříve vypočítat čelní úhly záběru nástráže a obrobku.

Čelní úhel záběru ozubených kol válcového šroubového soukolí je stejný s úhlem záběru příslušného základního hřebene v řezu rovnoběžném s čelní rovinou ozubeného kola (obr. 8).

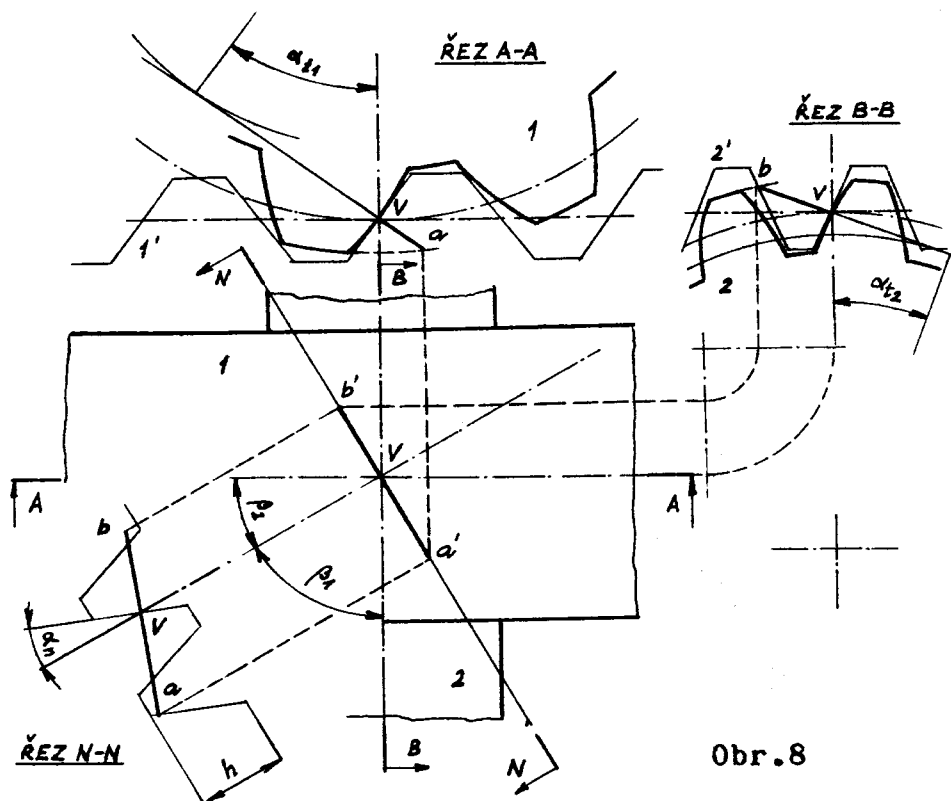
Jelikož výška zubu v libovolném řezu základním hřebenem je konstantní, předpokládáme $h = 1$.

Čelní úhel záběru se pak vypočítá z rovnice / 2 /.

$$\operatorname{tg} \alpha_t = \frac{\operatorname{tg} \alpha_n}{\cos \beta}$$

Známe-li čelní úhly záběru α_{t1} , α_{t2} , lze nakreslit řezy A-A a B-B na obr. 8. Potom se určí

graficky průměty záběrových úseček v čelních rovinách a v půdorysu a délka záběrové úsečky v normálním řezu.



Obr.8

V řezu A-A je nakreslen záběr ozubeného kola 1 se základním hřebenem 1'. Základní rovina, která prochází bodem V je skloněna v čelní rovině pod čelním úhlem záběru α_{t1} . V řezu B-B je nakreslen záběr ozubeného kola 2 se základním hřebenem 2'. Základní rovina prochází opět bodem V a je skloněna v čelním řezu pod čelním úhlem záběru α_{t2} . Stejně jako u ozubených kol s přímými zuby ohraničuje i zde hlavový válec ozubeného kola 1 záběrovou úsečku v jednom směru a hlavový válec ozubeného kola 2 v druhém směru. Řez N-N představuje

normální řez základními hřebeny válcového šroubového soukolí a je v něm vidět skutečná délka záběrové úsečky.

Početní určení délky záběrové úsečky.

Pro výpočet délky záběrové úsečky šroubového soukolí je třeba znát tyto základní pojmy:

R_{a1} poloměr hlavového válce kola 1 (nástroje)

R_{a2} poloměr hlavového válce kola 2 (obrobku)

R_1 poloměr roztečného válce kola 1

R_2 poloměr roztečného válce kola 2

R_{b1} poloměr základního válce kola 1

R_{b2} poloměr základního válce kola 2

α_{t1} čelní úhel záběru kola 1

α_{t2} čelní úhel záběru kola 2

α_n úhel záběru v normálním řezu

β_1 úhel sklonu zubu kola 1 na roztečném válci

β_2 úhel sklonu zubu kola 2 na roztečném válci

β_{b1} úhel sklonu zubu kola 1 na základním válci

β_{b2} úhel sklonu zubu kola 2 na základním válci

t_n rozteč zubu zákl. hřebene v normálním řezu

t_{bn} základní rozteč v normálním řezu

t_{bt1} základní rozteč v čelním řezu kola 1

t_{bt2} základní rozteč v čelním řezu kola 2

$m_n (\pm x_1 \pm x_2)$ součet posunutí profilu kola 1 a 2

ε součinitel trvání záběru

Délka záběrové úsečky l_n se pak vypočítá podle rovnice / 2 /:

$$l_n = \frac{\sqrt{R_{a1}^2 - R_{b1}^2} - R_1 \sin \alpha_{t1}}{\cos \beta_{b1}} + \frac{\sqrt{R_{a2}^2 - R_{b2}^2} - R_2 \sin \alpha_{t2}}{\cos \beta_{b2}} - \frac{\pm (x_1 + x_2) m_n}{\sin \alpha_n}$$

Znaménko + platí pro zvětšení vzdálenosti os,

znaménko - pro zmenšení vzdálenosti os.

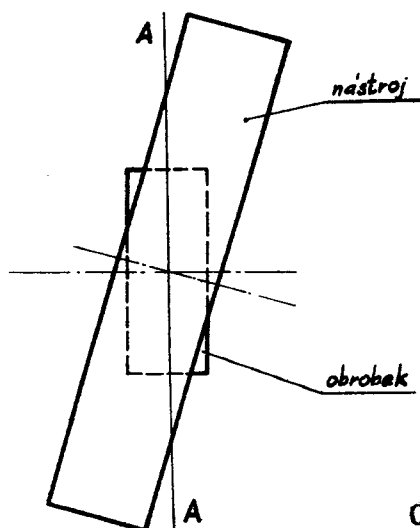
Součinitel trvání záběru ε se vypočítá z rovnice:

$$\varepsilon = \frac{l_n}{t_{bn}}$$

Grafické a početní určení délky záběrové
úsečky v konkrétním případě.

Všechny zkoušky při měření řezných sil byly provedeny na obrobcích o modulu 4,5 s pří-
mými zuby, nástroje je tedy také o normálním modu-
lu 4,5 se šikmými zuby a sklonem šroubovice
 $\beta_1 = 15^\circ$.

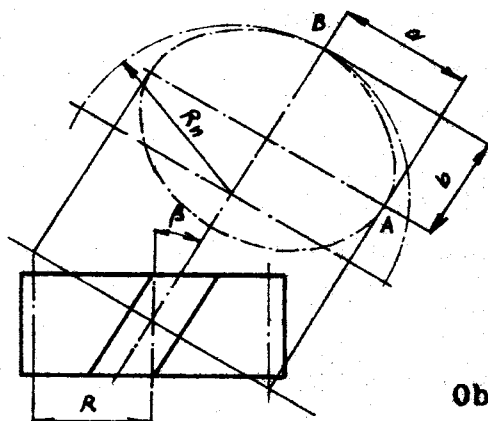
Obecné grafické znázornění se v tomto
případě zjednoduší vlivem toho, že obrobek má
přímé zuby. Není třeba kreslit dva řezy jako
v obecném případě (obr.8). Záběrová přímka je
v našem případě v průmětu kolmá na osu obrobku
podle obr. 9. V řezu A-A, v němž je dán úhel zá-
běru 20° , je vidět její skutečná délka. To vyho-
vuje obecnému případu, neboť stále platí, že zá-
běrová přímka svírá v základní rovině nástroje
s čelem nástroje úhel β_{b1} a v základní rovině ob-
robku s čelem obrobku úhel β_{b2} , který se v našem
případě rovná nule.



Obr.9

Skutečnou délku záběrové úsečky dostaneme tedy v řezu kolmém na osu obrobku.

Řez roztečným válcem nástroje (jedná se o řez válce rovinou, která není kolmá na jeho osu), bude elipsa o poloosách a a b . Část elipsy u vrcholu B (obr.10) lze nahradit kružnicí, kterou přisoudíme t.zv. porovnávacímu kolu, jehož rozteč je shodná s normálnou roztečí kola se šikmými zuby.



Obr.10

Pro výpočet poloměru roztečné kružnice porovnávacího kola platí vzorec / 1 /: $R_n = \frac{R}{\cos^2 \beta}$

Vzorce lze použít i pro výpočet náhradní kružnice hlavové. Pro nakreslení řezu A-A je nutno znát tyto hodnoty:

Nástroj: $R_{a1} = 128,5 \text{ mm}$

$\beta = 15^\circ$

$R_{a1n} = 138 \text{ mm}$

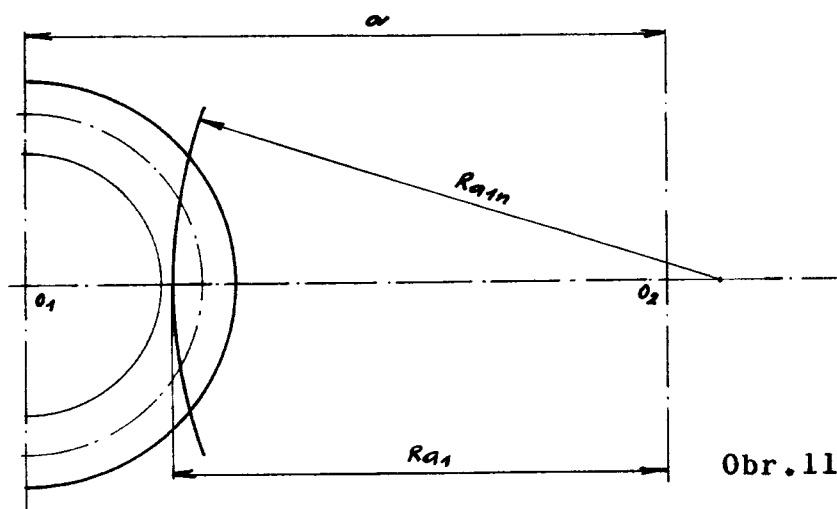
Obrobek: $R_2 = 54 \text{ mm}$

$R_{a2} = 58,5 \text{ mm}$

$R_{b2} = 50,8 \text{ mm}$

Vzdálenost os $a = 178 \text{ mm}$

Schema konstrukce řezu A-A je na obr.11.



Obr.11

Gdečtením byla zjištěna délka záběrové úsečky
 $l_n = 23 \text{ mm}$ (dle přílohy1).

Početní stanovení délky záběrové úsečky.

Pro výpočet délky záběrové úsečky použijeme rovnici na str.14.

Potřebné údaje:

$$R_{a1} = 128,5 \text{ mm}$$

$$R_1 = \frac{z_1 \cdot m_n}{2}$$

$$R_1 = \frac{53 \cdot 4,67}{2} = 123,5 \text{ mm}$$

$$\alpha_{t1} = 20^\circ 40'$$

$$\beta_{b1} = 14^\circ$$

$$R_b = 115,5 \text{ mm}$$

$$R_{a2} = 58,5 \text{ mm}$$

$$R_2 = 54,0 \text{ mm}$$

$$R_{b2} = 50,8 \text{ mm}$$

$$z_1 = 53 \quad m_n = 4,5 \quad \beta_1 = 15^\circ$$

$$m_n = \frac{m_n}{\cos \beta_1} = \frac{4,5}{0,965} = 4,67$$

$$\alpha_n = 20^\circ$$

$$\tan \alpha_{t1} = \frac{\tan \alpha_n}{\cos \beta_1} = \frac{0,363}{0,965} = 0,376$$

$$\sin \beta_{b1} = \cos \alpha_n \cdot \sin \beta_1 / 2$$

$$= 0,939 \cdot 0,258 = 0,242$$

$$R_{b1} = R_1 \cdot \cos \alpha_{t1} = 123,5 \cdot 0,935 = 115,5 \text{ mm}$$

$$R_{b2} = R_2 \cdot \cos \alpha_n = 54 \cdot 0,939 = 50,8 \text{ mm}$$

$$\beta_{b_2} = 0^\circ$$

$$x_1 = 0,1 \text{ mm}$$

$$x_2 = 0$$

$$l_n = \frac{128,5^2 - 115,5^2 - 123,5 \cdot 0,353}{0,970} + \frac{58,5^2 - 50,8^2 - 54 \cdot 0,342}{1} - \frac{-0,1 \cdot 4,5}{0,342}$$

$$= \frac{56,5 - 43,6}{0,970} + \frac{28,6 - 18,5}{1} + \frac{0,45}{0,342} = 13,3 + 10,1 + 1,3 = 24,5$$

$$\underline{\underline{l_n = 24,5 \text{ mm}}}$$

Výpočet součinitele ε :

$$t_{bn} = 13,3 \text{ mm}$$

$$t_{bn} = t_{bt_2} \cdot \cos \beta_{b_2} / 2$$

$$t_{bt_2} = t_2 \cdot \cos \alpha_{t_1}$$

$$\alpha_{t_1} = \alpha_n$$

$$t_{bt_2} = 14,13 \cdot 0,939 = 13,3$$

$$t_2 = T \cdot m = 14,13 \text{ mm}$$

$$\varepsilon = \frac{l_n}{t_{bn}} = \frac{24,5}{13,3} = 1,84$$

$$\underline{\underline{\varepsilon = 1,84}}$$

3. Řezné síly při ševingování

3.1. Dosavadní údaje o měření řezných sil.

V literatuře jsou podrobné údaje o měření řezných sil při různých druzích obrábění, ale o řezných silách vznikajících při ševingování jsou velmi malé zmínky.

Výzkumná zpráva 1257 /3 / uvádí přibližné hodnoty velikosti sil při ševingování. Byly měřeny tyto síly:

- a) svislá radiální síla mezi nástrojem a obrobkem pomocí indikátoru, měřicího svislý průhyb trnu
- b) vodorovná axiální síla mezi nástrojem a obrobkem pomocí indikátoru, měřicího axiální posunutí trnu obrobku
- c) krouticí moment, měřený z výkonu motoru pomocí wattmetru.

Z předem určené tuhosti trnu a z naměřených deformací při obrábění se usuzovalo na velikost sil, působících na obrobek.

Na ševingovacím stroji OS 30 byly naměřeny tyto hodnoty: radiální síla 250 kp
axiální síla 50 kp

Parametry, za kterých byly tyto zkoušky prováděny, jsou tyto: $m = 4$

$$z = 44$$

$$\beta = 0^\circ$$

$$\alpha = 20^\circ$$

přísuv stolu 0,06 mm

Je to však měření sil skutečně přibližné, protože je prováděno staticky.

Snad nejnovější údaje o řezných silách při ševingování přináší článek Řezné síly při ševingování ozubených kol velkých modulů /7/. Autoři zde popisují měření řezných sil při ševingování na soustruhu, opatřeném speciální ševingovací hlavou, pomocí jednoho z hrotů, mezi které se upíná obrobek. Na hrotu jsou nalepeny tensometrické snímače (viz kapitola 3.2.) pro měření radiální, axiální a osově síly. Hrot zachycuje pouze část celkového zatížení (část přenáší také hrot druhý). Proto je nutno provést cejchování snímačů přímo na stroji pomocí speciálního trnu. Jelikož hrot je v průběhu ševingování vystaven složité deformaci, je zapojení tensometrů provedeno tak, aby bylo možno změřit hodnotu jedné složky síly a vyloučit při tom vliv deformace druhé.

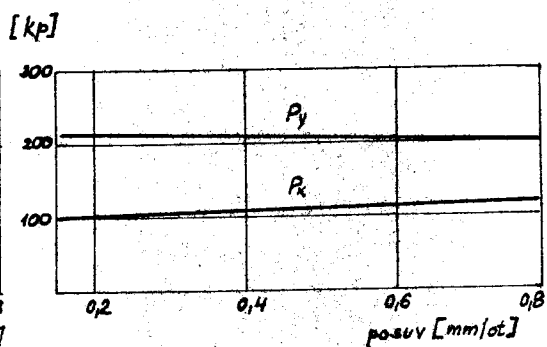
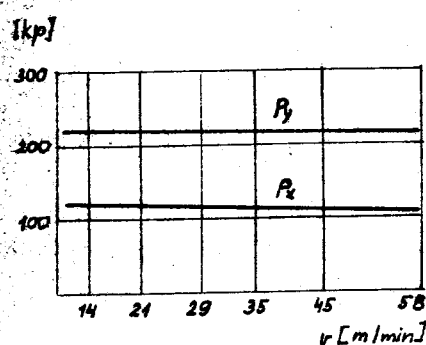
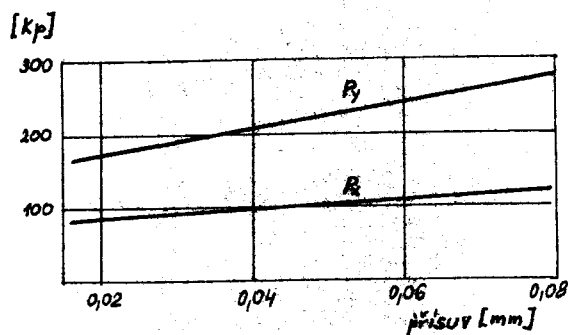
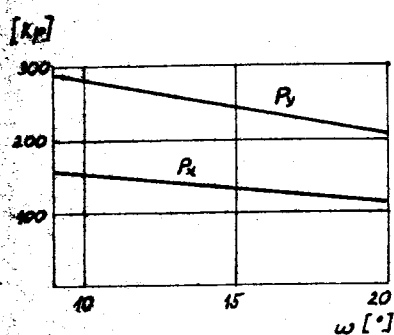
K měření byl použit čtyřkanálový zesilovač a oscilograf typu MPO - 2, zkoušky byly provedeny metodou diagonálního ševingování.

Údaje o obrobku: $m = 12$ $z = 26$ $\beta = 6^\circ 37' 15''$

přídavek modifikovaný

Údaje o nástroji: $m = 12$ $z = 23$ $\beta = 4^\circ, 9^\circ, 13^\circ$

Při zkouškách se sledoval vliv úhlu zkřížení os α , vliv řezné rychlosti, vliv radiálního přísuvu a vliv posuvu na velikost řezné síly. Výsledky měření jsou sestaveny do grafů (obr.12).

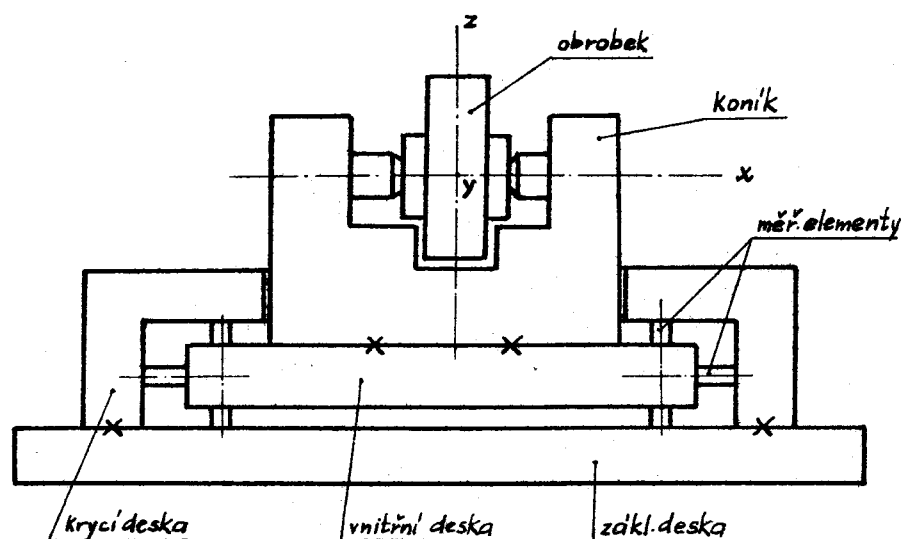
 P_y - radiální síla P_x - osová síla

Obr.12

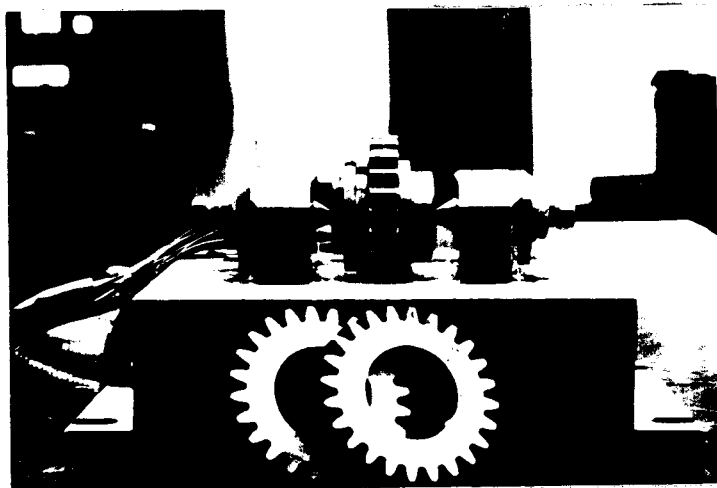
Uvedená metoda má nedostatek v tom, že je nutno provádět měření v okamžiku, kdy působí síla je uprostřed šířky obrobku. Toto místo musí souhlasit s místem cejchování. Nelze tedy tímto způsobem zachytit celý průběh ševingovacího procesu. Jinak lze z oscilogramu uvedeného v článku usoudit, že metoda je pro měření sil dostatečně citlivá.

3.2. Dynamometr na ševingování.

Pro měření sil při ševingování byl navržen a vyroben na VŠST třísložkový dynamometr s tensometrickými snímači. Dynamometr je určen pro ševingovací stroj OS-30. Je zkonstruován tak, že měření sil na stroji nevyžaduje zásah do jeho konstrukce. Změna záleží pouze ve výměně koníků za dynamometr. Schema dynamometru ukazuje obr.13, fotografie je na obr.14.

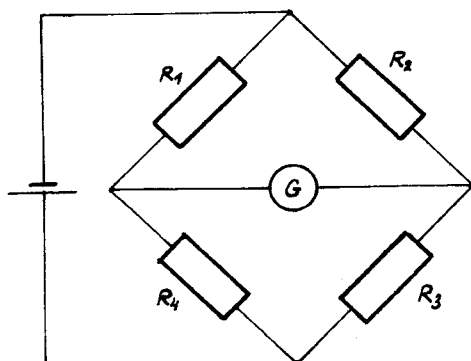


Obr. 13



Obr.14

Princip měření spočívá v tom, že obecně působící sílu P zachycujeme tuhou deskou, která je uložena na šestnácti měřicích elementech. Měřicí element je v podstatě trubička, na níž je nalepen tensometrický snímač, který je tvořen několika smyčkami tenkého, nejčastěji konstantanového drátku. Použití tensometrických snímačů má velké výhody oproti jiným siloměrným elementům, například malé rozměry a váhu, velkou citlivost a vhodnost pro statické i dynamické namáhání. Snímače jsou zapojeny do Wheatstnova můstku, jehož schema je na obr.15.



Obr.15

Snímače sledují deformace trubiček, které jsou způsobeny silou P . Průřez drátků snímačů se vlivem deformace mění, mění se tedy také jejich ohmický odpor a to se projevuje v rozvážení Wheatstnových můstků, které je vyhodnoceno tensometrickou aparaturou TDA - 3.

$$\text{Platí, že změna odporu } \frac{\Delta R}{R} = k \cdot \varepsilon = k \frac{\Delta l}{l}$$

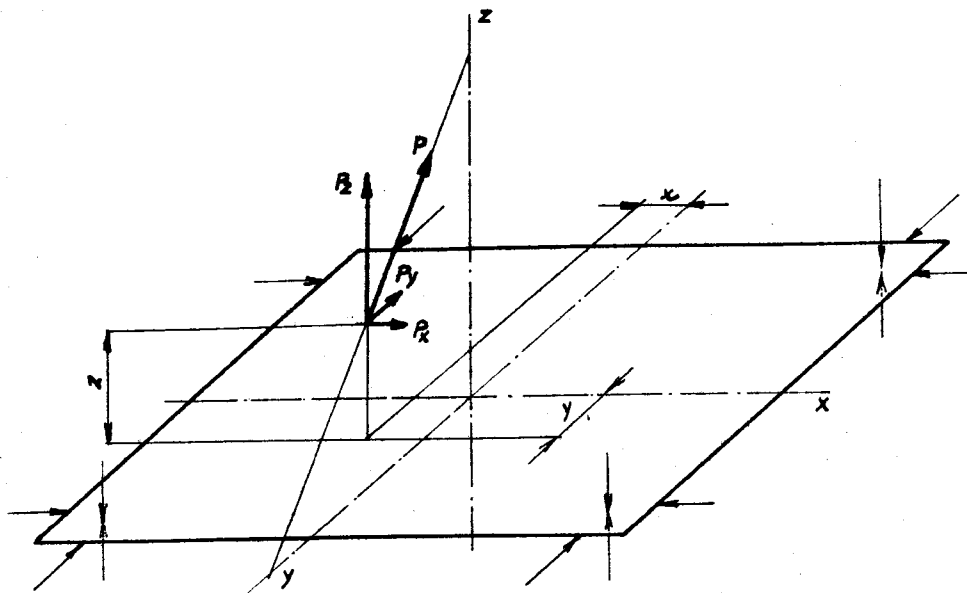
kde k ... konstanta snímače

ε ... relativní prodloužení

Δl ... prodloužení nebo zkrácení trubičky

Jelikož velikost působící síly P je přímo úměrná prodloužení, je také působící síle úměrná změna odporu ΔR .

Síla P a tedy i její složky nepůsobí v rovině příslušných snímačů, ale na určitém rameni. Proto vznikají kolem os x , y , z , klopné momenty (obr.16).



Obr.16

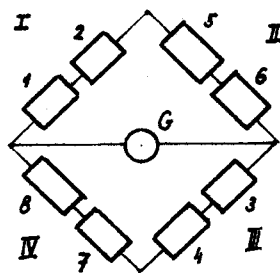
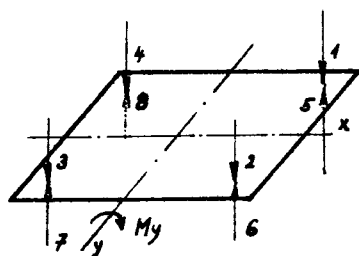
Z obrázku je vidět, že síla P má k ose x moment

$$M_x = P_z \cdot y + P_y \cdot z \quad \text{k ose } y \text{ moment}$$

$$M_y = P_z \cdot x + P_x \cdot z \quad \text{k ose } z \text{ moment}$$

$$M_z = P_y \cdot x - P_x \cdot y$$

Zapojení snímačů je provedeno tak, že se uvedené momenty neprojeví - jsou kompensovány. Jako příklad je uvedeno vyloučení momentu M_y při snímání síly P_z :



Obr.17

Při působení momentu M_y se projeví zatížení trubiček 5, 6, 3, 4 tlakovou silou a odlehčení trubiček 1, 2, 7, 8 o stejnou hodnotu. Platí rovnice $\frac{R_I}{R_{II}} = \frac{R_{III}}{R_{IV}}$

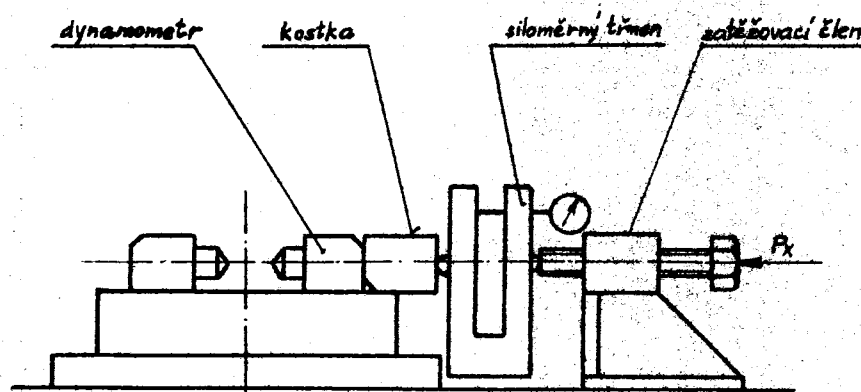
Obě strany rovnice zůstanou stejné, k rozvážení můstku nedojde. To tedy znamená, že nezáleží na poloze složek sil vůči osám x , y , která se během průběhu ševingování mění. To je dokázáno zatěžováním dynamometru silou P_z v různých místech, jak ukazuje příloha 15. Stejně je tomu u složek P_x , P_y .

Kromě sil P_x , P_y , P_z zachycuje dynamometr kroutící moment ve vodorovné rovině.

3.3. Konstrukční řešení cejchovacího zařízení.

Pro každé měření je nutno dynamometr cejchovat, to znamená postupně zatěžovat ve směrech os x , y , z známou silou a zajišťit tak (na obrazovce osciloskopu nebo na galvanoměru) průběh závislosti síla-výchylka. Dostaneme tak přímkovou závislost, ze které pro určitou výchylku síly v mm na obrazovce lze odečíst hodnotu síly v kp.

Dosavadní cejchování se provádělo pomocí siloměrného třmenu, zatěžovaného šroubem. Velikost síly se zjišťovala pomocí tisícínového indikátoru. Výchylka 1 mm znamená sílu 0,423 kp. Cejchování síly P_x vypadá takto:



Obr. 18

Takto prováděné cejchování mělo řadu nedostatků. Souosost šroubu a hrotů se nedala přesně dosáhnout a proto se při zatěžování dynamometru silou P_x projeví i složky P_y a P_z . Velikost síly při stejné výchylce indikátoru byla závislá na správném ustavení polohy siloměrného třmenu, což se

projevilo hlavně ve složce P_z , která byla cejchována přes siloměrný třmen tlakem vřetena vrtačky VR 4. Nevýhodou byla také pracná příprava cejchování.

Uvedené nedostatky odstraňuje navržené cejchovací zařízení (viz výkresová část). Princip zatěžování pomocí siloměrného třmenu zůstává zachován. Základ tvoří svařovaný rám, na němž jsou přivařeny plošiny se šrouby. Vlastní zatěžování je provedeno čepy, které působí na dynamometr přes čejchovací čep vložený místo upínacích hrotů. Ve směru os y a z mají čepy rovnou dosedací plochu, takže jsou vyloučeny menší nepřesnosti vzniklé výrobou a podobně je tomu ve směru osy x . Při pečlivém opracování na horizontce, kdy se opracuje dosedací plocha a vyvrtají i výstruží tři navzájem kolmé otvory se zajistí dostatečná přesnost zařízení. Po konečném ustavení na dynamometru se poloha zajistí šrouby. Výhodou tohoto uspořádání je i to, že se budou moci cejchovat všechny tři složky síly najednou a sledovat tak, jak se jednotlivé složky navzájem ovlivňují, což doposud nebylo možné.

4. Měření řezných sil
v závislosti na posuvu,
přísuvu a otáčkách.

4.1. Návrh zkoušek.

Účelem měření řezných sil, provedeného na ševingovacím stroji OS-30 je získat závislosti složek řezné síly na posuvu stolu, přísuvu a otáčkách nástroje. Dále je účelem získat průběh sil v závislosti na poloze obrobku vůči nástroji a zjistit, jak se mění síly v závislosti na průběhu záběru.

Plán zkoušek.

- 1) Síla P funkcí otáček $n = 80, 100, 125,$
 $160, 200 \text{ ot/min}$

ostatní parametry: posuv 87 mm/min
přísuv $0,04 \text{ mm}$

- 2) Síla P funkcí posuvu: posuv $24,33,45,65,$
 $87,125,172 \text{ mm/min}$

ostatní parametry: přísuv $0,04 \text{ mm}$
 $n = 125 \text{ ot/min}$

- 3) Síla P funkcí přísuvu: přísuv $0,02; 0,04;$
 $0,06; 0,08; 0,1 \text{ mm}$

ostatní parametry: posuv 87 mm/min
 $n = 125 \text{ ot/min}$

Kromě uvedených parametrů je možno měnit také úhel zkřížení os, modul i materiál obrobku. Vliv na řezné síly má jistě i stupeň otupení nástroje.

4.2. Údaje o obrobku, nástroji, stroji a aparatuře.Obrobek: $m = 4,5$ $z = 24$ $\alpha = 20^\circ$ $\beta = 0^\circ$ $M = 34,92$ $b = 20$

materiál 14 220

Tvar obrobku je na výkresu v příloze 3. Přídavek na ševingování činí 0,2 mm na míře přes zuby M. Je volen větší než podle údajů v literatuře / 5 / z toho důvodu, aby se závislost síly P na určitém parametru dala naměřit na jednom obrobku. Přídavek na ševingování je nemodifikovaný. Ozubení obrobku se hrubovalo na odvalovací fréze FO 6 při těchto parametrech:

posuv 0,66 mm/ot

 $n = 75$ ot/min

chlazení řepkovým olejem

Údaje o fréze: hrubovací fréza z rychlořezné
oceli

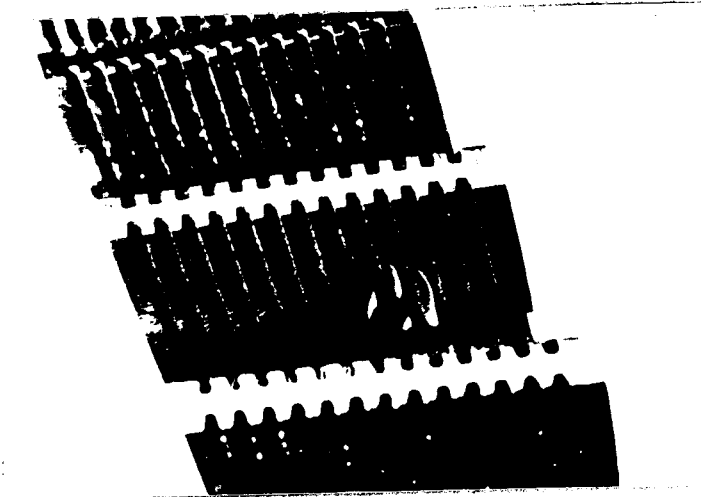
stoupání šroubovice $3^\circ 31'$

U každého obrobku bylo před a po ševingování
změřeno radiální házení ozubení. Diagramy viz
příloha 3b, 4, 5.

Nástroj: $m = 4,5$ $z = 53$ $\alpha = 20^\circ$ $\beta = 15^\circ$ $b = 25$

Nástroj, kterého bylo použito pro měření, měl

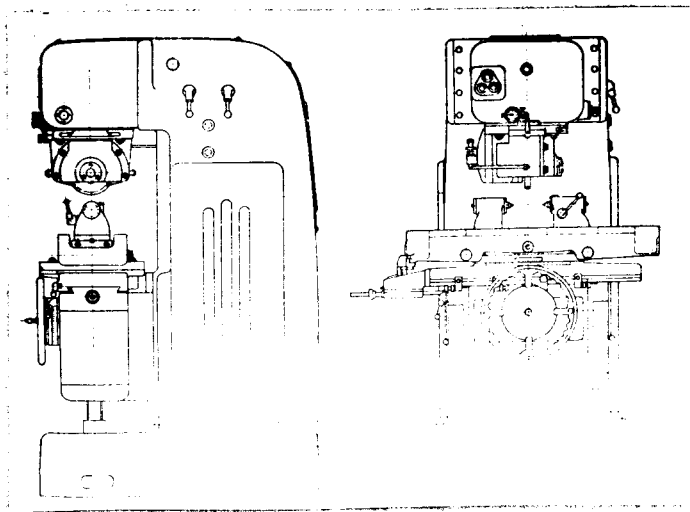
deset zubů poškozeno (vylámané břity), jak je vidět z obr.19.



Obr.19

Stroj.

Měření se provádělo na ševingovacím stroji OS-30, výrobku n.p. TOS Čelakovice, No 0418116. Fotografie nákresu stroje je na následujícím obrázku.

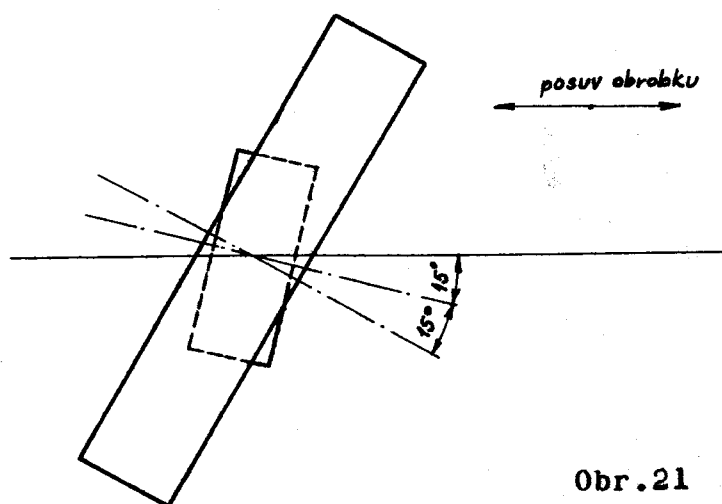


Obr.20

Ustavení správné polohy dynamometru s obrobkem vůči nástroji je zaručeno pomocí středících čepů

na základně dynamometru.

Při měření bylo použito metody diagonálního ševingování podle následujícího obrázku.



Obr. 21

Několik zkoušek bylo provedeno také ševingováním podélným.

Aparatura, použitá k měření.

Tensometrická aparatura TDA-3, výrobce n.p.

Mikrotechna Praha, inv.č. G 79/1306

Dvoukanálový osciloskop Duoskop, typ EO 2/130,

Nr 32 003, výrobce VEB-Techn.-Phys.

Werkstätten Thalheim/Erzgeb. DDR

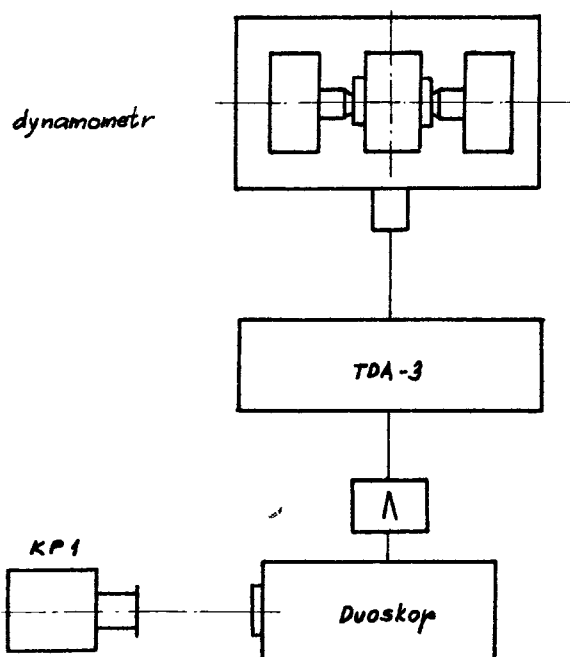
Kontinuální kamera KP1

Výrobce Meopta n.p. Bratislava

Zesilovač

Filtry

Elektrické schema aparatury je na obr.22, pohled na aparaturu v provozu n.p. LIAZ Rýnovice, kde bylo měření prováděno, ukazuje obrázek 23.



Obr. 22



Obr. 23

Časový průběh sil na obrazovce osciloskopu je filmován kamerou. Rychlost posuvu filmu byla volena podle požadovaného rozvinu průběhu sil. Záběry, z kterých byla vyhodnocována pouze maxima sil jsou filmována rychlostí 10 (50) mm/sec,

rozvinuté části průběhu sil rychlostí až 500mm/sec.

Protože se zjistilo, že poloha nulové čáry (bez zatížení) se značně mění, byla filmována před a po každém záběru.

Po skončeném měření bylo provedeno cejchování všech tří složek. Cejchovní grafy jsou uvedeny v příloze 13, 14a.

4.3. Vyhodnocení naměřených hodnot.

Vyhodnocení záznamů sil na filmu bylo provedeno na profilprojektoru ZEISS, kde se při desetinásobném zvětšení na matnici dobře odečítaly potřebné hodnoty. Pro grafické znázornění závislostí sil na dříve uvedených parametrech byla odečítána maxima sil při hrubovacím procesu. Kromě toho byla pro úplnost odečítána také velikost kolísání sil podle obr. 12. Odečtené hodnoty jsou sestaveny do tabulek. Tabulky 1, 2, 3 platí pro diagonální ševingování, tabulky 4 a 5 pro ševingování podélné.

Tab. 1

Síla [kp]	n [ot/min]				
	80	100	125	160	200
P_x	120	145	165	172	135
P_y	35	34	50	54	40
P_z	265	324	300	280	250

Tab. 2

Síla [kp]	posuv [mm/min]						
	24	33	45	65	87	125	172
P_x	72	150	125	135	122	135	155
P_y	34	45	30	27	31	50	45
P_z	204	216	300	260	280	280	325

Tab. 3

Síla [kp]	přisuv [mm]				
	0,02	0,04	0,06	0,08	0,1
P_x	125	155	187	200	210
P_y	34	38	54	50	65
P_z	240	306	330	325	390

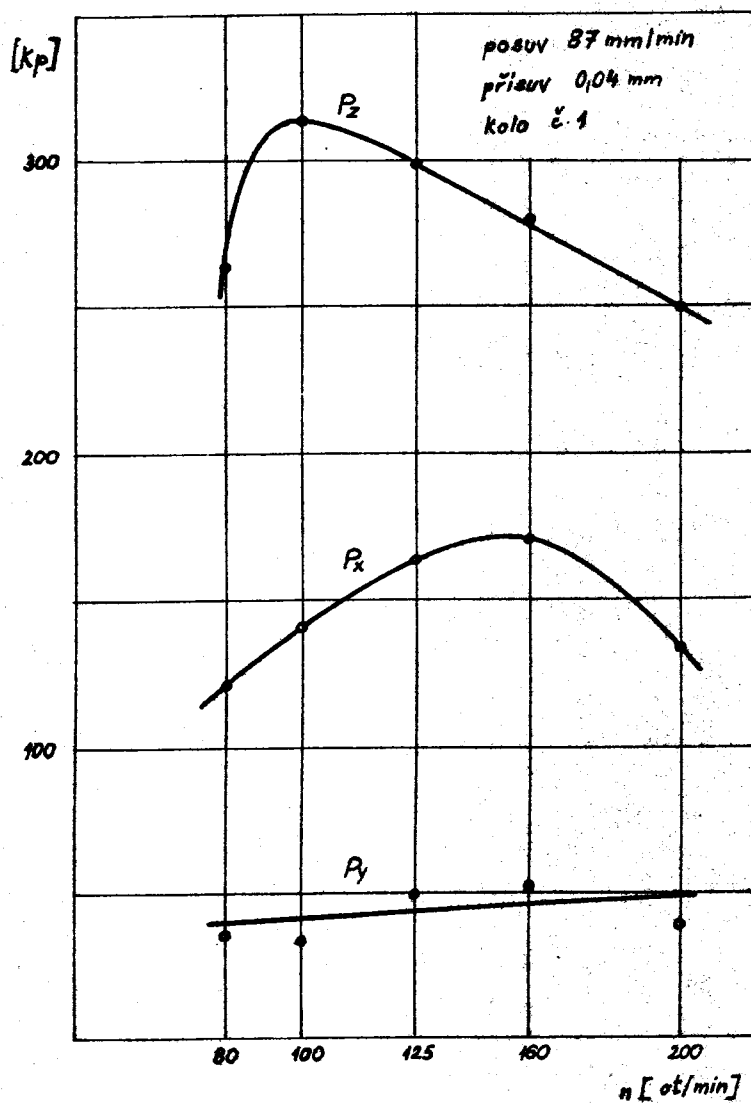
Tab. 4

Síla [kp]	přisuv [mm]		
	0,01	0,02	0,04
P_x	64	78	115
P_z	154	174	220

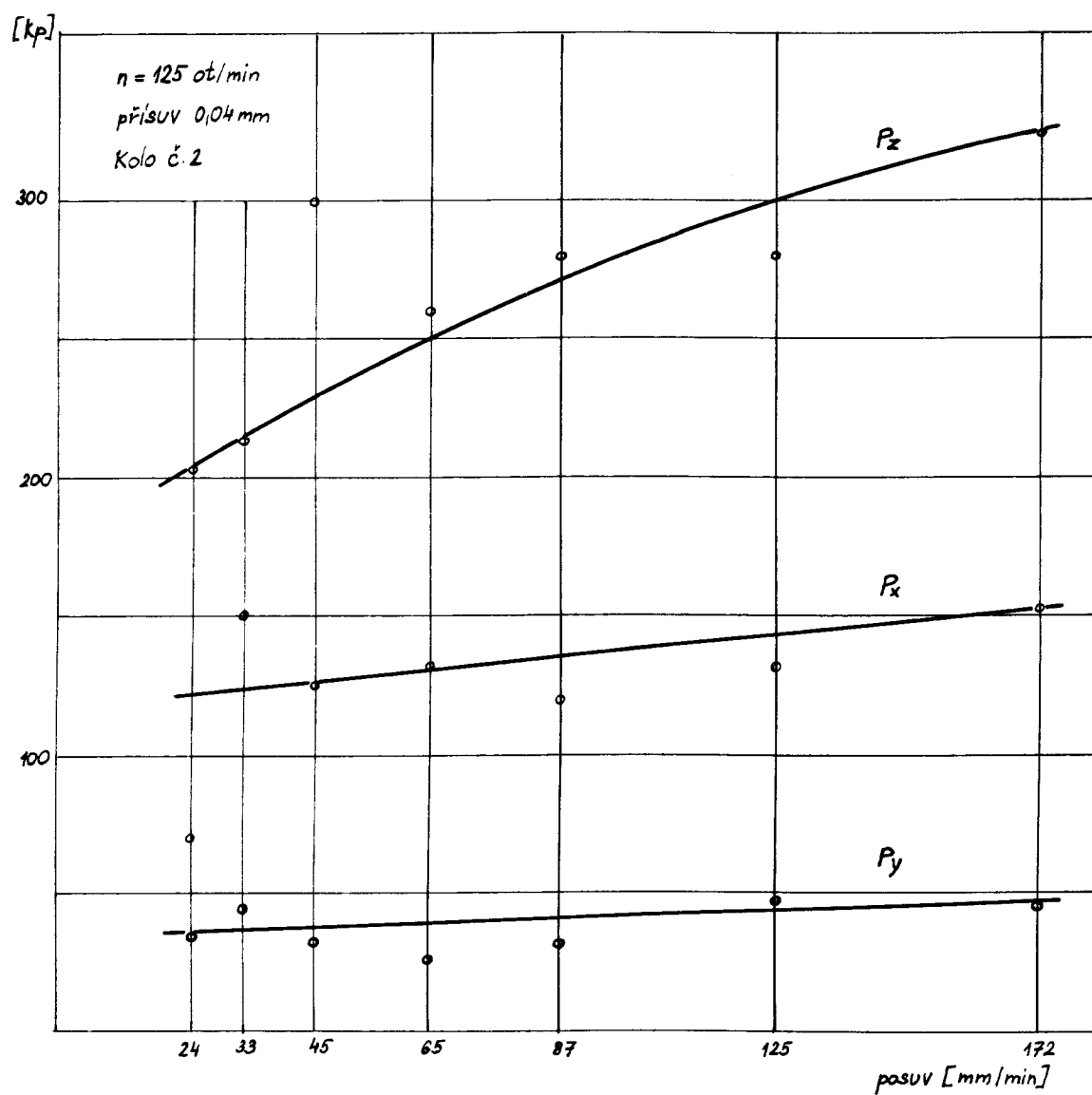
Tab. 5

Síla [kp]	n [ot/min]		
	80	100	125
P_x	85	80	78
P_z	172	174	199

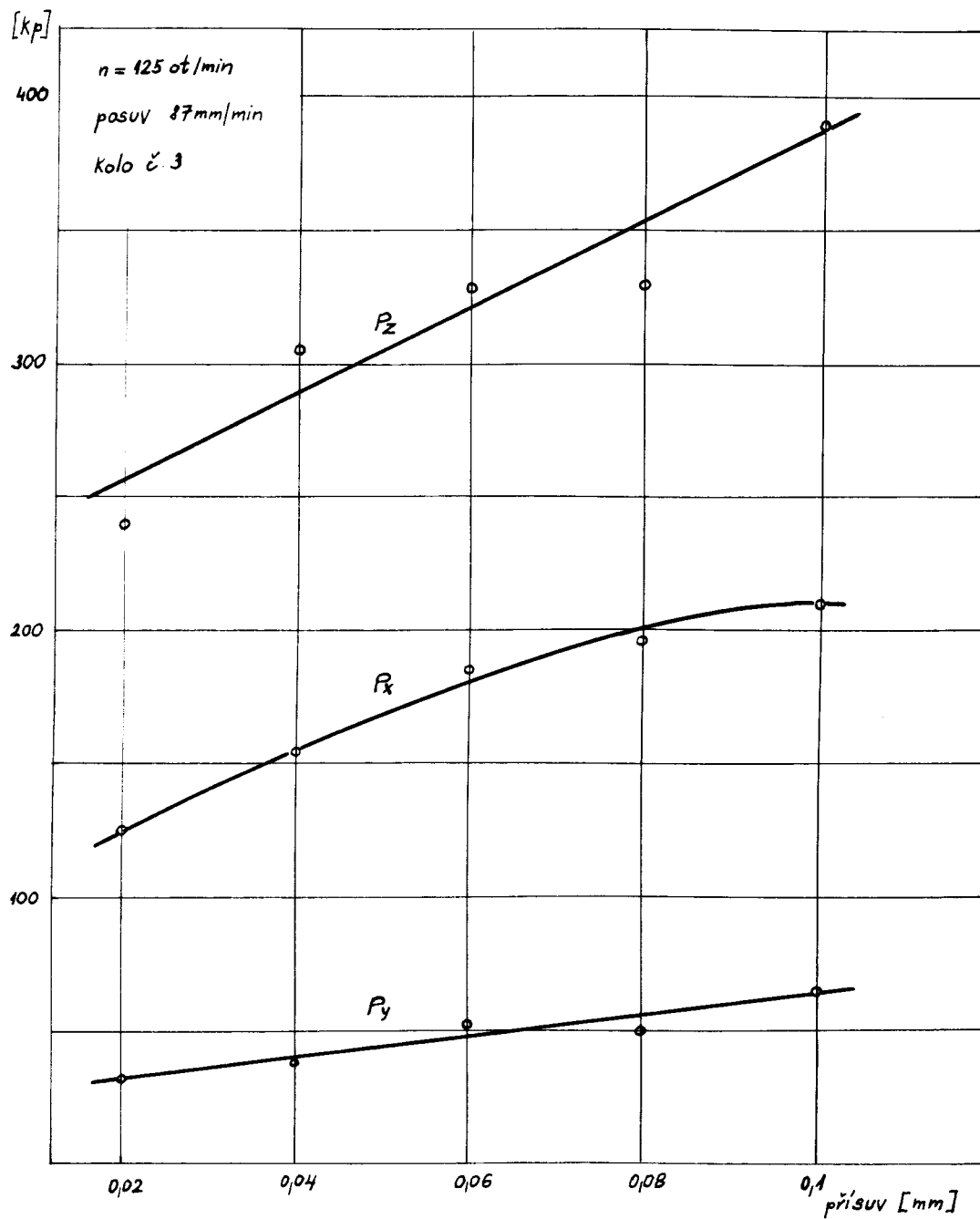
Grafické znázornění naměřených hodnot je na
obrázcích 24,25,26,27.



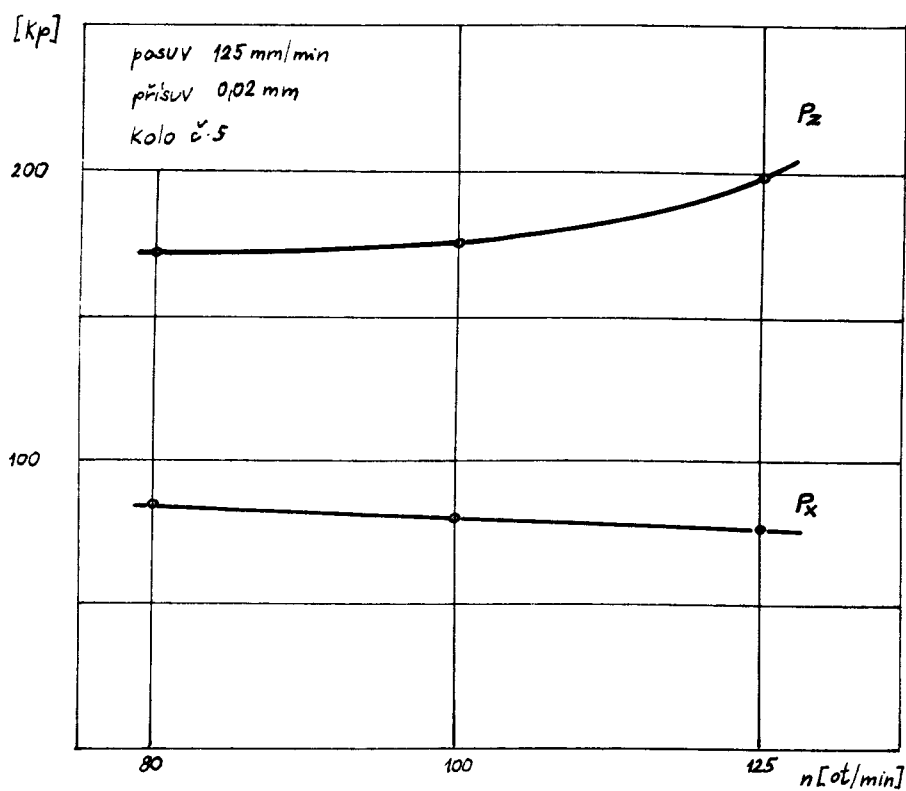
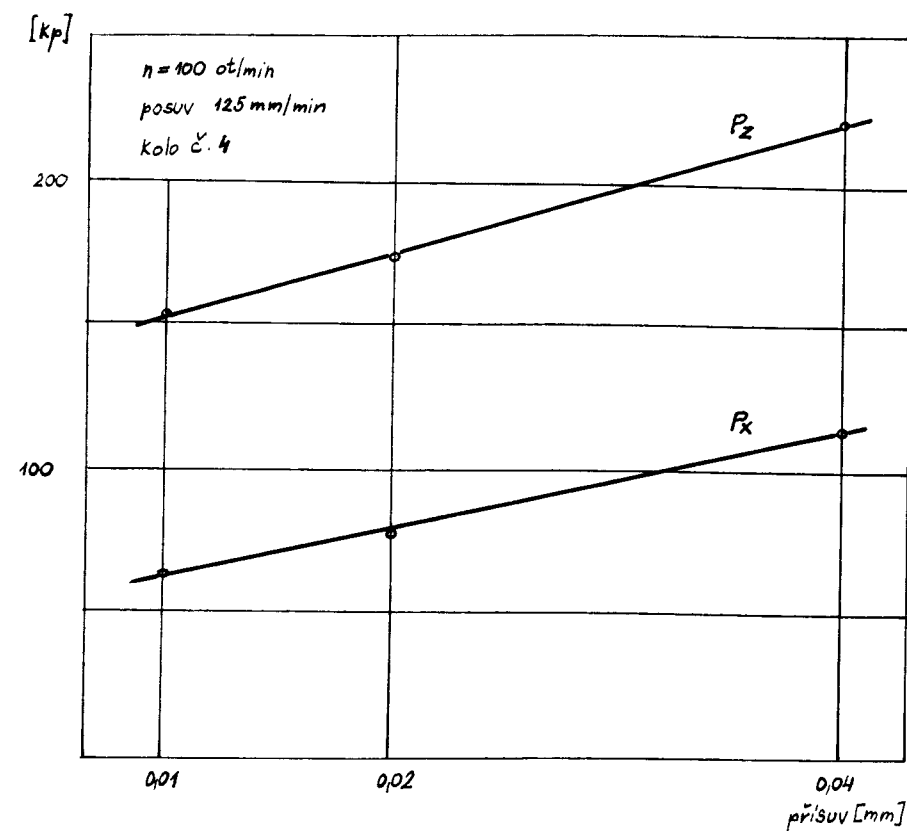
Obr. 24



Obr. 25



Obr. 26



Obr. 27

5. Studie průběhu řezných sil a řezné rychlosti.

5.1. Studie průběhu řezných sil.

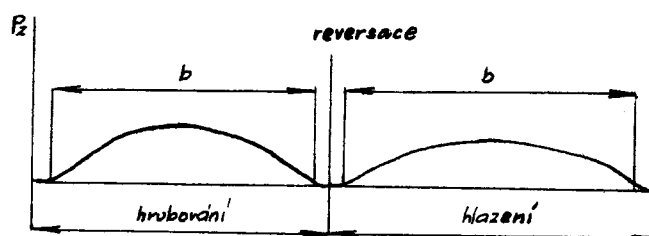
Při ševingování vzniká v místě styku nástroje a obrobku obecně působící síla P . Dynamometr zachytí tři složky této síly P_x , P_y , P_z . Velikost síly P a tedy i její složek se mění v závislosti na řezných podmínkách (otáčkách nástroje, přísmvu a posuvu) i v závislosti na poloze nástroje vůči obrobku a během jedné otáčky obrobku.

Ze složek P_x , P_y a P_z dosahuje složka P_z největších hodnot (řádově několik set kp). Proto se budeme nejdříve zabývat, jaký průběh tato složka má a pokusíme se průběh teoreticky zdůvodnit.

Jak již bylo řečeno, mění se velikost síly v závislosti na poloze nástroje vůči obrobku. Je proto dobré objasnit, jak ševingovací proces probíhá. Na počátku je ševingovací nástroj a obrobek v záběru, ale s vůlí - bez silového dotyku boků zubů. V této poloze se provede radiální přísmv. Po spuštění stroje, kdy se otáčí nástroj a otáčí tak i volně uloženým obrobkem a kdy stůl s obrobkem vykonává posuv, probíhá hrubování. Když stůl s obrobkem přejede do druhé krajní polohy, nastane reversace otáček nástroje a změna smyslu posuvu a nazpět probíhá hlazení. Tím je

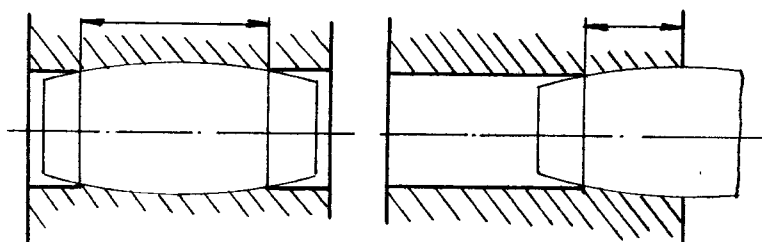
ševingovací proces ukončen.

Průběh síly P_z (schematicky bez uvažování dalších vlivů) v závislosti na poloze nástroje vůči obrobku je na obr.28, skutečný průběh je v příloze 10.



Obr.28

Vliv na okolnost, že síla P_z je maximální uprostřed šířky obrobku, má plocha styku zubu nástroje a obrobku. Vliv je zřejmý z obr.29.



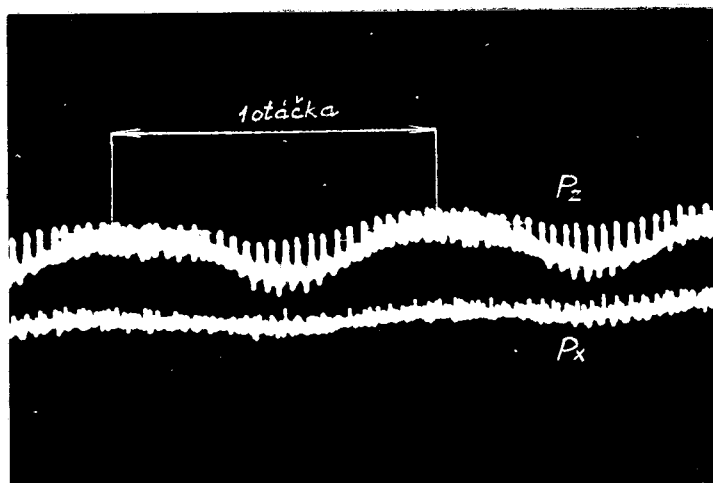
Obr.29

Pásmo dotyku zubu nástroje a obrobku se postupně zvětšuje, až v poloze, která odpovídá obr.9 je největší.

Dále síla P_z kolísá vlivem radiálního házení obrobku, které způsobuje nestejný úběr třísky během jedné otáčky obrobku. Vliv radiálního házení na průběh síly P_z ukazuje obr.30.

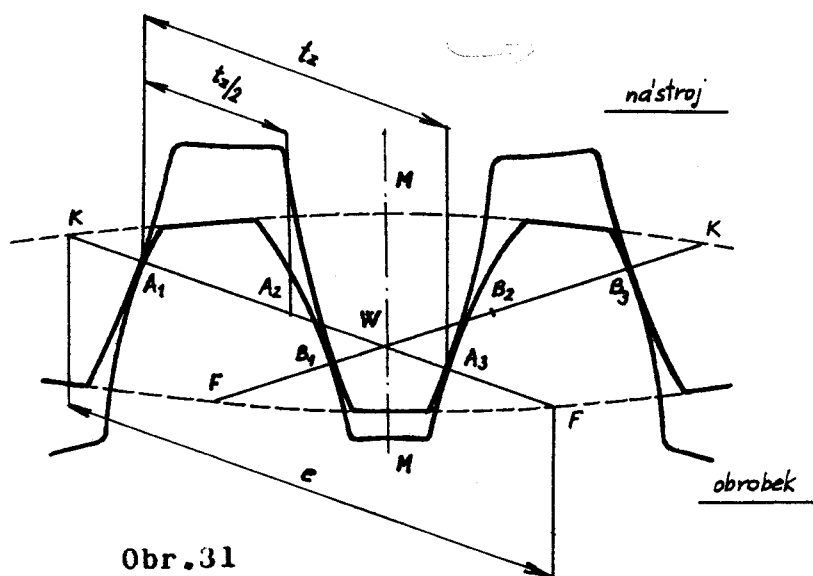
Síla P_z se mění také v závislosti na tom, kolik zubů nástroje a obrobku je okamžitě v záběru. K tomu je nutno objasnit, jak probíhá

záběr po záběrové přímce, jejíž poloha je již známa.



Obr.30

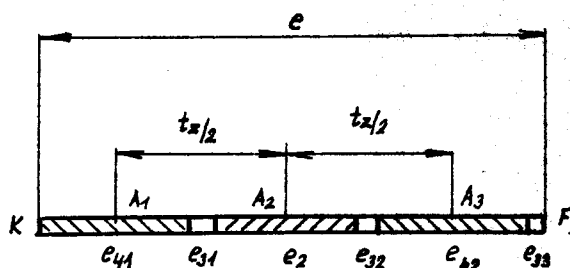
Na obr.31 je znázorněn záběr nástroje s vyráběným ozubeným kolem pro případ, že zub nástroje je souměrný ke spojnici středů obou kol M-M.



Obr.31

V této poloze se dotýkají boky zubů nástroje a obrobku ve čtyřech bodech A_1 , A_2 , B_1 , B_2 na záběrové dráze e . Jedna ze záběrových drah

je znázorněna na obr.32.



Obr.32

Vzdálenost dotykového bodu A_1 od bodu A_3 , právě tak jako vzdálenost bodu B_1 od bodu B_3 je rovna základní rozteči t_z .

Otočí-li se nástroj o malou hodnotu tak, že se dotykový bod A_1 posune do bodu K , přesunou se ostatní tři dotykové body A_3 , B_1 , B_3 rovněž o hodnotu $A_1 K$ na záběrové dráze doleva. Během tohoto malého otáčení se tedy dotýkají současně čtyři boky zubů nástroje a obrobku. Je zřejmé, že dráha $A_1 K$ je částí t.zv. 4-bokové dílčí dotykové dráhy e_{41} , právě tak jako vlevo pod bodu A_3 navazující dráha o hodnotu $A_1 K$ je částí 4-bokové dílčí dotykové dráhy e_{42} .

Otočí-li se nástroj ze znázorněné polohy tak, že se dotykové body A_1 , A_3 , B_1 , B_3 posunou na záběrové dráze e doprava o hodnotu $A_1 K$ existuje rovněž 4-bokový dotyk. Dotykové body A_1 , A_3 , B_1 , B_3 znázorňují středy stejně dlouhých 4-bokových dílčích dotykových drah e_{41} a e_{42} .

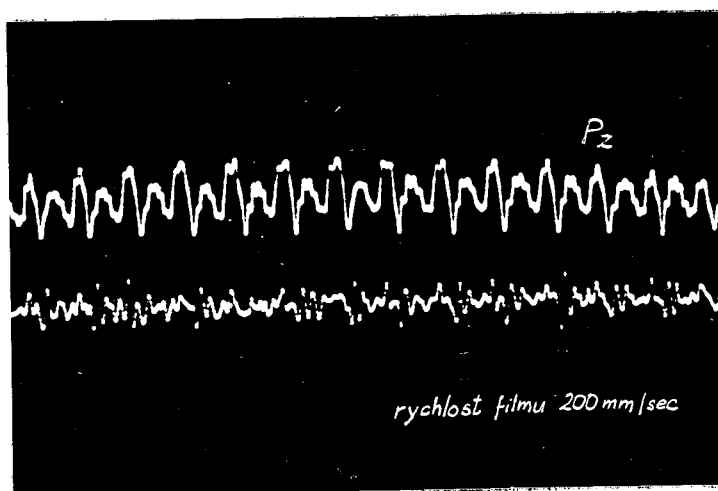
Otočí-li se nástroj ze znázorněné polohy o polovinu rozteče, pak leží zub obrobku souměrně ke spojnici středů kol M-M a nástroj se stýká s obrobkem pouze ve dvou bodech A_1 , B_1 .

Dalším otáčením ve stejném nebo opačném smyslu se dotýkají dva boky tak dlouho, až přijde do záběru třetí bok nástroje a obrobku na konci záběrové dráhy v bodě F. Přejít z dvoubokové dílčí dotykové dráhy e_1 do 3-bokové dílčí dotykové dráhy e_2 leží vzdálen od bodu F o hodnotu základní rozteče t_z . Bod A_1 stejně jako bod B_1 je středem 2-bokové dílčí dotykové dráhy e_1 .

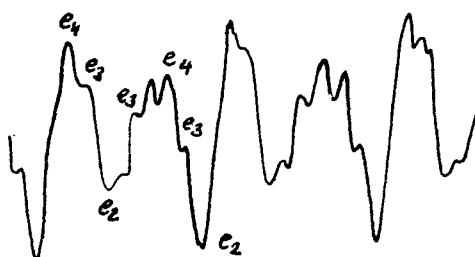
V době, kdy trvá 4-bokový dotyk, bude síla P_z větší než při dotyku 2-bokovém nebo 3-bokovém, protože při uvažování tuhých hřídelů nástroje a obrobku záleží na ploše styku, jak velká bude síla potřebná k přiblížení os o daný přísuv. Při 4-bokovém dotyku bude plocha styku zubů větší než při dotyku na př. 2-bokovém a tedy bude větší i síla P_z .

Pro náš konkrétní případ nástroje a obrobku o uvedených hodnotách bylo provedeno stanovení dílčích dotykových drah (viz příloha 1). Srovnáním s rozvinutým průběhem síly P_z na obr.33 (po případě se zvětšeným průběhem na obr.34) lze skutečně určit jednotlivé dotykové dráhy. Určité odchylky mohou být způsobeny nepřesnostmi evolventy zubu obrobku nebo rozteče, neboť pak zub

nepřichází do záběru v teoreticky správném okamžiku, ale buď dříve nebo později.



Obr.33

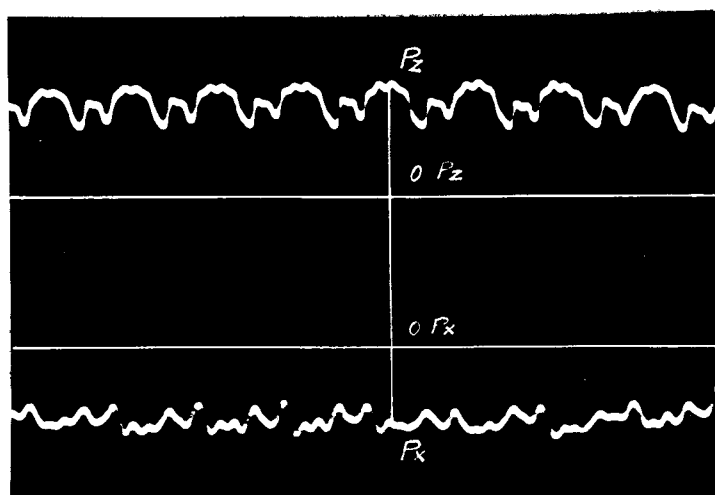


Obr.34

Průběh složky P_x .

Jak je vidět z naměřených záznamů (obr.35), je síla P_x ovlivňována silou P_z a to tak, že každému zvýšení síly P_z odpovídá zvýšení síly P_x . To lze vysvětlit tím, že při zvýšení síly P_z (tedy při dotyku více boků zubů nástroje

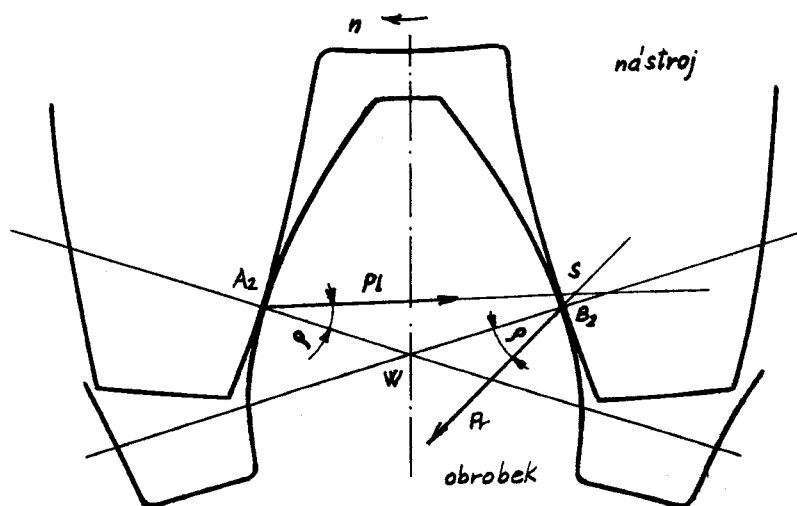
a obrobku) je také větší úhrnný průřez třísky a tedy i síla P_x , která na průřezu třísky závisí. Síla P_x podobně jako síla P_y mění při reversaci svůj směr.



Obr. 35

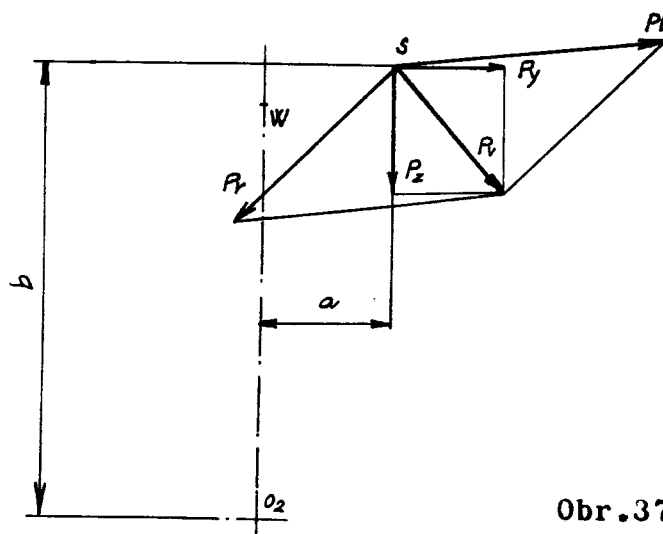
Průběh složky P_y .

Vznik této složky souvisí s třením boku zubu nástroje a obrobku při otáčení. Na obr. 36 je znázorněn záběr nástroje a obrobku v poloze, kdy nastává dvoubokový dotyk.



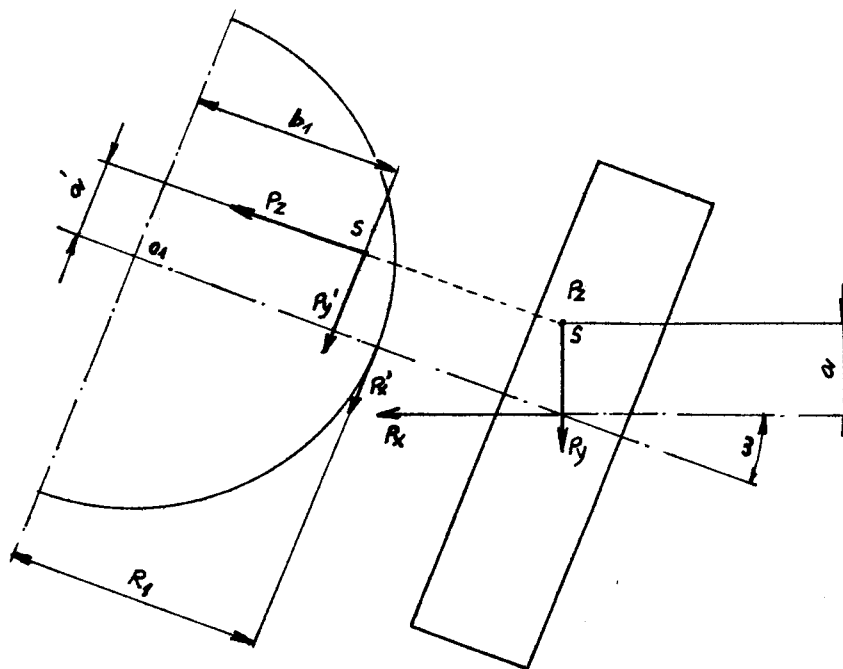
Obr. 36

Bez uvažování tření by výslednice sil na levý P_l a pravý P_r bok zubu obrobku musela být radiální, tedy složka P_y by se nevyskytovala. Vlivem tření se nositelky sil P_l a P_r vychýlí podle smyslu otáčení o třecí úhel φ . Výslednice pak již není radiální, jak ukazuje obr.37, který platí pro stejný smysl otáčení jako obr. předešlý.



Obr.37

Výslednice P_v sil P_l a P_r se rozkládá na složky P_2 a P_y , které mají k ose otáčení obrobku O_2 ramena. Na obrobek tedy působí moment $M_2 = P_y \cdot b + P_2 \cdot a$. Tento moment musí být překonáván momentem M_1 na nástroji. Moment M_1 lze vyvodit takto (obr.38).



Obr. 38

$$P_y' = P_y \cos \omega$$

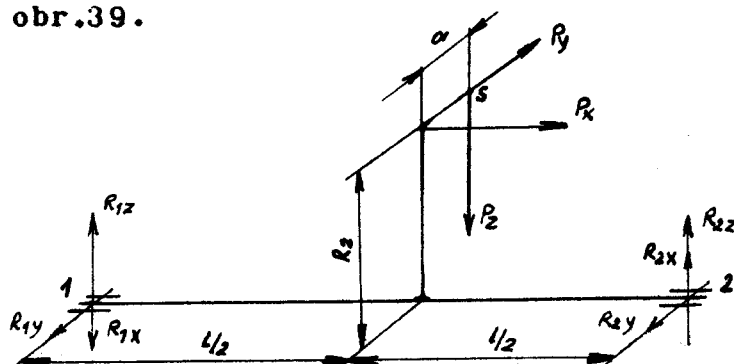
$$P_x' = P_x \sin \omega$$

$$a' = a \cos \omega$$

$$M_t = P_2 a' - P_y' b_1 - P_x' R_1 = P_2 \cos \omega \cdot a - P_y \cos \omega \cdot b_1 - P_x \sin \omega R_1$$

Ze známých hodnot složek P_x , P_y , P_2 lze stanovit namáhání trnu nástroje a obrobku.

Schema působení sil na trn obrobku pro případ, kdy je působiště sil uprostřed šířky obrobku, je na obr. 39.



Obr. 39

Podle obrázku jsou reakce v uložení 1 a 2 tyto:

Radiální reakce v uložení 1:

$$R_{1x} = \frac{P_x \cdot R_2}{l}$$

$$R_{1y} = \frac{P_y}{2}$$

$$R_{1z} = \frac{P_z}{2}$$

$$R_{1r} = \bar{R}_{1y} + \bar{R}_{1z} + \bar{R}_{1x} = \sqrt{\left(\frac{P_y}{2}\right)^2 + \left(\frac{P_z}{2} - \frac{R_x \cdot R_2}{l}\right)^2}$$

Radiální reakce v uložení 2:

$$R_{2x} = \frac{P_x \cdot R_2}{l}$$

$$R_{2y} = \frac{P_y}{2}$$

$$R_{2z} = \frac{P_z}{2}$$

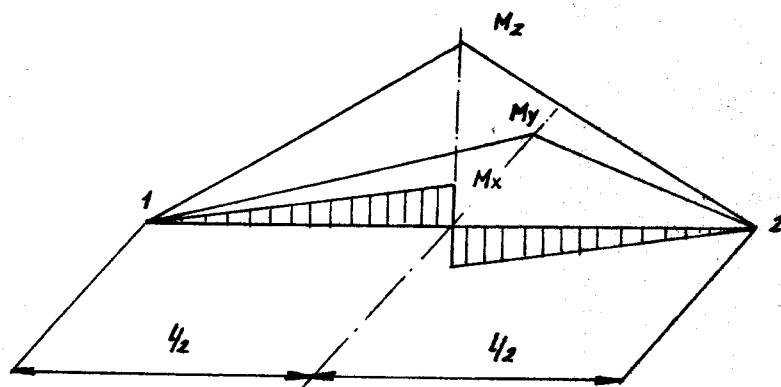
$$R_{2r} = \bar{R}_{2x} + \bar{R}_{2y} + \bar{R}_{2z} = \sqrt{\left(\frac{P_x \cdot R_2}{l} + \frac{P_z}{2}\right)^2 + \left(\frac{P_y}{2}\right)^2}$$

Kromě radiální síly musí každé uložení zachytit polovinu axiální síly P_x , takže

$$R_{1a} = \frac{P_x}{2}$$

$$R_{2a} = \frac{P_x}{2}$$

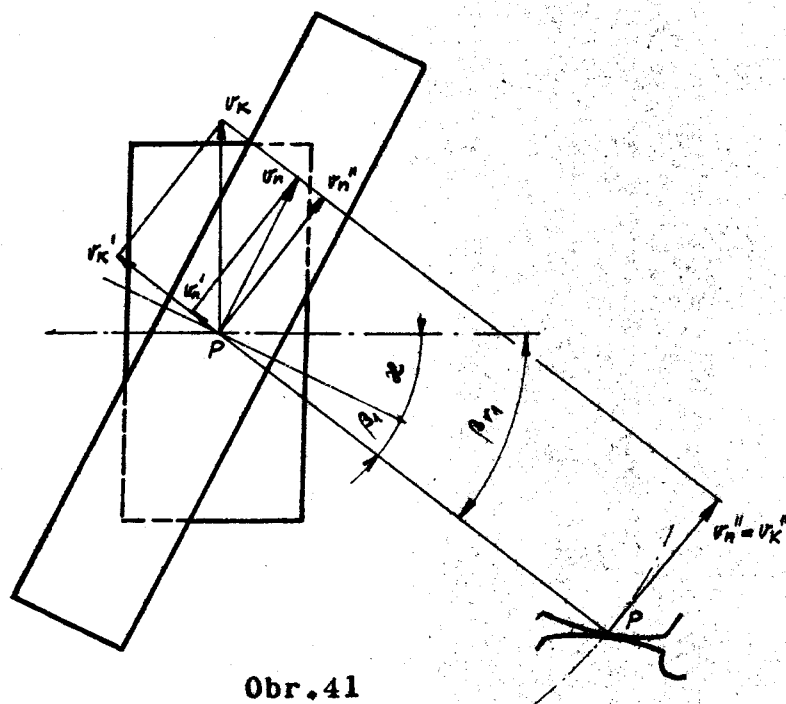
Ze známých hodnot R_a , R_r lze navrhnout ložiska uložení. Namáhání trnu obrobku ohybovými momenty ukazuje obr.40.



Obr.40

5.2. Studie průběhu řezné rychlosti.

Řezná rychlost při ševingování je dána rychlostí skluzu boků zubů nástroje a obrobku. Pro bod zkrřížení P ji vypočteme, rozložíme-li obvodové rychlosti v_K ševingovaného a v_n ševingovacího kola do směru sklonu zubů obrobku (obr.41).



Obr.41

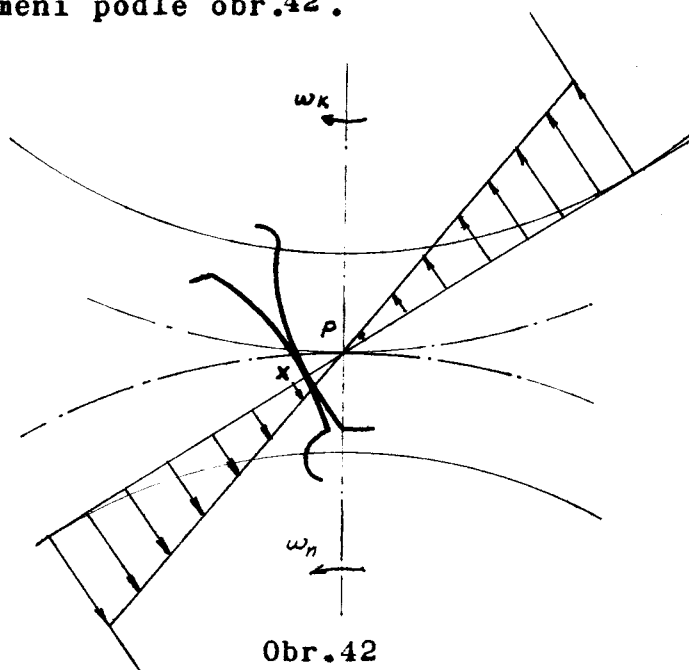
Řezná rychlost pro bod P v_{Pv} je dána rovnicí:

$$v_{Pv} = v_K' + v_n' \quad v_K' = v_K \cdot \sin \beta_K \quad v_n' = v_n \cdot \sin \beta_n$$

$$v_{Pv} = v_K \cdot \sin \beta_K + v_n \cdot \sin \beta_n$$

Jelikož jsou rychlosti v_K a v_n konstantní, je tedy konstantní i rychlost v_{Pv} . K rychlosti v_{Pv} bychom správně měli ještě připočítat složku rychlosti podélného posuvu stolu. Protože je ve srovnání s hodnotou v příliš malá, lze ji zanedbat.

Řezná rychlost v ostatních bodech výšky profilu se bude skládat z rychlosti podélného skluzu v_{pv} (která je konstantní) a z rychlosti v_{xv} skluzu ve směru tečny k profilu zubu. Rychlost v_{xv} se mění podle obr.42.



Obr.42

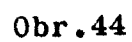
Rychlost skluzu v_{xv} v obecném bodě X je dána rovnicí / 4 /: $v_{xv} = \omega_n \cdot \rho_{xn} - \omega_k \cdot \rho_{xk}$

ω_n .. úhlová rychlost nástroje

ω_k .. úhlová rychlost obrobku

ρ_{xn}, ρ_{xk} .. poloměry křivosti v místě dotyku nástroje s obrobkem v čelní rovině

Průběh výsledné řezné rychlosti v různých bodech výšky profilu zubu ukazuje schematicky obr.43. Směr odebírání třísek na boku zubu souhlasí se směrem výsledné řezné rychlosti, což potvrzuje obr.44, pořízený na mikroskopu ZEISS.



6. Z á v ě r .

Při hodnocení výsledků vlastních zkoušek se obvykle srovnávají výsledky s hodnotami uvedenými v literatuře. Údaje o řezných silách při ševingování jsou však velmi malé. Naměřené hodnoty sil nelze porovnat s údaji sovětskými protože ty byly získány měřením za jiných podmínek. Maximální hodnoty sil se i při jinak stejných parametrech liší značně podle radiálního házení obrobku. Aby byl tento vliv odstraněn a výsledky byly srovnatelné, museli bychom vyrobit obrobky ideálně bez radiálního házení nebo s házením stejným.

Průběh sil v závislosti na přísuvu, posuvu stolu a otáčkách nástroje je nutno potvrdit několika měřeními, nestačí jedno provedené měření. Jako další zkoušky by bylo vhodné provést měření sil v závislosti na modulu obrobku, úhlu zkřížení os a materiálu obrobku.

Aby bylo možno ještě přesněji teoreticky objasnit průběhy sil v závislosti na záběrové dráze, je nutno provést záznamy na nejvyšší možnou rychlost filmu kamery, to znamená tisíc mm za vteřinu.

Lze s určitostí říci, že se dynamometr

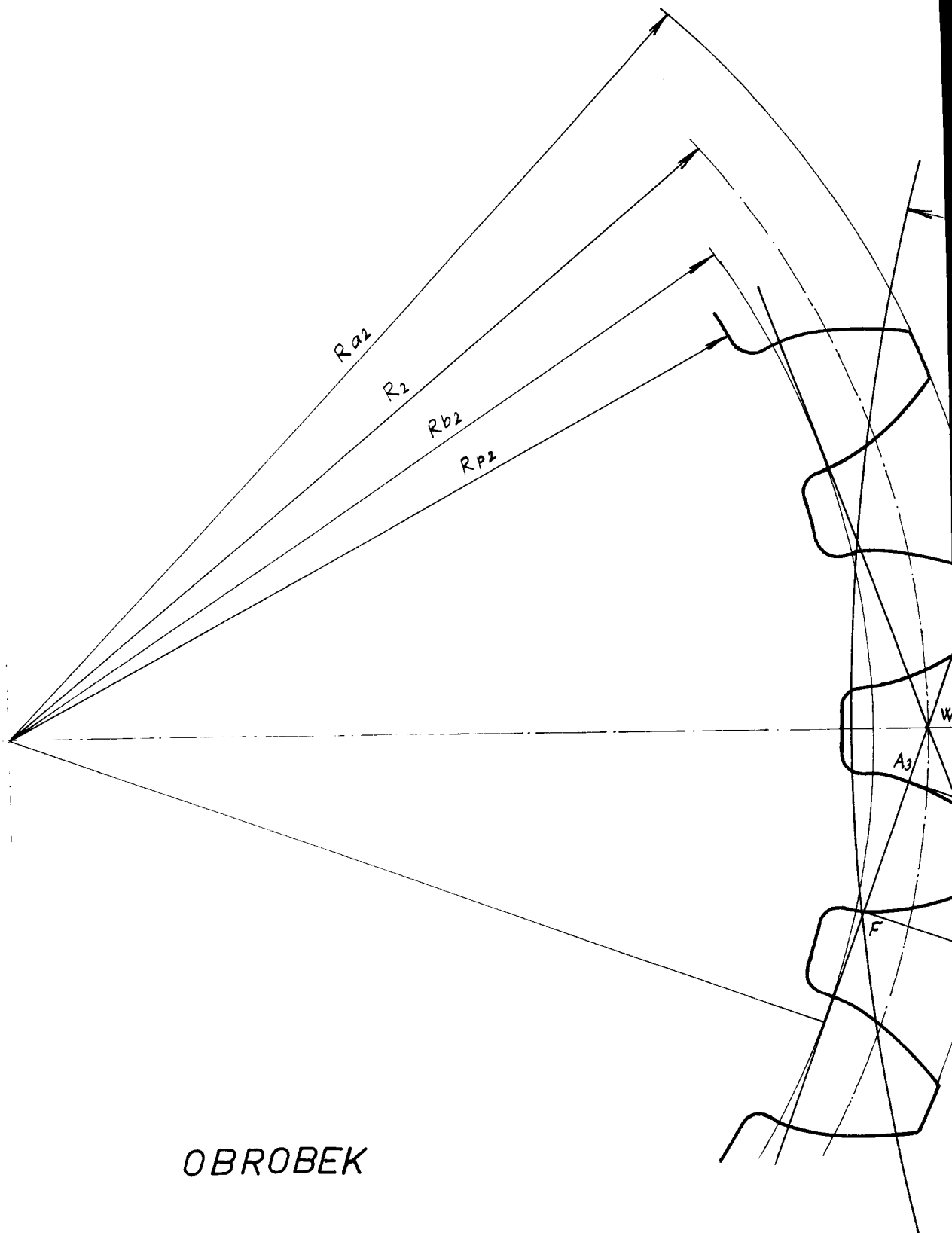
VŠST LIBEREC	Měření řezných sil při ševingování ozubených kol.	DP — STR. 368/65
		9. ŘÍJNA 1965 53
		Vratislav Naděje
hodí pro měření sil při ševingování. Frekvence dynamometru je dostatečně vysoká. Aparatura vyhovuje pro měření sil P_z a P_x. Citlivější aparatury by bylo vhodné použít pro měření síly P_y, která je poměrně malá. Výsledkem všech zkoušek by měla být teoretická znalost průběhu sil při ševingování a možnost přesného dimensování ložisek, trnů a konečně i zubu nástroje.		

7. S e z n a m l i t e r a t u r y .

1. Ing.J.Koloc: Zpráva o výzkumu 1122, VUOSO 1962
2. P.Kalivoda: Geometrie záběru při ševingování ozubených kol, ZPS 1963
3. Výzkumná zpráva 1257
4. Doc.Ing.St.Švec CSc: Konstrukce nástrojů na výrobu čelních ozubených kol, 1965
5. J.Křupala: Ševingování ozubených kol, 1957
6. Diplomová práce DP-St. 282/64
7. Řezné síly při ševingování ozubených kol velkých modulů - Stanki i instrument č.3/1965
8. Návod k obsluze ševingovacího stroje OS-30

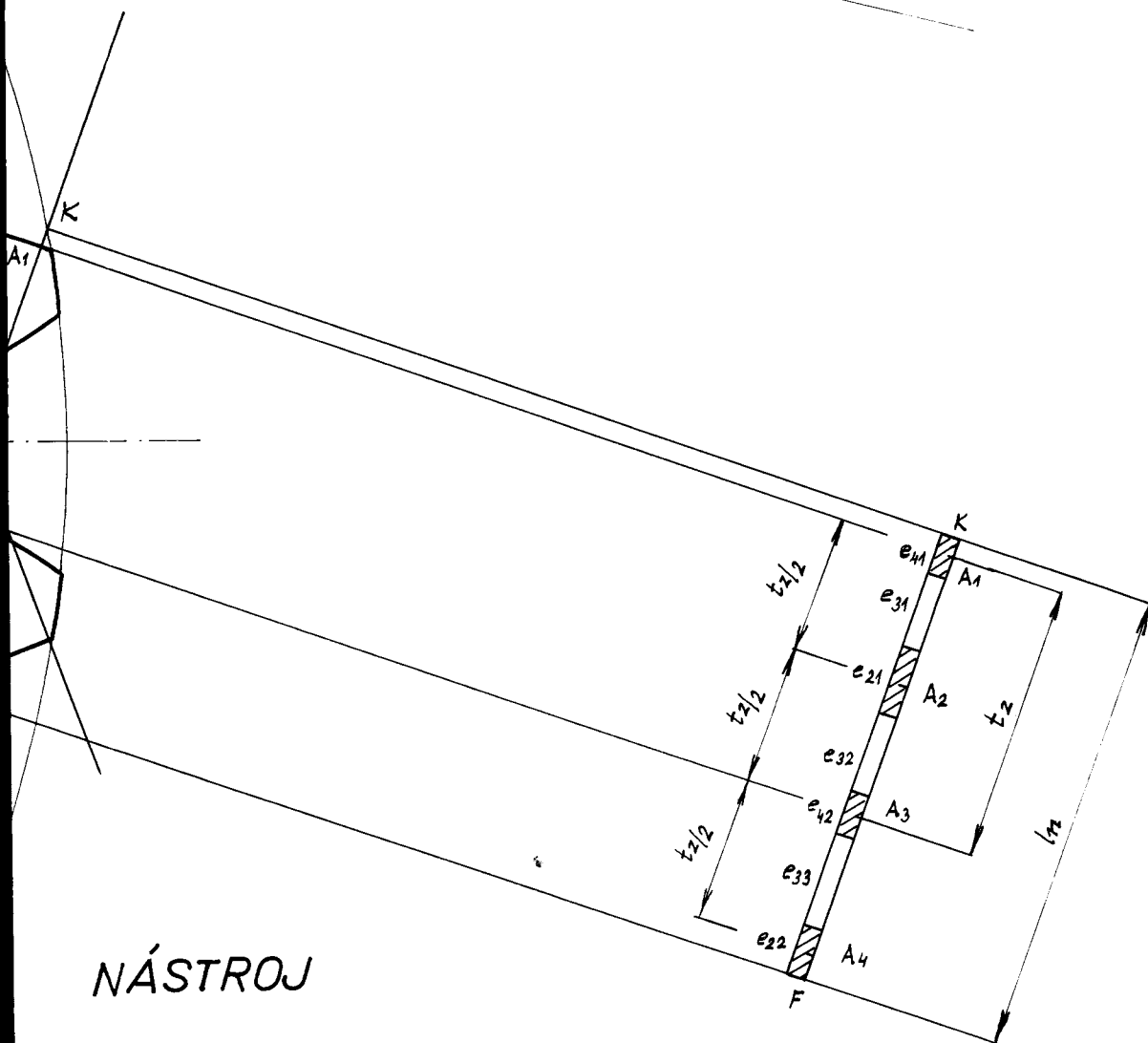
8. S e z n a m p ř í l o h .

1. Výkres záběru ševingovacího nástroje s obrobkem
2. a) Záběr ševingovacího nástroje a obrobku
b) Zuby ševingovacího nástroje
c) Ševingovací nástroj
3. a) Výkres obrobku
b) Diagram radiálního házení kola 1
4. a) Diagram radiálního házení kola 2
b) Diagram radiálního házení kola 3
5. a) Diagram radiálního házení kola 4
b) Diagram radiálního házení kola 5
6. a) Rozvinutý záběr hrubování P_z , P_x
b) Rozvinutý záběr hrubování P_y , P_x
7. a) Rozvinutý záběr hlazení P_z , P_x
b) Rovinutý záběr hlazení P_y , P_x
8. a) Záběr hrubování P_z , P_x
b) Záběr hrubování P_y , P_x
9. a) Záběr hlazení P_z , P_x
b) Záběr hlazení P_y , P_x
10. Celkový průběh hrubovacího procesu P_z , P_x
11. a) Začátek ševingovacího procesu P_z , P_x
b) Reversace při ševingování P_z , P_x
12. a) Vyhodnocování sil
b) Zub obrobku se stopami po břitech nástroje při odvalu bez posuvu obrobku
13. a) Cejchovní křivka síly P_x
b) Cejchovní křivka síly P_y
14. a) Cejchovní křivka síly P_z
b) Zatěžování dynamometru silou P_z
15. a) Zatěžování dynamometru silou P_z
b) Zatěžování dynamometru silou P_z



OBROBEK

R'_{a1}



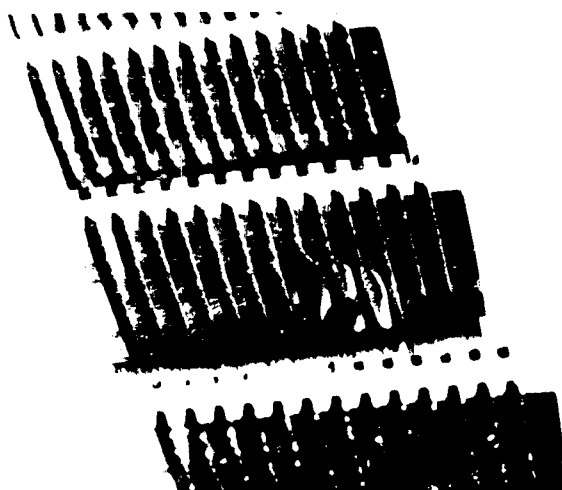
NÁSTROJ

ZVĚTŠENÍ: 3x

a)



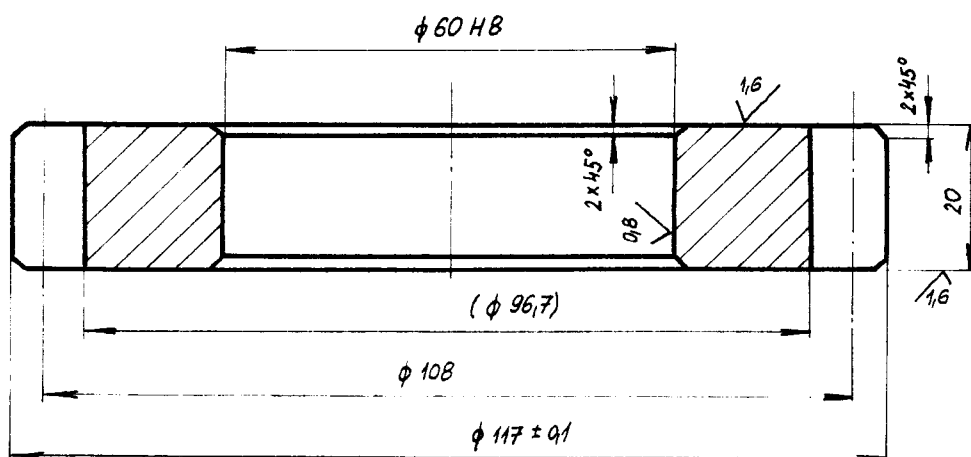
b)



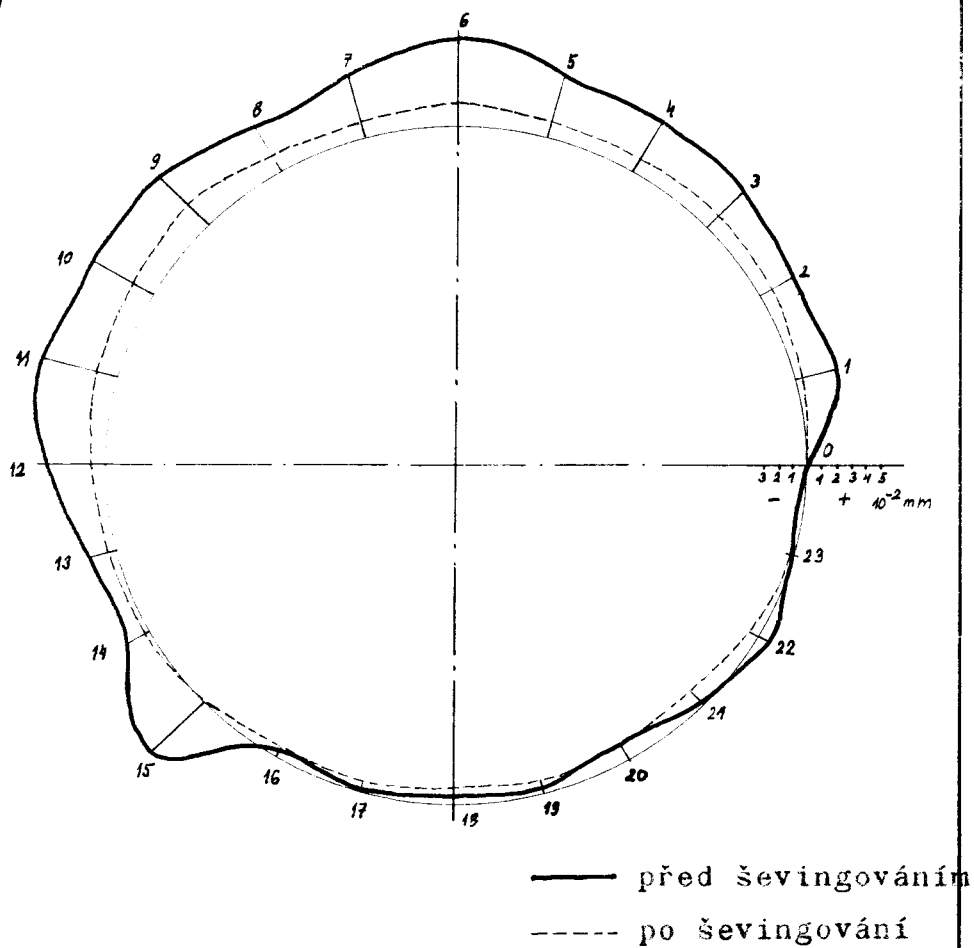
c)

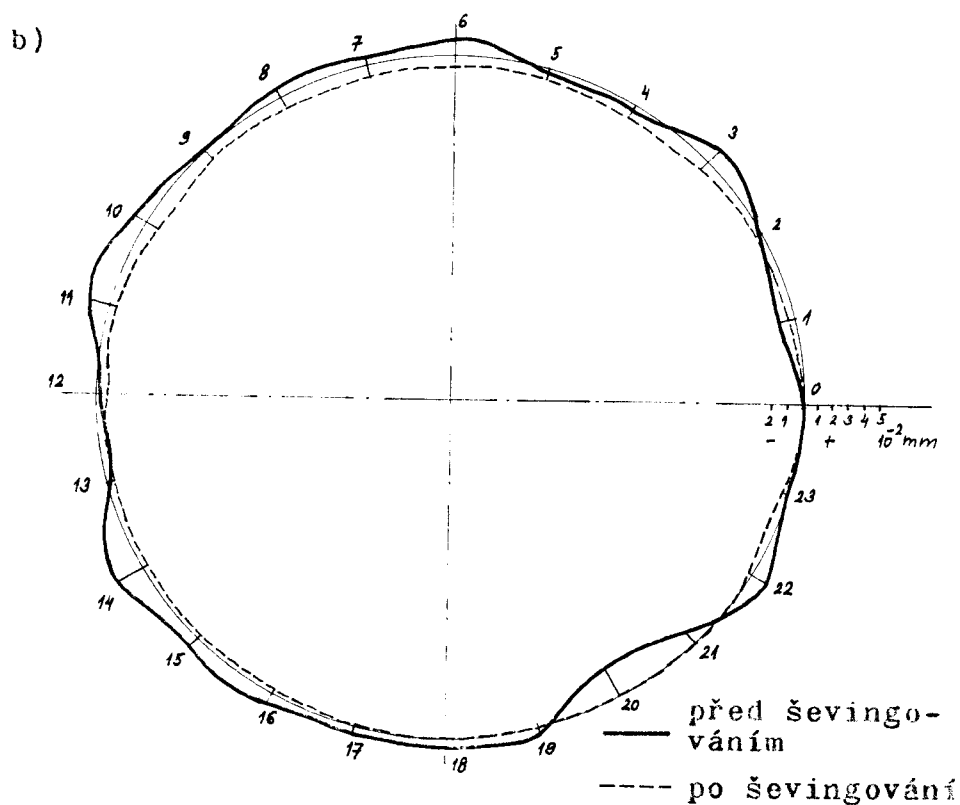
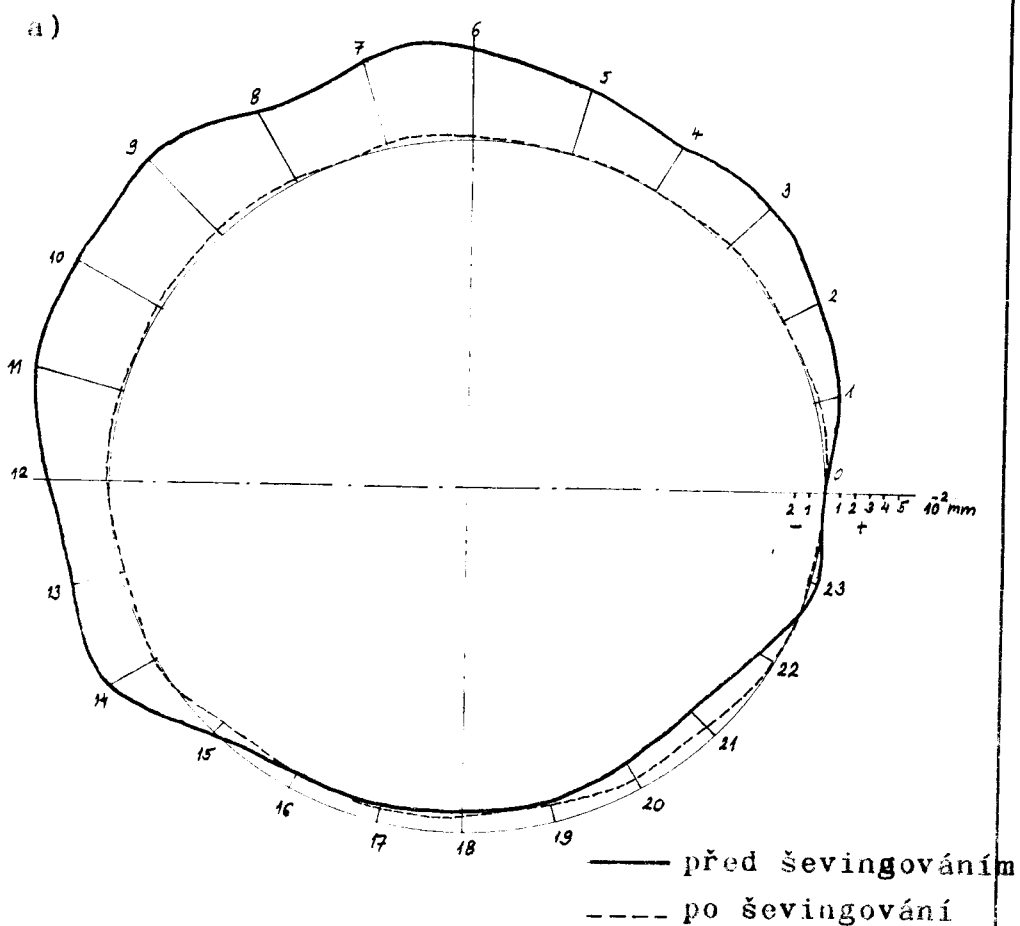


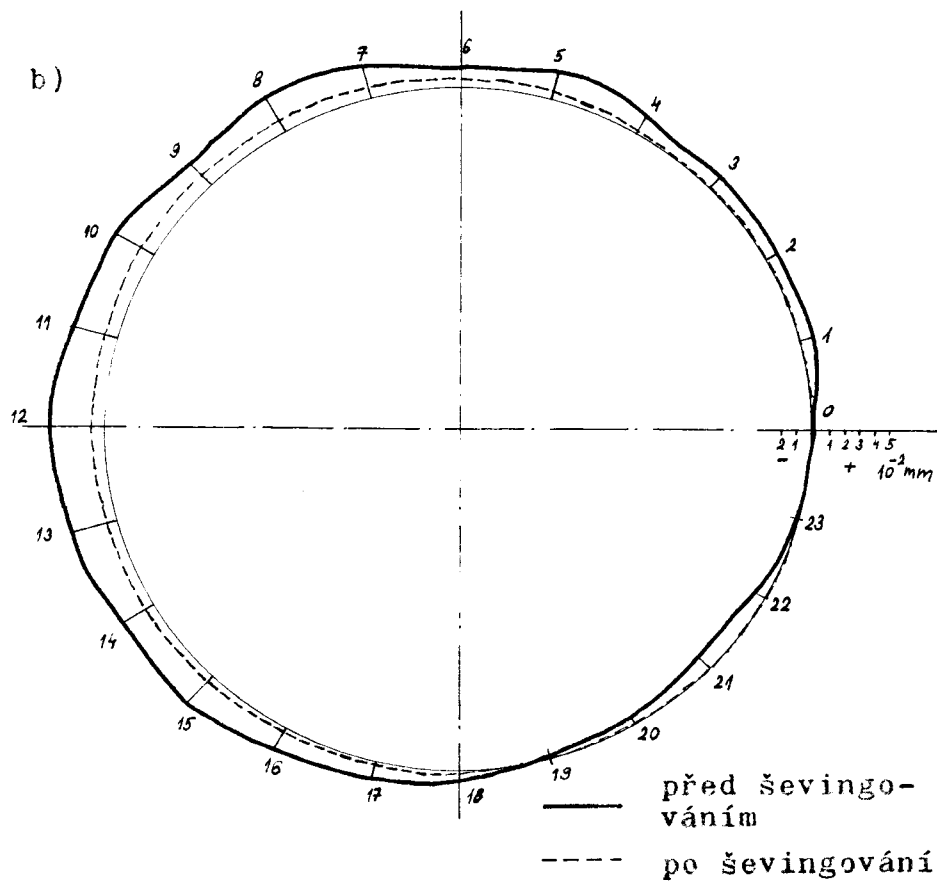
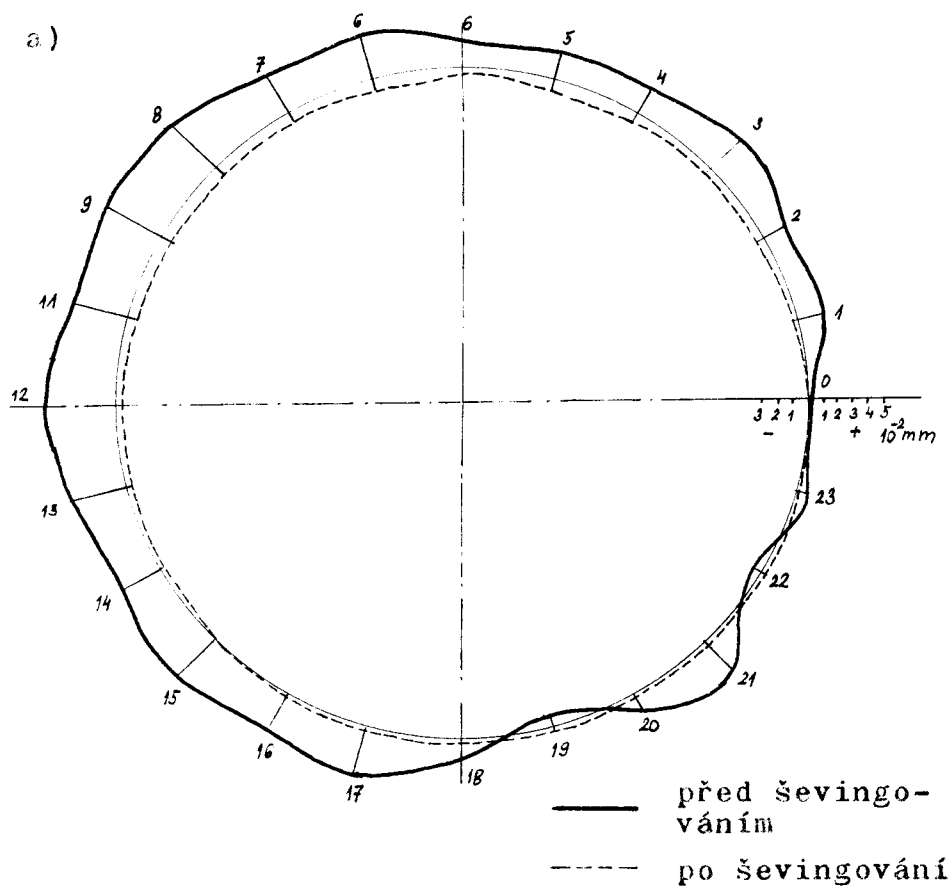
a)



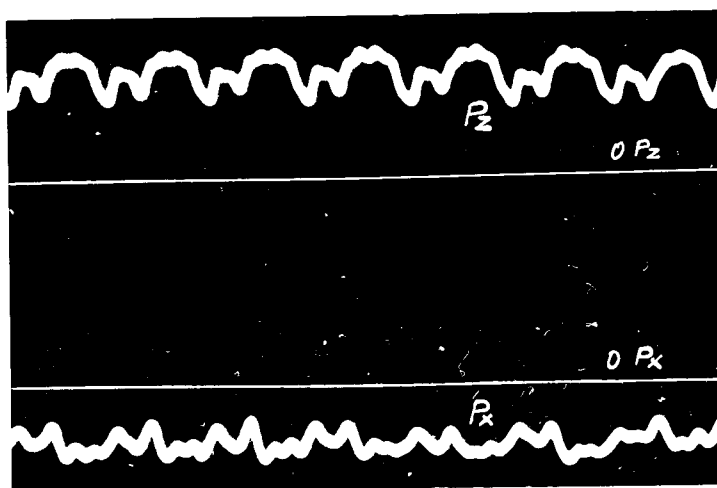
b)



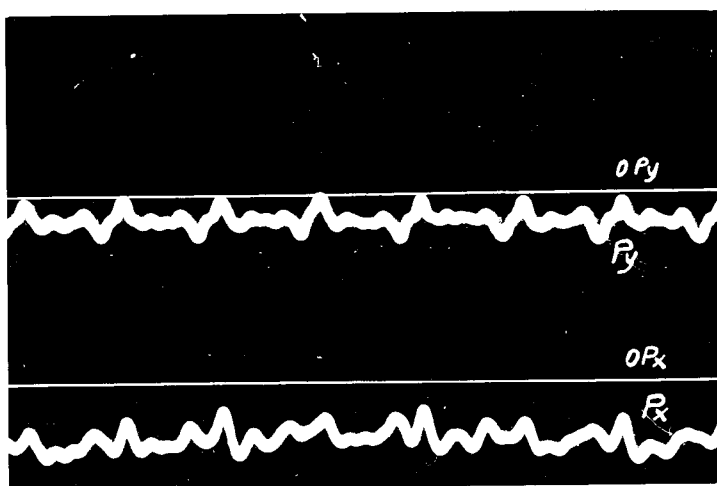




a)



b)

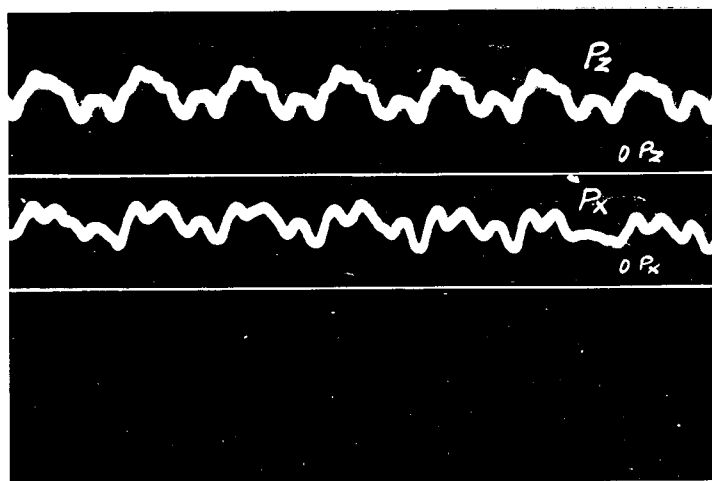
 $n = 125$ ot/min

přísuv 0,1 mm

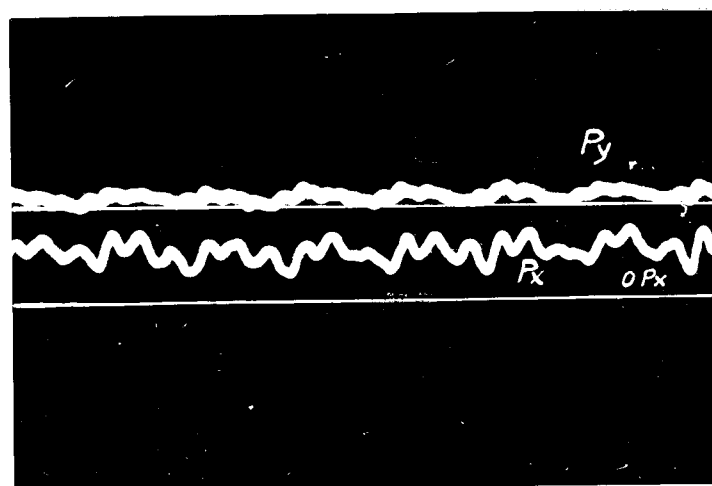
posuv 87 mm/min

rychlost filmu 500 mm/sec

a)



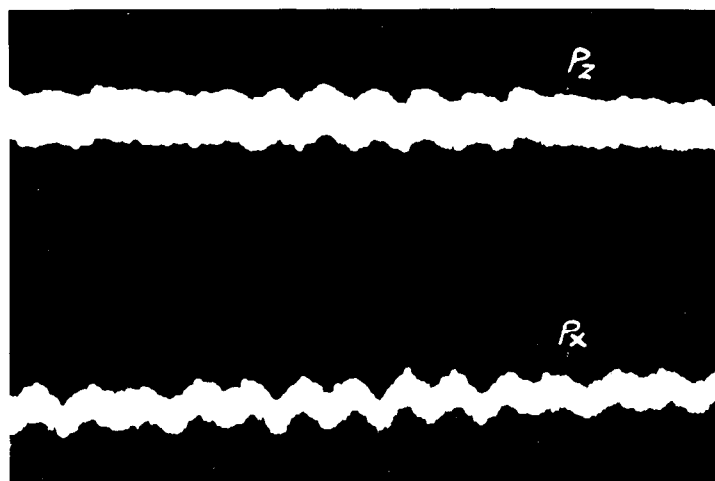
b)



$n=125$ ot/min
přísuv 0,1 mm

posuv 87 mm/min
rychlost filmu 500 mm/sec

a)



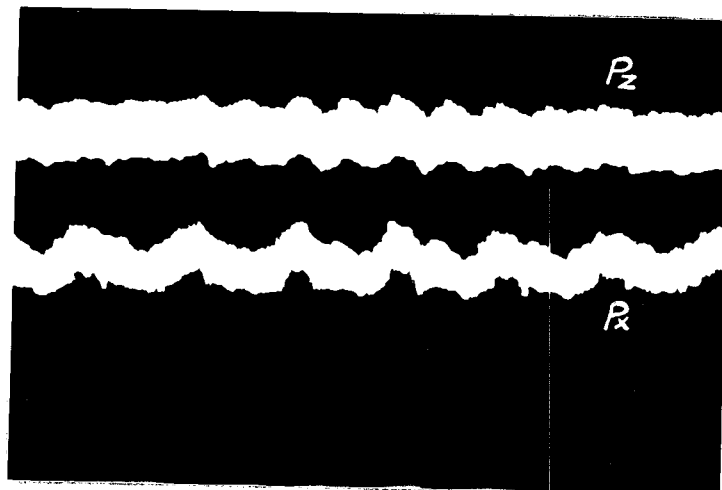
b)



$n = 125$ ot/min
přísuv $0,01$ mm

posuv 87 mm/min
rychlost filmu 10 mm/sec

a)



b)



$n = 125$ ot/min
přísuv $0,04$ mm

posuv 87 mm/min
rychlost filmu 10 mm/sec

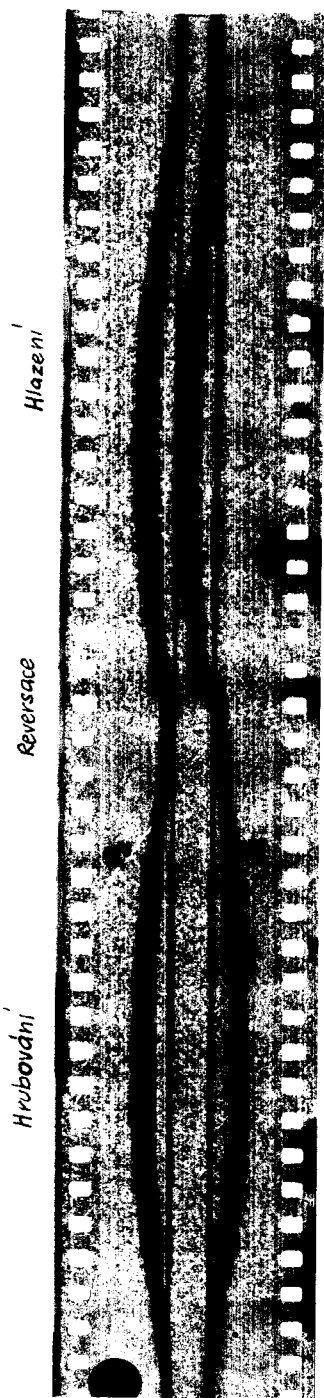
VŠST LIBEREC

PŘÍLOHA 10

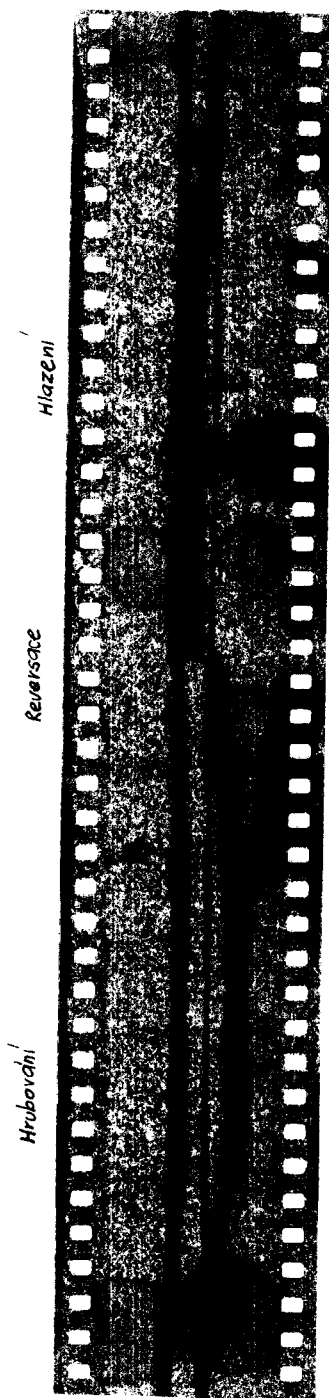
DP — STR. 368/65

9. ŘÍJNA 1965

Vratislav Naděje



$n = 125 \text{ ot/min}$
přísuv 0,04 mm



posuv 172 mm/min
rychlost filmu 10 mm/sec

VŠST LIBEREC

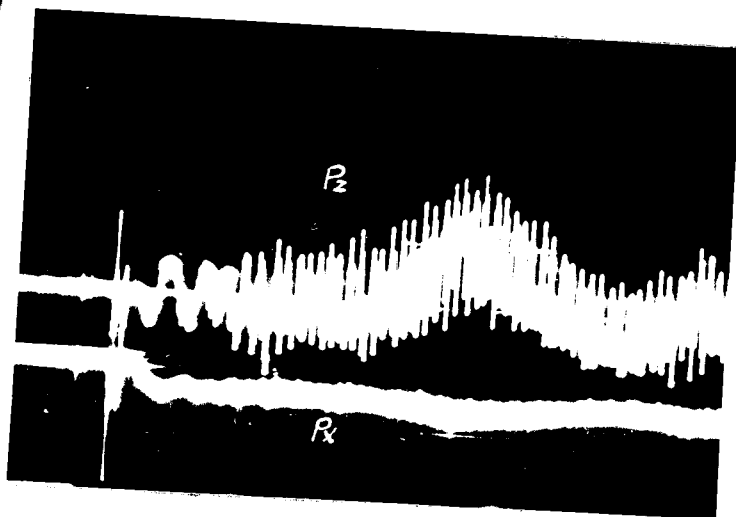
PŘÍLOHA 11

DP - STR. 368/65

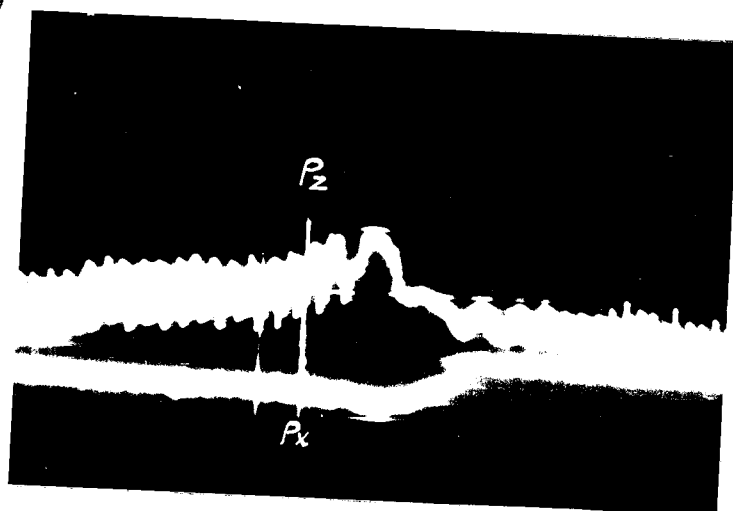
9.ŘÍJNA 1965

Vratislav Naděje

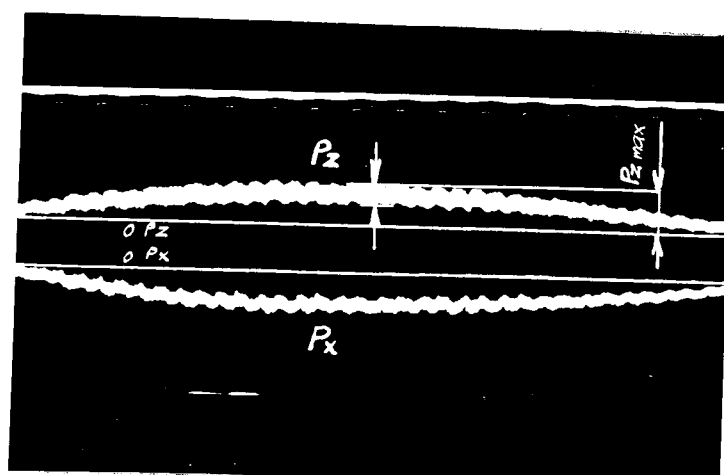
a)



b)



a)



b)

