

Vysoká škola: strojní a textilní Liberec Katedra: obrábění a organizace

Fakulta: strojní

Školní rok: 1962/63

## DIPLOMNÍ ÚKOL

pro s. Stanislava Z a v ř e l a

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 (tematu): Absolutní průběh řezných sil na těžkých přerušených řezech.

Pokyny pro vypracování:

- 1/ Význam studia řezných sil u přerušených řezů, vzhledem na trvanlivost nástrojů ze slitinových kربيدů.
- 2/ Metody měření rychle proměnných sil, registrace průběhů. Problémy dynamických měření.
- 3/ Stanovení vlastní frekvence dynamometru.
- 4/ Konstrukce cejchovacího zařízení pro tříslložkový dynamometr.
- 5/ Aplikace piezosnímate pro složku  $P_z$  - registrace dějů.
- 6/ Charakter prvního styku mezi nástrojem a obrobkem a jeho vliv na průběh řezných sil.
- 7/ Zhodnocení provedených měření.

V 105/1963 S

Rozsah grafických laboratorních prací: 8 výkresů, diagramy, schémata

Rozsah průvodní zprávy: 50 stran

Seznam odborné literatury:

Okushima K: Transitional Phenomenon in Metal Cutting, foto K00

Berthold: Das Messen der Schnittkräfte beim Drehen, foto K00

Kuklin: Povyšeni je pročnosti i iznosostojkosti tverdosplavnogo instrumenta.

Kecmarek: Badani je szybkosci obszczazani je ostrza weinajacego sie w material przy frezerowaniu czolowym, foto K00

Vedoucí diplomní práce: Prof. inž. František Krístek

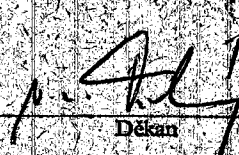
Konsultanti: Inž. Jan Šálek

Datum zahájení diplomní práce: 10. června 1963

Datum odevzdání diplomní práce: 20. cervence 1963



  
Vedoucí katedry

  
Děkan

v Liberci

dne 6. května

1963

VŠST LIBEREC  
DP-ST-179/63

DP — STR.

20. ČERVENCE 1963

Stanislav Zavřel

ABSOLUTNÍ PRŮBĚH ŘEZNÝCH SIL NA TĚŽKÝCH  
PŘERUŠENÝCH ŘEZECH

Autorizace právo se řídí sdělením MŠK pro státní  
závodné zkoušky č. 1. 777/62-III/2 ze dne  
7. července 1962. Vědomí MŠK č. VIII, seřiz. 24 ze dne  
31. 8. 1962 § 19 autorského zákona č. 115/53 Sb.

|                              |                                               |                   |
|------------------------------|-----------------------------------------------|-------------------|
| VŠST LIBEREC<br>DP-ST-179/63 | Absolutní měření sil<br>na přerušených řezech | DP — STR. 2       |
|                              |                                               | 20. ČERVENCE 1963 |
|                              |                                               | Stanislav Zavřel  |

|                                                 |         |
|-------------------------------------------------|---------|
| <u>Obsah</u>                                    |         |
| Úvod . . . . .                                  | str. 3  |
| Zbytková napětí ve slinutém karbidu . . . . .   | str. 6  |
| Řezné síly na plynulém řezu . . . . .           | str. 7  |
| Řezné síly na přerušených řezech . . . . .      | str. 10 |
| Vliv teploty . . . . .                          | str. 11 |
| Vliv obklopujícího prostředí . . . . .          | str. 11 |
| Působení řezné síly . . . . .                   | str. 12 |
| Silový ráz . . . . .                            | str. 13 |
| Dynamické měření sil . . . . .                  | str. 17 |
| Použité přístroje . . . . .                     | str. 19 |
| Konstrukce cejchovacího zařízení . . . . .      | str. 22 |
| Naměřené hodnoty . . . . .                      | str. 29 |
| Aplikace piezosnímače na složku $P_z$ . . . . . | str. 38 |
| Provedená měření . . . . .                      | str. 43 |
| Výsledky měření . . . . .                       | str. 46 |
| Zhodnocení provedených měření . . . . .         | str. 52 |
| Závěr. . . . .                                  | str. 54 |
| Literatura . . . . .                            | str. 55 |

Úvod.

Plán rozvoje československého hospodářství je zaměřen na hlavní cíl naší společnosti, na vytvoření materiální základny pro přechod ke komunismu. Nutným předpokladem je mohutný rozvoj výroby všech odvětví našeho průmyslu, zvláště pak strojírenství, které se podílí největším dílem na naší celkové průmyslové výrobě. Souběžně s růstem objemu výroby musí být zdokonalována celková technická, technologická a organizační stránka strojírenské výroby.

Podmínkou rozvoje strojírenské výroby je stále zvyšování produktivity práce při současném snižování vlastních nákladů. V.I. Lenin ve své práci " Velká iniciativa " napsal: " Produktivita práce je nakonec to nejdůležitější a hlavní pro vítězství nového společenského řádu. Kapitalismus vytvořil produktivitu práce za feudalismu nevídanou, kapitalismus může být a bude definitivně poražen tím, že socialismus vytvoří mnohem vyšší produktivitu práce."

Zvyšování produktivity práce klade zvýšený důraz na dokonalé využití materiálů z hlediska jejich mechanických vlastností, prodloužení životnosti nástrojů snížením jejich opotřebení a pod. Abychom mohli dosáhnout v procesu třískového obrábění opravdu optimálních podmínek, je třeba znát všechny druhy namáhání, které v průběhu řezání na nástroj působí.

Bez znalostí všech teoretických zákonitostí ovlivňujících řezání a bez zvládnutí metod umožňujících přesné proměření všech vlivů působících při obrábění na nástroj i stroj, nebyl by možný další vývoj dokonalejších obráběcích strojů i nástrojů. Proto musí každé nové technologii procesu obrábění předcházet dokonalý vědecký výzkum. Na př. přesné znalosti hodnot řezných sil se uplatňují při návrzích a výpočtech nových strojů, slouží při stanovení řezných podmínek, při určení vhodného nástroje a pod.

Snaha po neustálém zvyšování produktivity obrábění se projevuje stoupajícími požadavky jak na obráběcí stroje, tak i na vlastnosti nástrojů. Zvětšování řezných rychlostí je omezeno tím, že i přes vysokou řezivost současných nástrojových materiálů má za následek podstatný pokles trvanlivosti břitů. Jiná možnost zvětšení produktivity spočívá v odebíráni velkých průřezů třísky při velkém posuvu. To však vyvolává vyšší namáhání nástrojů řeznými odpory. Proto končí značné procento nástrojů lomem břitů, nebo břitových destiček. Procento nedokonale využitých nástrojů, které byly zničeny vnějšími příčinami je zvlášť vysoké při obrábění za obtížných řezných podmínek. Mezi tyto obtížné podmínky patří také obrábění s přerušovaným řezem. V tomto případě je nástroj namáhán rázem a toto rázové namáhání je značně vyšší než obvyklý řezný odpor při plynulém

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |                                               |                   |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------|-------------------|
| VŠST LIBEREC<br>DP-ST-179/63                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | Absolutní měření sil<br>na přerušených řezech | DP — STR. 5       |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |                                               | 20. ČERVENCE 1963 |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |                                               | Stanislav Zavřel  |
| <p>řezu. Tyto okolnosti jsou zvláště významné při použití slinutých karbidů jako řezného materiálu. Jejich pevnost v ohybu je několikrát nižší než pevnost rychlořezných ocelí. Naopak zase značně vyšší řezivost slinutých karbidů podstatně zvyšuje produktivitu. Proto dochází k intenzivnímu rozvoji slinutých karbidů používaných na řezné nástroje, zejména ke zvyšování jejich hověvnatosti.</p> <p>Dobrych výsledků lze však dosáhnout i s nynějšími slinutými karbidy, učiní-li se vhodná opatření, vyplývající z rozboru záběrových podmínek.</p> <p>K tomuto účelu je zaměřena také tato diplomová práce, jejímž úkolem je právě výzkum řezných sil působících na nástroj ze slinutého karbidu při těžkém přerušeném řezu.</p> |                                               |                   |

Zbytková napětí ve slinutém karbidu

Nejdříve je třeba všimnout si stavu nástroje ze slinutého karbidu ještě před začátkem řezání. Již v tomto stavu jsou v něm zbytková napětí, která vznikla při pájení plátku ze slinutého karbidu na ocelový držák a při ostření.

Při pájení se nástroj zahřeje na teplotu  $1000 - 1200^{\circ}\text{C}$ , což je teplota vyšší než teplota přeměny oceli. Ochlazováním dojde v ocelovém držáku k přeměně austenitu na ferit a perlit. Ze všech struktur oceli má austenit nejmenší objem, proto se při ochlazování přes teplotu přeměny zvětší objem držáku. Ve slinutém karbidu nedochází při těchto teplotách k žádné strukturní přeměně, takže po ochlazení zůstanou ve slinutém karbidu tahová napětí.

Při ostření se zahřívají na vysokou teplotu povrchové vrstvy slinutého karbidu, zatím co vrstvy vzdálenější od povrchu se zahřívají na teplotu podstatně nižší, která se zmenšuje s rostoucí vzdáleností od povrchu. Se světšující se teplotou se materiál roztahuje, takže v povrchových vrstvách vzniknou tlaková napětí, ve vzdálenějších vrstvách napětí tahová. Při vysokých teplotách se však již projevuje jistá plasticita slinutého karbidu, takže v povrchových vrstvách dojde k plastické deformaci.

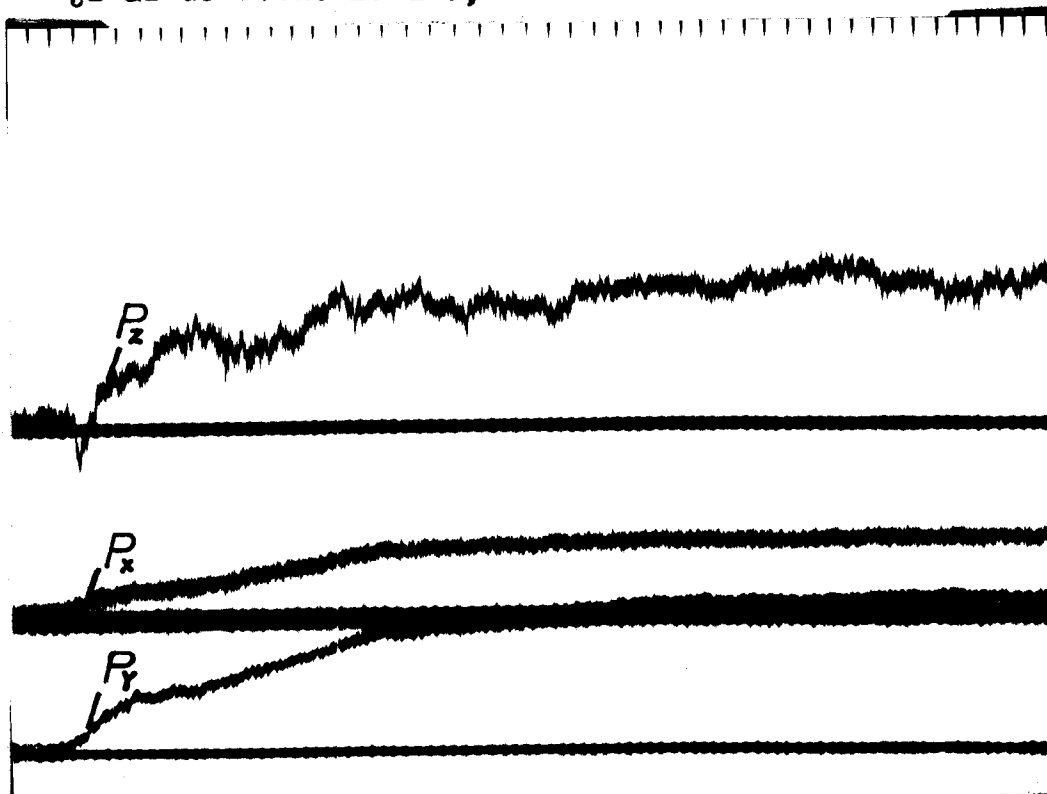
Po ochlazení zůstane v povrchových vrstvách tahové napětí.

Poněvadž slinutý karbid má v tahu mez pevnosti asi pětkrát nižší než v tlaku, [3] mohou být zbytková tahová napětí v některých případech vyšší než mez pevnosti, což může mít za následek vznik trhlin.

#### Řezné síly na plynulém řezu

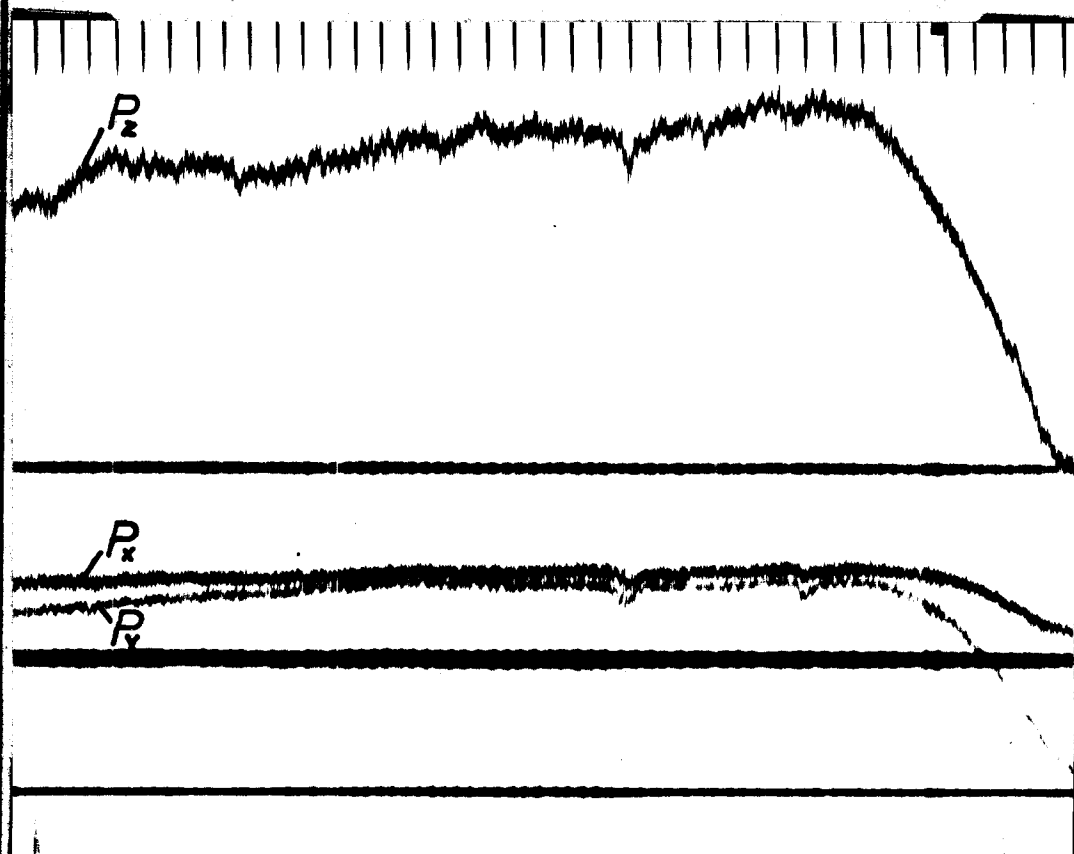
Při plynulém řezání teplota na začátku řezání stoupne za 5 - 10 sec [5] stoupne na určitou hodnotu kde se ustálí a během řezání se již nemění. Změní se teprve se vzrůstem opotřebení nástroje.

Řezné síly na počátku řezání pozvolna narůstají až do svého maxima, kde se ustálí. /obr. 1/



Obr. 1

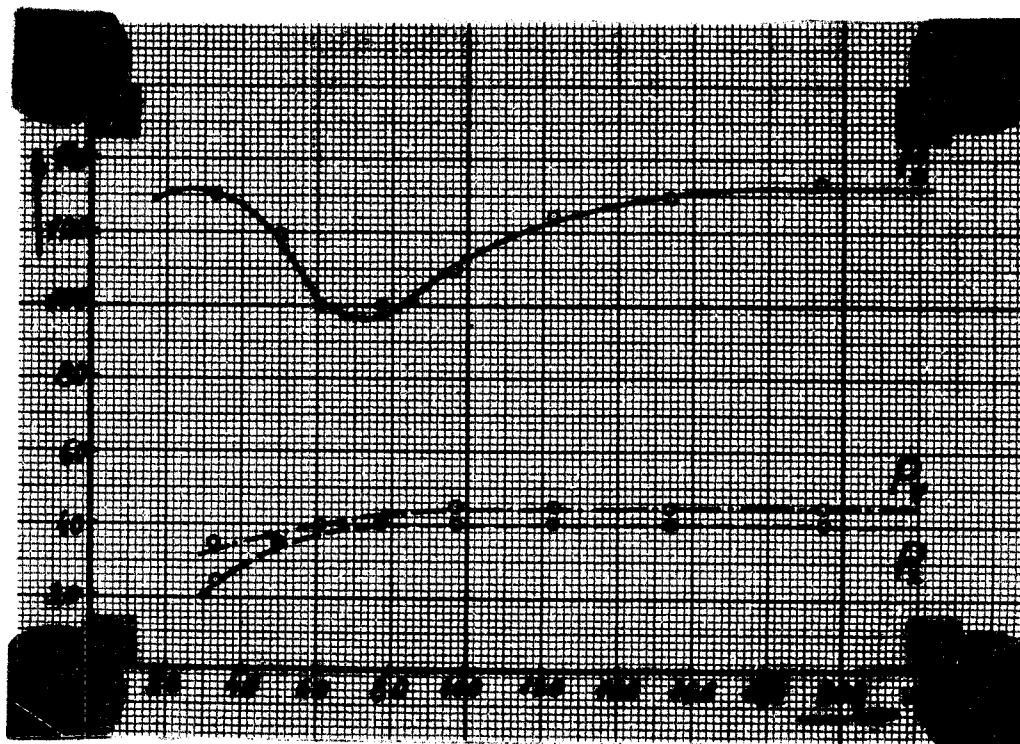
Po odlehčení klesnou řezné síly opět postupně na nulu. /obr. 2/. Kmitání řezných sil, které se zde



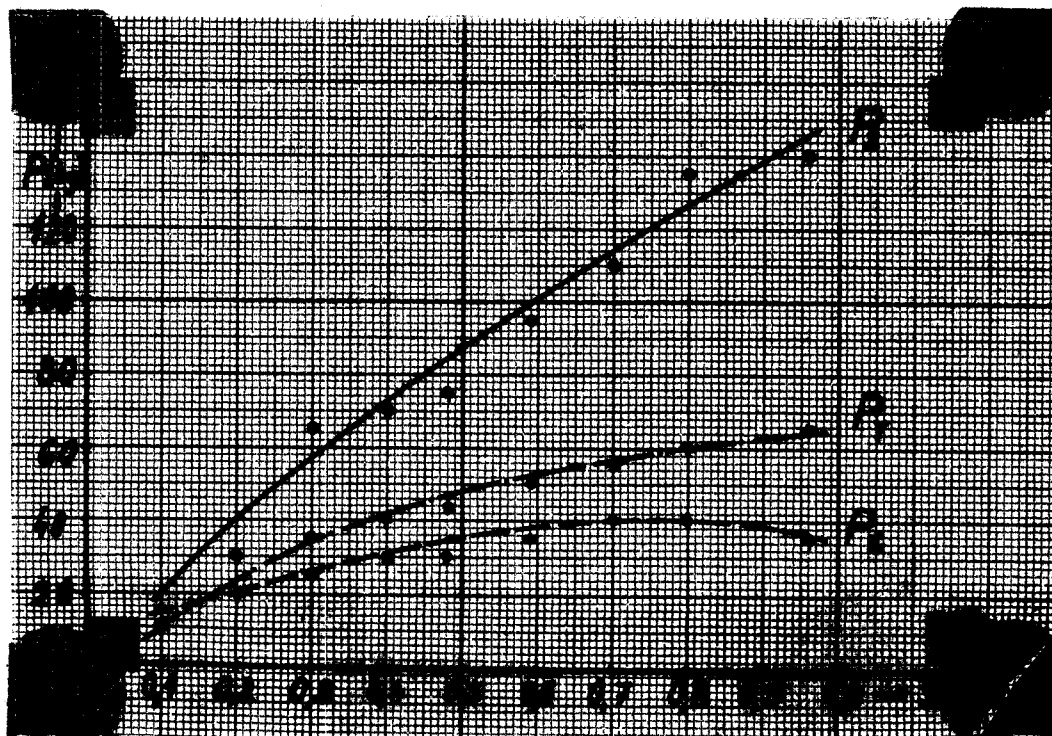
Obr. 2

Obr. 2 Pokles řezných sil po odlehčení plynulého řezu.

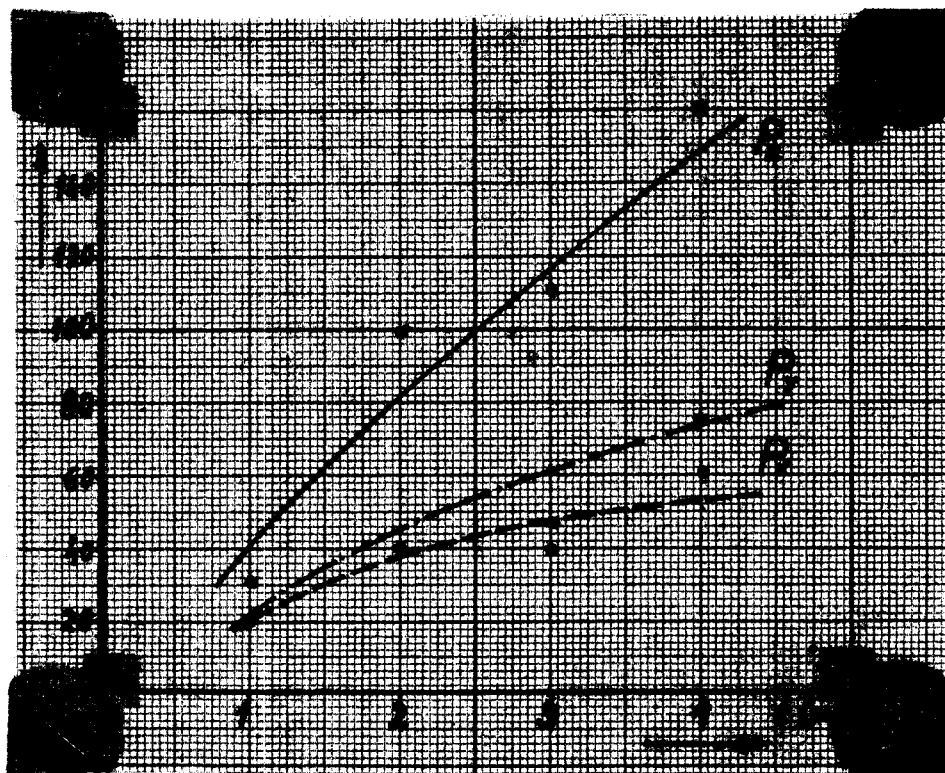
projevuje, je způsobeno jak vlastním, tak i vynuceným <sup>a neřeznou volatí v obvodu</sup> chvěním nože. Velikost řezné síly je závislá jednak na druhu obráběného materiálu, jednak na řezných podmínkách. Na obr. 3 jsou diagramy průběhu velikostí řezných sil v závislosti na řezných podmínkách naměřené tříslložkovým dynamometrem VUOSO.



Obr. 3a



Obr. 3b



Obr. 3c

Obr. 3 Průběh řezných sil v závislosti na řezných podmínkách

Materiál 12060

Nástroj ČSN 3713 S2 20x20

a/  $P = f / v /$   $s = 0,2 \text{ mm/ot}$ ,  $t = 2 \text{ mm}$

b/  $P = f / s /$   $v = 6 \text{ lm/min}$   $t = 1 \text{ mm}$

c/  $P = f / t /$   $v = 6 \text{ lm/min}$   $s = 0,2 \text{ mm/ot}$

### Řezné síly na přerušovaných řezích

Zcela jiné poměry než u řezu plynulého nastanou u řezu přerušového. Je to vlivem:

- 1/ kolísavého průběhu teploty
- 2/ obklopujícího prostředí
- 3/ pulsující řezné síly
- 4/ silového rázu

### 1/ Vliv teploty

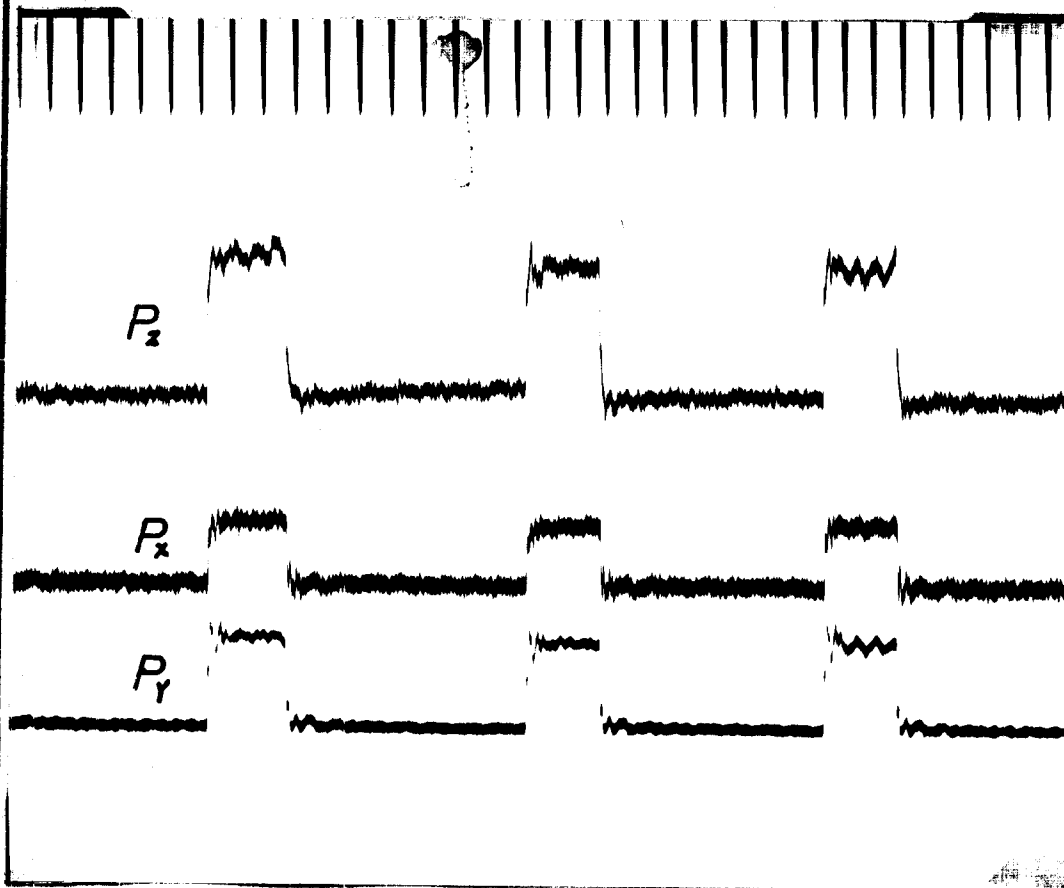
Teplota při řezání dosáhne velmi prudce svého maxima a během přerušení nastane opět velmi prudké ochlazení vlivem přístupu obklopujícího prostředí. Pokles teploty při přerušení řezu je dán jednak fyzikálními vlastnostmi slinutého karbidu a obklopujícího prostředí, jednak vzájemným poměrem periody přestávky a periody řezání. Čím delší je perioda přestávky, tím vyšší je kolísání teplot. To má za následek silná vnitřní pnutí ve slinutém karbidu, která se skládají s napětím způsobeným řeznou silou a zbytkovým napětím ve slinutém karbidu, a vedou k intenzivnímu opotřebení v podobě makro- i mikrotrhlin.

### 2/ Vliv obklopujícího prostředí

Jelikož je při plynulém řezání omezena možnost přístupu vzdušného kyslíku k zahřátým plochám břitu, vznikají na těchto plochách oxydy jen výjimečně. Oproti tomu u přerušených řezu v okamžiku přerušení má vzdušný kyslík volný přístup k břitovým plochám zahřátým na vysokou teplotu. Tím vznikne oxydická vrstva, která se v periodě řezání působením řezné síly rozruší a unese třískou a obrobkem. [5] Stálým opakováním tohoto jevu se urychlí proces opotřebení.

### 3/ Působení řezné síly

Oproti plynulému řezání, kde řezné síly narůstají postupně, u přerušeného řezání dosáhne řezná síla téměř okamžitě svého maxima a v okamžiku přerušení ihned klesne na nulu. V konkrétním případě našeho měření dosáhne řezná síla během jedné otáčky dvakrát svého maxima a dvakrát opět klesne na nulu. /obr. 4/



Obr. 4

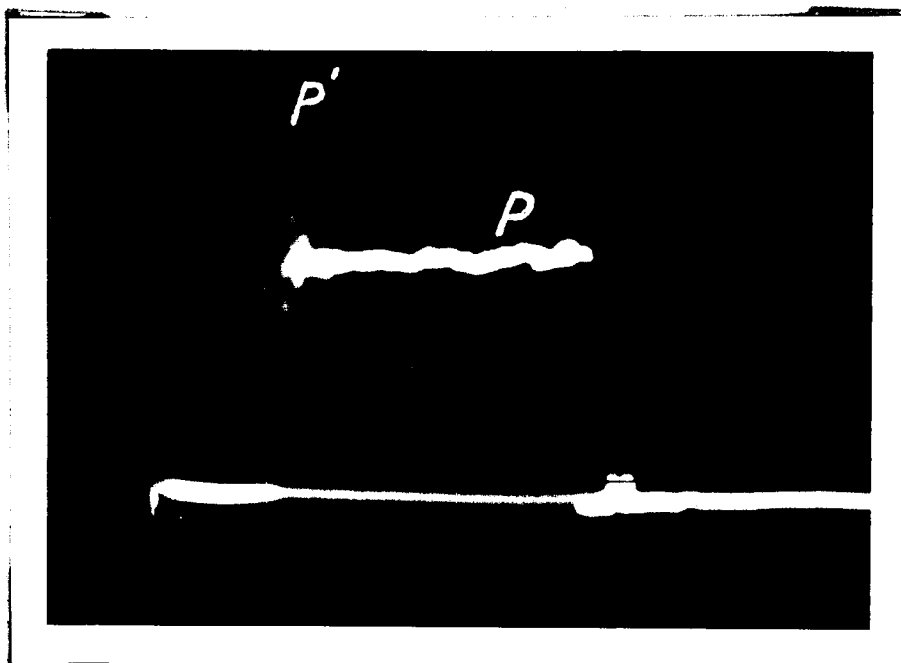
Obr. 4 Průběh řezné síly u přerušeného řezu

Toto proměnné pulsující zatížení vede k únavě materiálu slinutého karbidu a tím k snížení jeho

trvanlivosti.

#### 4/ Silový ráz

Dalším faktorem působícím při přerušeném řezání je silový ráz na počátku záběru. Řezná síla ihned po prvním dotyku nástroje s obrobkem dosáhne své maximální hodnoty  $P'$ , pak klesne na nižší hodnotu  $P$ , kde se ustálí a v okamžiku přerušení klesne na nulu./obr.5/



Obr. 5

Obr. 5 Silový ráz na počátku záběru

Tento jev nelze vysvětlit rázem dvou pružných těles, protože nástroj se při rázu prakticky nepohybuje a také obrobek svou rychlost nezmění. Kuklin [3] vysvětluje tento jev růstem meze kluzu při dynamic-kém zatížení oproti zatížení statickému. Při řezání

|                              |                                               |                   |
|------------------------------|-----------------------------------------------|-------------------|
| VŠST LIBEREC<br>DP-ST-179/63 | Absolutní měření sil<br>na přerušených řezech | DP — STR. 14      |
|                              |                                               | 20. ČERVENCE 1963 |
|                              |                                               | Stanislav Zavřel  |

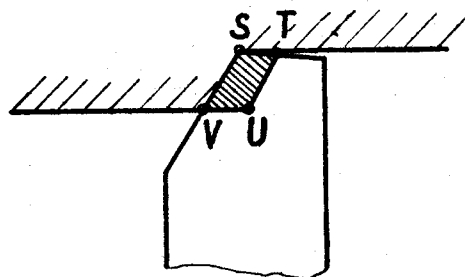
dochází nejprve k pružné deformaci za kterou následuje plastická deformace. Růstem dynamické meze kluzu rychle roste deformační odpor materiálu a výsledkem je krátkodobé zvýšení zatížení. Jakmile je dynamická mez kluzu překročena, nashromážděná pružná deformace přejde v plastickou, tím opět klesne řezný odpor a sníží se zatížení. Tento přechod trvá velmi krátce  $10^{-5}$  sec.

Velikost rázu, ke kterému při soustružení s přerušeným řezem dochází při vnikání nože do obrobku je závislá na:

- 1/ geometrii břitu nástroje
- 2/ řezných podmínkách / řezné rychlosti, hloubce řezu, posuvu /
- 3/ tvaru přerušení obrobku
- 4/ obráběném materiálu

Kromě těchto činitelů bude velikost silového rázu závislá ještě na dalších činitelích jako jsou na př. vyložení nástroje, tuhost upnutí, atd. [4, 6, 7]

V důsledku různé geometrie řezného nástroje a tvaru přerušení dochází k prvnímu dotyku čela nástroje s obrobkem také různě. Je možno devět způsobů prvního dotyku. Na obr. 6 je zakreslen průřez odebírané třísky na čele nástroje. První dotyk může nastat v bodech S, T, U, V, nebo může dojít k prvnímu dotyku v přímkách ST, UV, SV, UT, nebo k plošnému dotyku STUV v tom případě, když se v okamžiku záběru



Obr. 6

Obr. 6 Průřez odebírané třísky na čele nástroje

ztotožní záběrová rovina s rovinou čela nože.

Tento způsob prvního dotyku podstatně ovlivňuje rychlost zatěžování nože a tím velikost silového rázu. Kuklin [3] uvádí vztah

$$v_z = \frac{P'}{t_{def}} \quad (1)$$

$v_z$ ..... rychlost zatěžování

$P'$ ..... maximální síla působící na nůž / silový ráz /

$t_{def}$ ... čas od počátku dotyku nástroje s obrobkem až po dosažení dynamické meze kluzu

$$t_{def} = \frac{\delta_{kr}}{v_r} \quad (2)$$

$\delta_{kr}$ ..... deformace v místě dotyku, při které se dosáhne meze kluzu

$v_r$ ..... relativní rychlost pohybu obrobku vzhledem k nástroji

VŠST LIBEREC  
DP-ST-179/63

Absolutní měření sil  
na přerušených řezech

DP — STR. 16

20. ČERVENCE 1963

Stanislav Zavřel

Pro velmi tuhou soustavu je  $v_r = v$  a  $d_k$  velmi malé takže  $t_d$  je velmi krátké a tedy  $v_z$  velmi vysoká. Pro  $t_d = 10^{-3}$  sec je udáván [3] poměr  $\frac{P'}{P} = 2$ . Při ještě vyšších rychlostech zatěžování se může tento poměr blížit ke třem.

Dynamické měření sil

Měřicí přístroje pro měření sil je možno zhruba dělit na mechanické a mechanicko-elektrické. Při měření dynamického průběhu sil již nepostačují jednoduché metody mechanické, je proto nutné je kombinovat s metodami elektrickými. Je mnoho elektrických principů, které ve spojení s mechanickými dávají měřiče velmi citlivé a přesné, na př. princip induktivní, kapacitní, magnetostrikční, piezoelektrický a pod. [1]

Nejvýhodnější a také nejčastěji používané snímače jsou odporové tensometrické pásy, pracující na principu změny odporu s prodloužením podle vztahu

$$\frac{\Delta R}{R} = k \cdot \frac{\Delta l}{l} \quad (3)$$

$\frac{\Delta R}{R}$  .... poměrný přírůstek odporu

$k$  .... konstanta závisící na materiálu odporového drátku

$\frac{\Delta l}{l}$  .... poměrné prodloužení /zkrácení/ tensometrického pásu

Drátkové snímače se zapojují do obvodu můstku. Poněvadž poměrné deformace ocelových součástí v mezích pružných deformací jsou velmi malé, je také velmi malá hodnota  $\frac{\Delta R}{R}$ , prakticky jen několik desetin, nebo dokonce i setin procenta. Při tak malé pracovní změně odporu snímače má velký význam teplo-

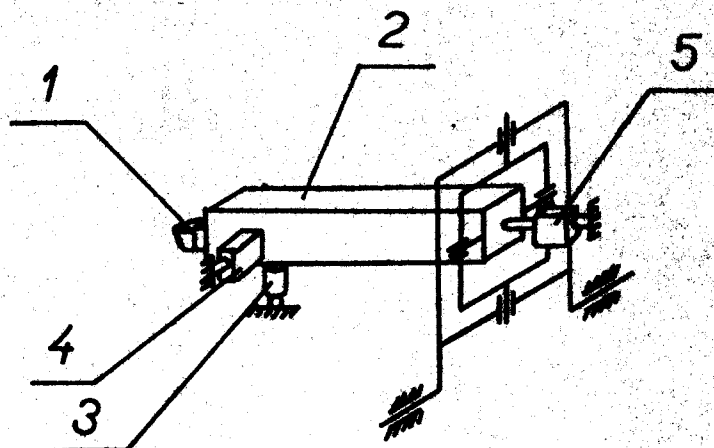
|                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |                                                       |
|------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|
| VŠST LIBEREC<br>DP-ST-179/63 | Absolutní měření sil<br>na přerušených řezech                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | DP — STR. 18<br>20. ČERVENCE 1963<br>Stanislav Zavřel |
|                              | <p>ta při které snimač pracuje, protože změna odporu, vyvolaná změnou teploty o několik stupňů, je srovnatelná se změnou odporu vyvolanou měřenou deformací. Aby se odstranily chyby měření způsobené změnou teploty, přilopuje se na stejnou součást kde je přilepen snimač aktivní ještě snimač kompensáční, připojený do jiné větve můstku. Oba snimače tak pracují ve stejných teplotních podmínkách a změna odporu vyvolaná změnou teploty je v obou větvích můstku stejná, takže můstek i při změněné teplotě zůstane vyvážen.</p> <p>Měřicí přístroje musí být konstruovány tak, aby nepůsobily při měření svými účinky na měřené veličiny. U dynamometrů jde o požadavek vysoké tuhosti. Při nedostatečné tuhosti by dynamometr svou deformací působil na odebíranou třísku a tím i na měřenou řeznou sílu. Zvláště u dynamického měření by se málo tuhým dynamometrem změnila tuhost celého kmitavého systému a tím i frekvence a amplituda vzniklých kmitů, na nichž závisí měřené síly. Poněvadž odporové tensometry pracují na principu měření deformace způsobené měřenou silou je třeba, aby posuv nebo deformace pracovní části snimače byla co nejmenší.</p> <p>Na velikost naměřených řezných sil nesmí mít velký vliv vyložení nástroje, změna teploty, cejchování musí být bez hysterse a dále nesmí měřicí přístroj pro dynamická měření zkreslovat měřený pochod, musí bez zpoždění zachytit každou změnu řezné síly.</p> |                                                       |

Proto je nutná vysoká vlastní frekvence dynamometru, protože dynamometr může přesně zachytit jen takové frekvence, které jsou nižší než  $1/5$  vlastní frekvence dynamometru. Pro třísložkové přístroje platí, že vlastní frekvence je ve všech třech směrech přibližně stejná. Berthold také uvádí, že měřicí přístroj s malou vlastní frekvencí dává vyšší hodnoty řezných sil než jsou jejich hodnoty skutečné. Proto pro řezání nelegovaných ocelí při rychlosti  $v = 0 - 300 \text{ m/min}$  a posuvu  $s = 0 - 1 \text{ mm/ot}$  musí být vlastní frekvence vyšší než  $3 \text{ kHz}$ . [2]

Dynamometr se snimači se připojuje k tensometrické aparatuře, kde se proud procházející měřicí větví můstku zesiluje. Pro možnost registrace celého průběhu řezných sil se tensometrická aparatura připojuje ke smýčkovému oscilografu, kde se průběh zaznamenává na oscilografický papír. Jiná možnost registrace je připojení osciloskopu k tensometrické aparatuře a fotografování, nebo filmování jeho obrazovky.

#### Použité přístroje

K měření řezných sil na přerušeném řezu byl použit třísložkový dynamometr VUOSO. Tento dynamometr je založen na principu kardanova kloubu, takže nožový držák se může volně pohybovat kolem všech tří os. Ve směrech působení řezných sil je nožový



Obr. 7

Obr. 7 Schematické znázornění tříložkového dynamometru VUOSO

- 1... nůž
- 2... nožový držák
- 3... měrná dóza složky  $P_z$
- 4... měrná dóza složky  $P_x$
- 5... měrná dóza složky  $P_y$

*Střední měřící  
měrná dóza*

Držák se může volně pohybovat kolem všech tří os.

Ve směrech působení řezných sil je nožový držák podepřen siloměrnými elementy /obr. 7/. Měrné elementy  $P_x$  a  $P_y$  jsou konstruovány na maximální zatížení 300kg, měrný element složky  $P_z$  na zatížení 1000kg.

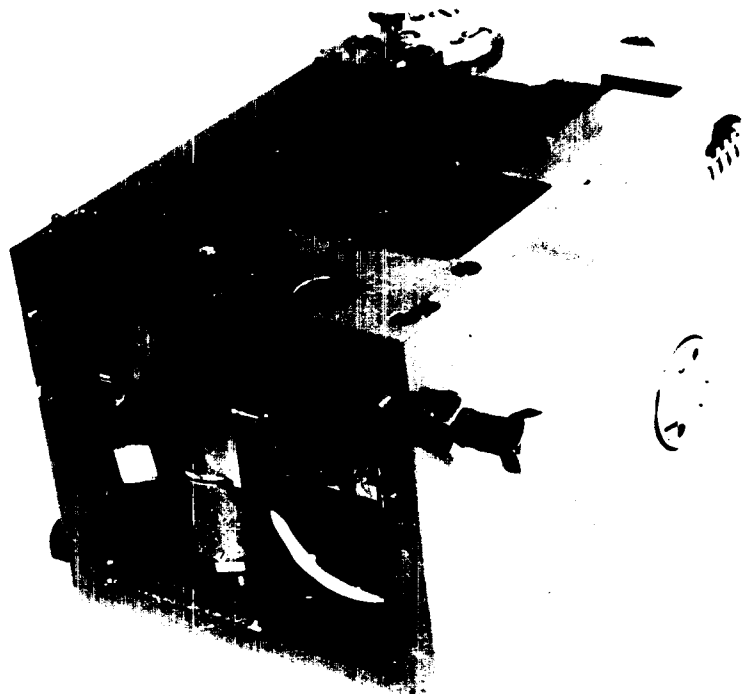
Měrný element složky  $P_z$  je váleček  $\varnothing 20\text{mm}$  a délky 30mm. Na něm jsou nalepeny tensometrické pásy.

Poněvadž řezné síly při soustružení jsou zpravidla rozděleny v poměru  $P_z : P_y : P_x = 1 : 0,4 : 0,2$ ,

*platí pro soustružení  
na obráběcích strojích*

|                              |                                               |                   |
|------------------------------|-----------------------------------------------|-------------------|
| VŠST LIBEREC<br>DP-ST-179/63 | Absolutní měření sil<br>na přerušených řezech | DP — STR. 21      |
|                              |                                               | 20. ČERVENCE 1963 |
|                              |                                               | Stanislav Zavřel  |

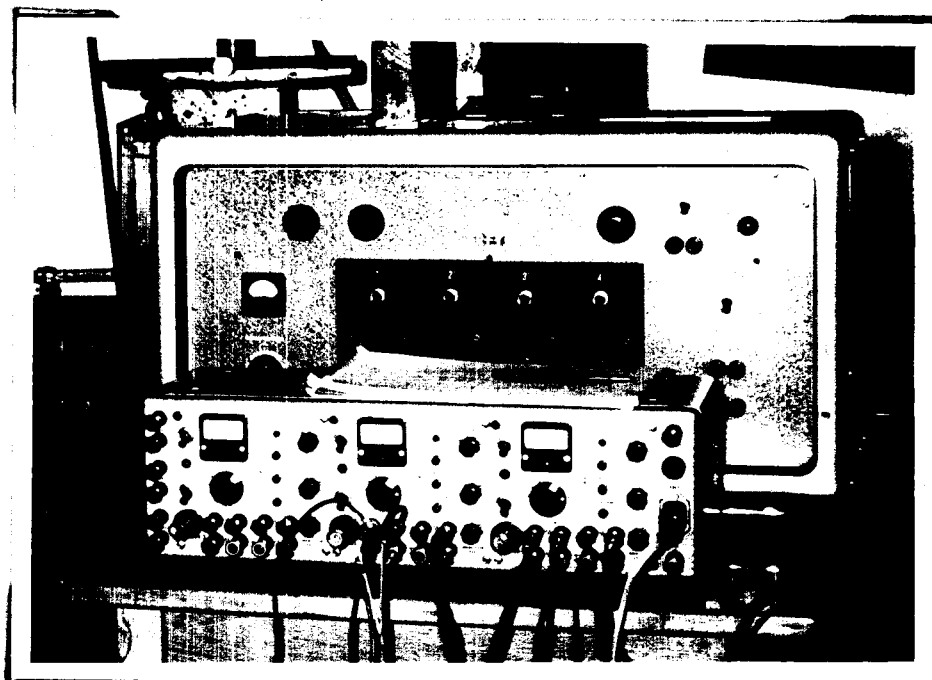
byly pro zvětšení citlivosti složek  $P_x$  a  $P_y$  nalepeny tensometrické pásky na předepnuté planžety, které byly do měrných dóz zakolíkované. Citlivost těchto složek je 3kg, složky  $P_z$  10kg. Všechny měřicí dózy jsou vybaveny dvěma tensometrickými snímači po 250 $\Omega$ , aktivním a kompenzačním. Každý snímač je současně zapojen pro teplotní kompenzaci do jiné větve měřicího můstku. Od snímačů vedou vývody na svorkovnice, odtud pak stíněnými kabely vedenými v pancéřované hadici<sup>k</sup> měřicí aparatuře. Vlastní měření se provádělo tímto třísložkovým dynamometrem /obr. 8/ spojeným



Obr. 8

Obr. 8 Třísložkový dynamometr VUOSO

s měřicí tensometrickou aparaturou TDA-3 čís. 6204102  
s nosnou frekvencí 5000 Hz a čtyřsmyčkovým oscilografem  
4SO-1F2 typ č. 4621/2F2 /obr.9/, výrobek RFT  
VEB Messgerätekwerk Zwönitz. Pro složku  $P_z$  byla pou-  
žita smyčka MSA 8, pro složky  $P_x$  a  $P_y$  smyčky MSA 5.1.



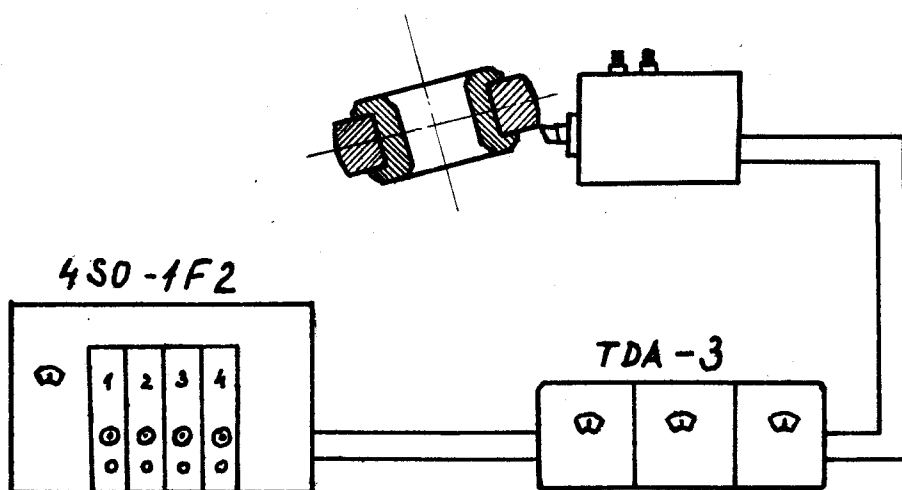
Obr. 9

Obr. 9 Tensometrická aparatura TDA3 se čtyř-  
smyčkovým oscilografem

Schéma zapojení přístrojů je na obr. 10.

#### Konstrukce cejchovacího zařízení

Aby bylo možno určit absolutní hodnoty sil  
s co nejmenší chybou, je nutno provést odejchování



Obr. 10

Obr. 10 Schema zapojení přístrojů

za těchto podmínek, za kterých bylo prováděno měření. To znamená, provést ocejchování během měření, nebo bezprostředně po jeho ukončení. Z toho vyplývá jeden z hlavních požadavků na cejchovací zařízení, t.j. jeho jednoduchost a pohotovost. Dále je nutné, aby ocejchování bylo přesné v celém rozsahu měření a aby bylo zajištěno snadné rozlišení jednotlivých velikostí sil, aby tedy byla závislost výchylky na velikosti působící síly lineární.

Pro cejchování tříslložkového dynamometru bylo navrženo cejchovací zařízení pracující na principu mechanického měření deformace vzniklé působící silou.

Cejchovní dynamometry byly navrženy tvaru U / viz. DP-ST-179/63-1 a 2 /, v jednom rameni je pevně uchycen tisícinný úchylkoměr, jehož pohyblivý dotek se opírá o druhé rameno cejchovního dynamometru. Při zatížení nastane deformace obou ramen a úchylkoměr zaznamená výchylku odpovídající velikosti působící síly. Cejchovní dynamometry byly vyrobeny z materiálu 12060 frézováním, drážka byla obrážena. Byly zakaleny z teploty 830°C do oleje, popuštěny byly na teplotu 560°C.

Předběžný pevnostní výpočet cejchovacích dynamometrů.

Pro složku  $P_z$ .

$$\sigma = \frac{M_o}{W_o} = \frac{P \cdot u}{\frac{1}{6} b h^2} = \frac{800 \cdot 5,6}{4 \cdot 1,5^2} = 2650 \text{ kg/cm}^2$$

tedy trojnásobná bezpečnost.

Pro složku  $P_x$  a  $P_y$

$$\sigma = \frac{M_o}{W_o} = \frac{P \cdot u}{\frac{1}{6} b h^2} = \frac{400 \cdot 5,6}{5,4 \cdot 1,2^2} = 1540 \text{ kg/cm}^2$$

tedy pětinasobná bezpečnost.

$P$  .... působící síla

$u$  .... vzdálenost od vetknutí k působící síle

$b$  .... šířka ramene

$h$  .... tloušťka ramene

Ocejchování cejchovních dynamometrů bylo prove-

deno na trhačce s rozsahem 0 - 1000kg. Dynamometr pro složku  $P_z$  byl cejchován do síly 800kg, pro složku  $P_x$ ,  $P_y$  do síly 400kg. Před cejchováním byl každý dynamometr zatížen několikrát maximální silou a opět odlehčen. V požadovaném rozsahu vyšla závislost  $\delta = f/P$  přímkově a po odlehčení nevykázal úchylkoměr žádné zbytkové deformace / viz. příloha 1 /.

Pro cejchování třísložkového dynamometru přímo na stroji byl zhotoven rám / viz. DP-ST-179/63-3 /, který se čtyřmi šrouby M16 připevní k dynamometru. Do nožového držáku dynamometru se zasadí náhradní můž / viz. DP-ST-179/63-4 /, o který se v bodě v němž je při soustružení špička normálního nože, opírá cejchovní dynamometr.

V rámu jsou ve směrech působení jednotlivých řezných sil zašroubovány stavěcí šrouby M16. Mezi tyto šrouby a náhradní můž se umísťují cejchovní dynamometry. Přitahováním šroubu se podle výchylky úchylkoměru zatíží cejchovní dynamometr určitou známou silou a jí odpovídající výchylka se zaznamená na oscilografickém papíře. Porovnáním této výchylky s výchylkou způsobenou řeznou silou, můžeme určit absolutní velikost této řezné síly. Pro přesnější a snadnější vyhodnocování velikostí řezných sil bylo cejchování prováděno postupným zatěžováním po 20kg, až do předpokládané maximální řezné síly / obr.11 /.

Aby bylo zajištěno vždy stejné vyložení nože,

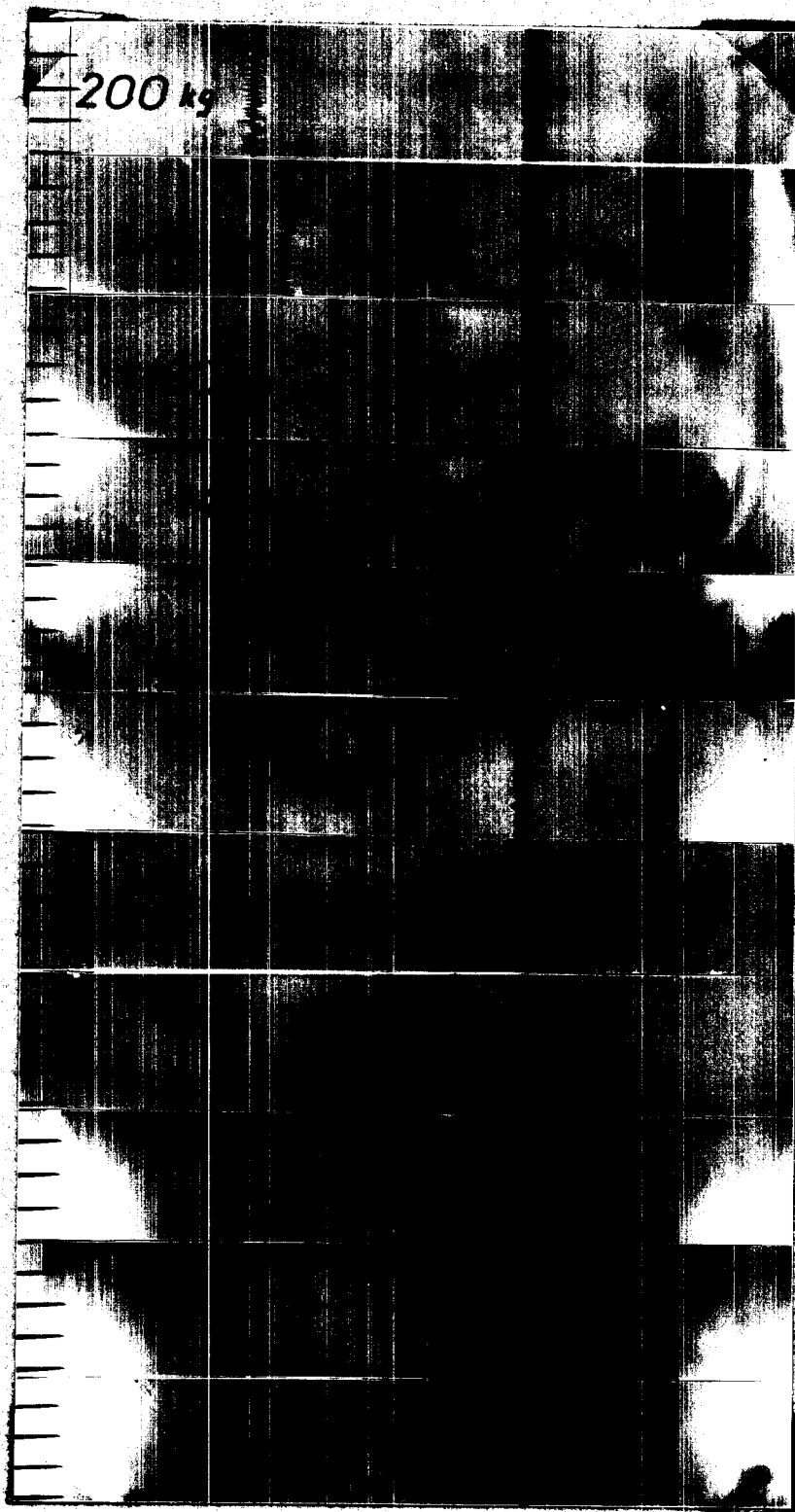
VŠST LIBEREC  
DP-ST-179/63

Absolutní měření sil  
na přerušných řezech

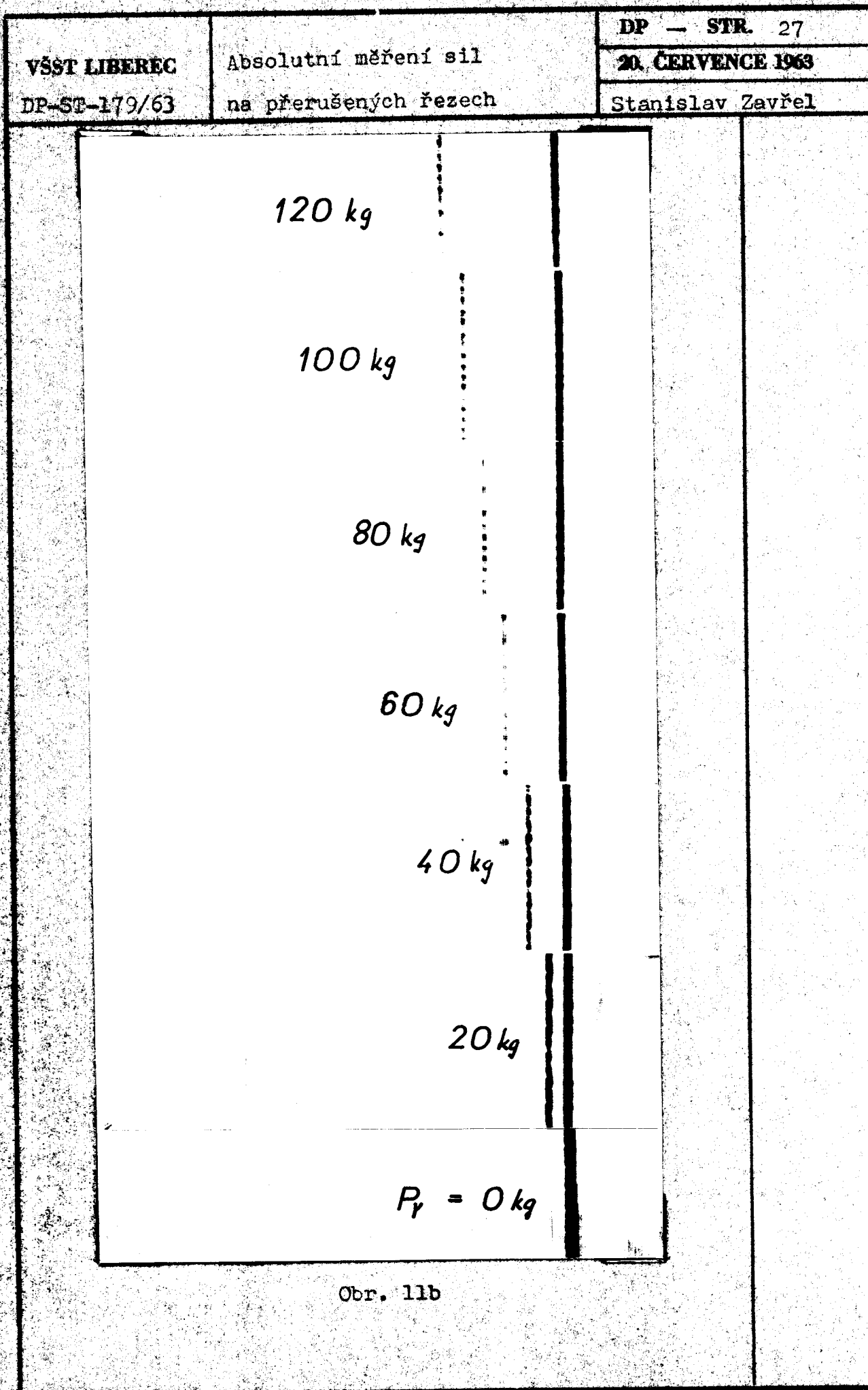
DP — STR. 26

20. ČERVENCE 1963

Stanislav Zavřel



Obr. 11a



Obr. 11b

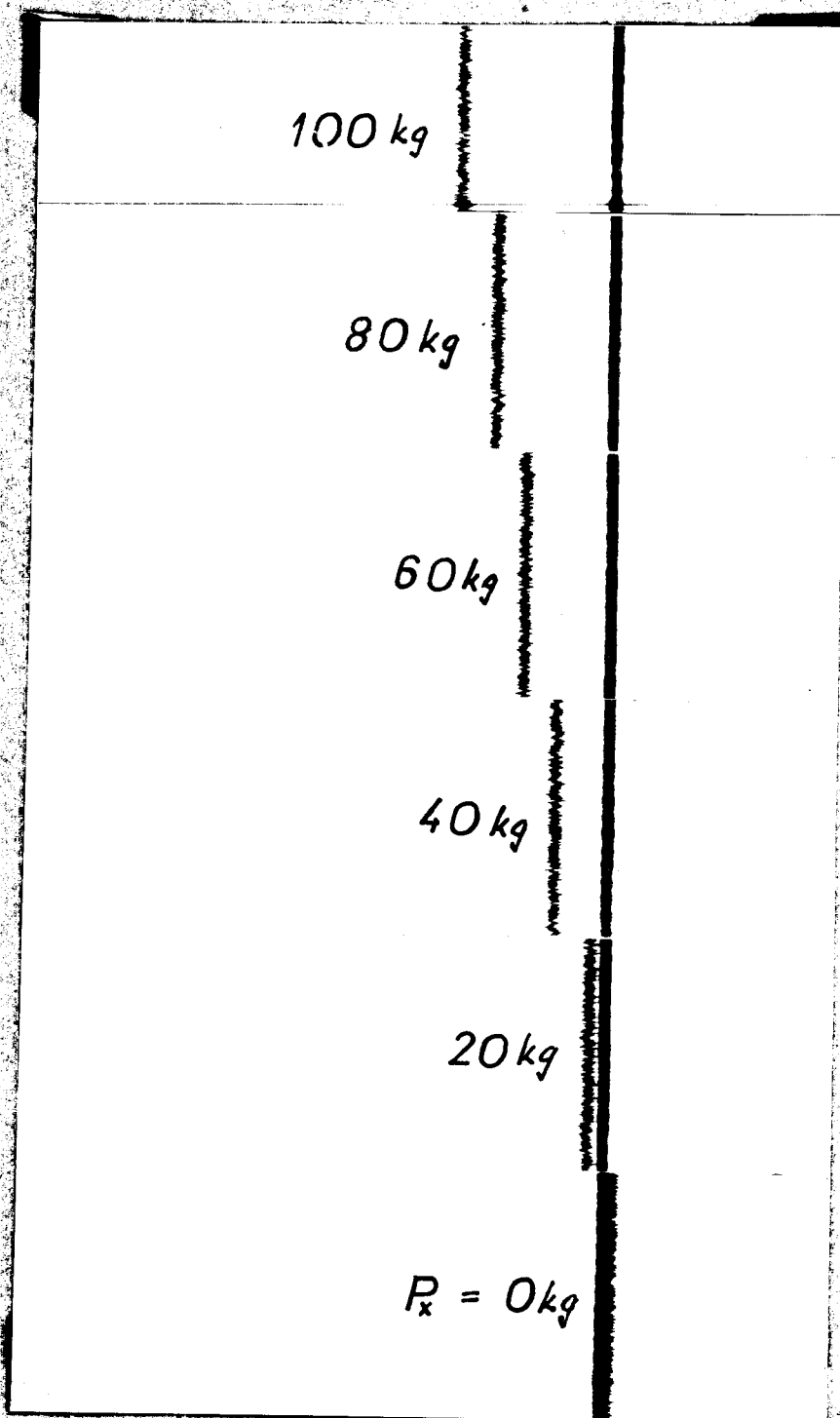
VŠST LIBEREC  
DP-ST-179/63

Absolutní měření sil  
na přerušených řezech

DP — STR. 28

20. ČERVENCE 1963

Stanislav Zavřel



Obr. 11 Cejchování

a/ složky  $P_z$

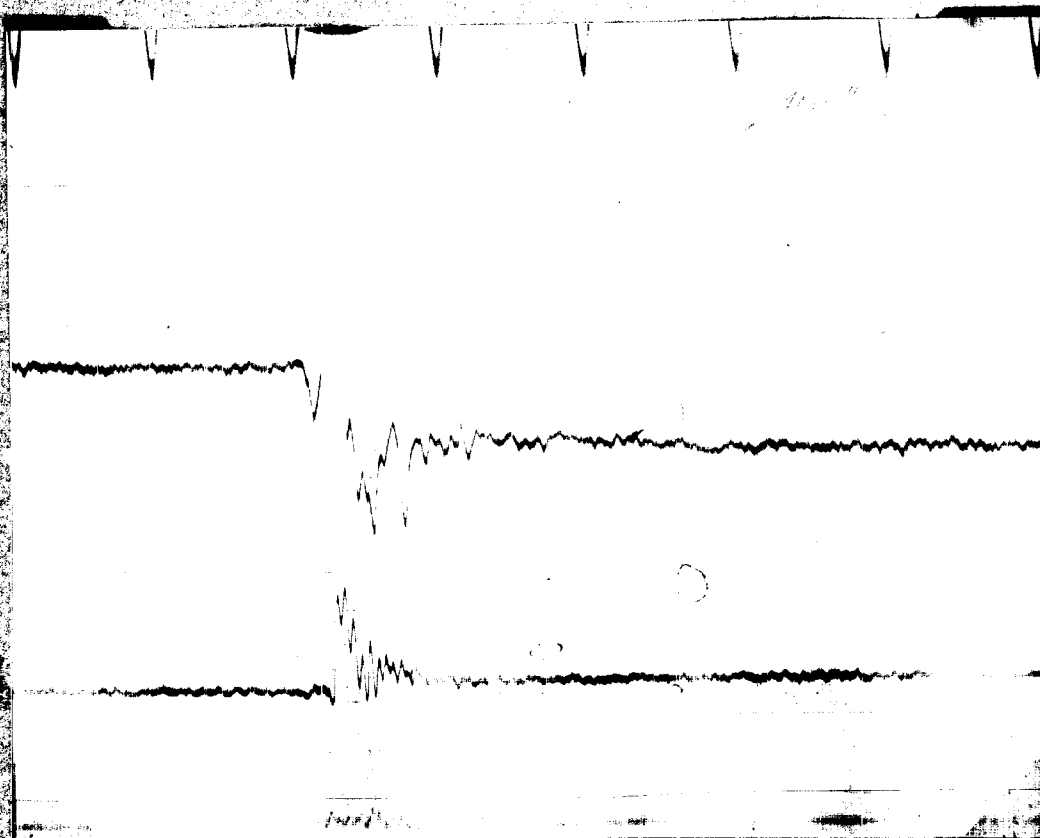
b/ složky  $P_y$

c/ složky  $P_x$

byla zhotovena šablona, podle níž se ustavuje špička  
nože vždy do téže polohy / viz. DP-ST-179/63-5 /.

Naměřené hodnoty

Nejdříve byla stanovena vlastní frekvence dyna-  
metru. Poněvadž je velmi obtížné stanovit vlastní  
frekvenci u složitějších součástí, výpočtem, provádí  
se stanovení vlastní frekvence porovnáním frekvence  
rozkmitané součásti úderem s nějakou známou frekven-  
cí, nejčastěji proudovou frekvencí 50 Hz. Tak také  
byla stanovena vlastní frekvence dynamometru /obr.12/

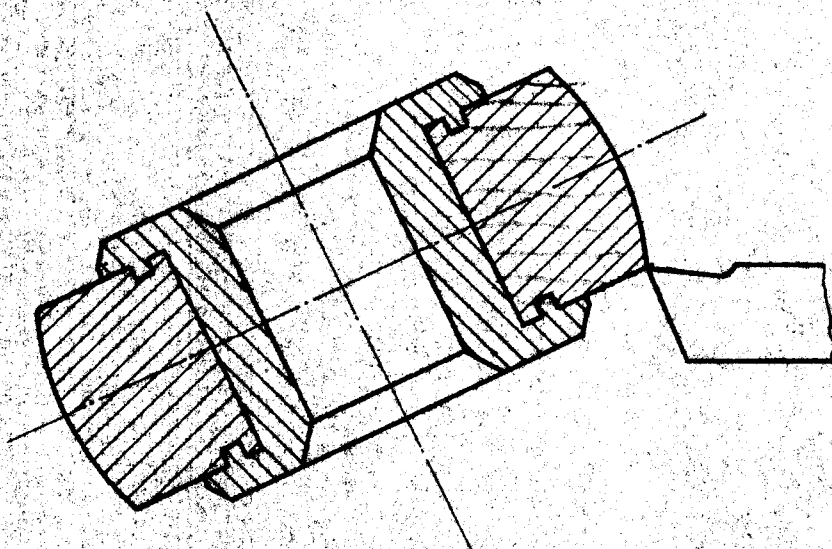


Obr. 12

Obr. 12 Stanovení vlastní frekvence dynamometru

Porovnáním s časovou základnou vychází vlastní frekvence dynamometru ve směru složky  $P_z$  300 Hz a ve směru složky  $P_x$  1000 Hz.

Dále bylo provedeno měření řezných sil na přerušeném řezu. Přerušený řez byl vytvořen dvěma plochými tyčemi / obr. 13 /. Při jedné otáčce přístroje vejde



Obr. 13

Obr. 13 Přístroj pro vytvoření přerušeného řezu

nůž dvakrát do záběru a dvakrát je přerušením řezu odlehčen. 28% obvodu tvoří záběr a 72% přerušení.

Byly měřeny velikosti sil v závislosti na řezné rychlosti v rozsahu 30 - 200 m/min, v závislosti na posuvu v rozsahu 0,1 - 1 mm/ot a v závislosti na hloubce řezu v rozsahu 1 - 5 mm. Některé příklady naměřených výsledků jsou na obr. 14. Naměřené výsledky jsou vy-

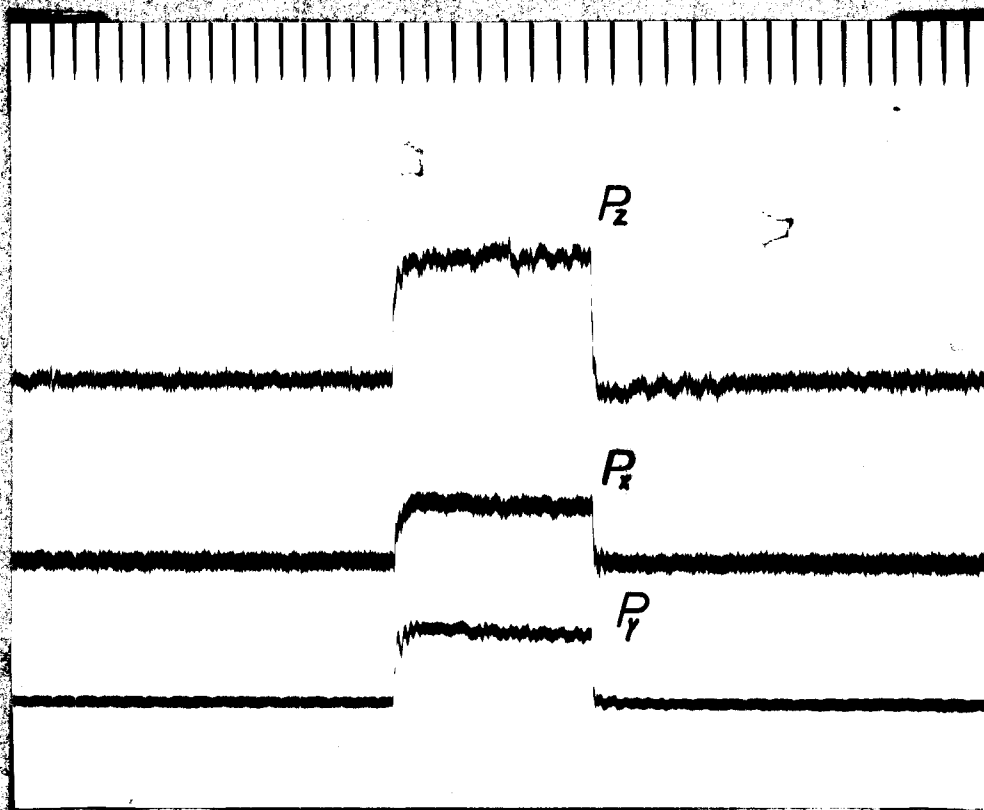
VŠST LIBEREC  
DP-ST-179/63

Absolutní měření sil  
na přerušných řezech

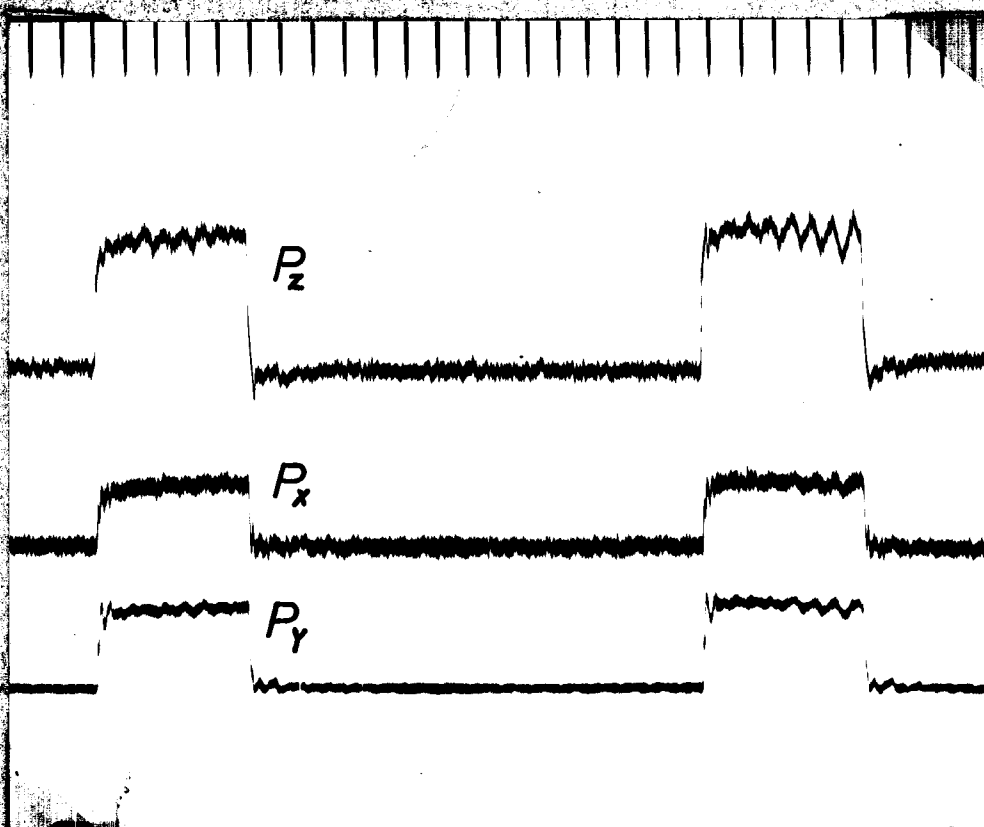
DP — STR. 31

20. ČERVENCE 1963

Stanislav Závěš



Obr. 14a



Obr. 14b

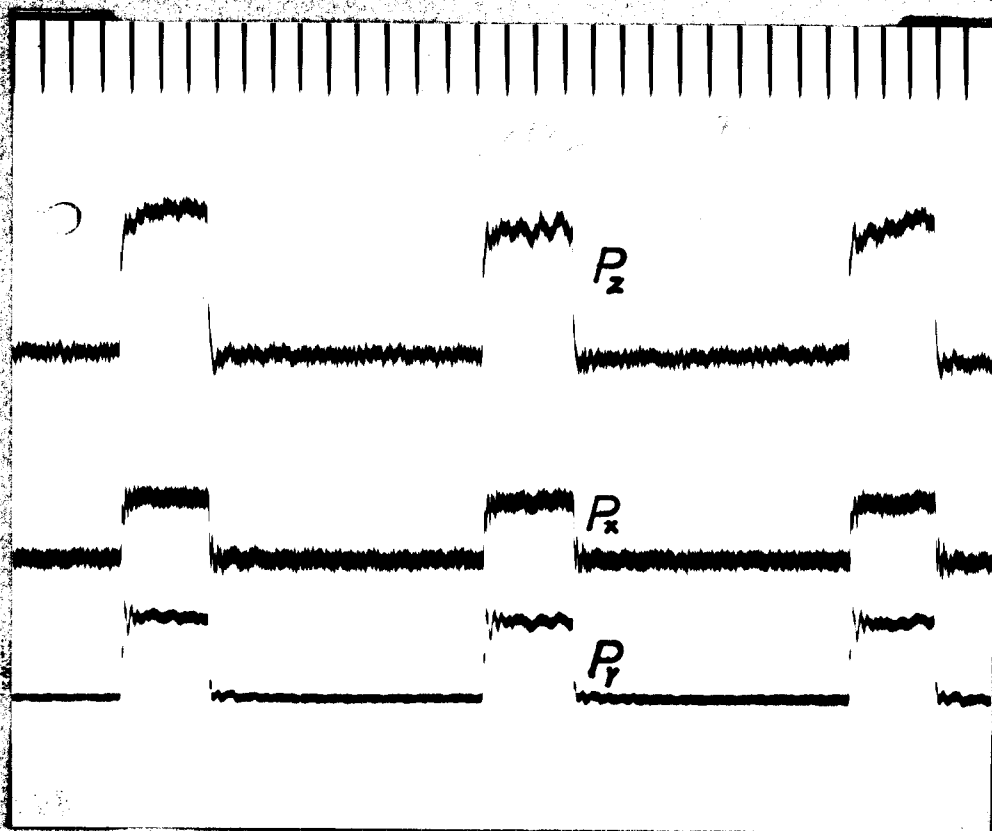
VŠST LIBEREC  
DP-ST-179/63

Absolutní měření sil  
na přerušených řezech

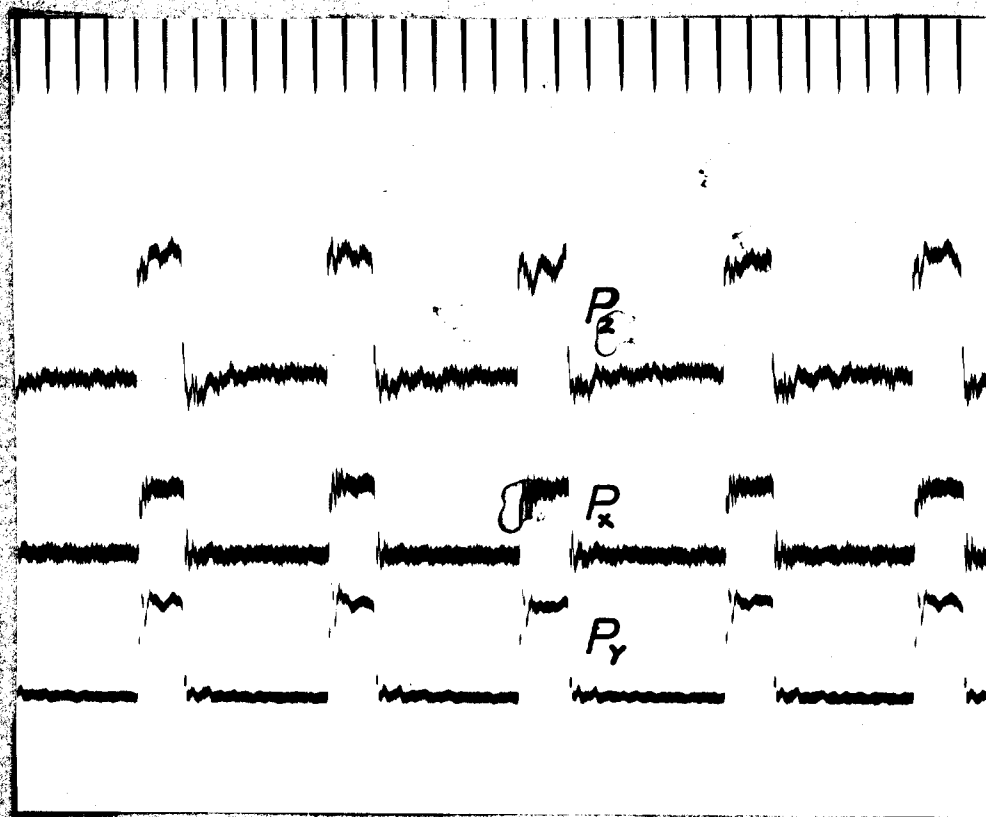
DP — STR. 32

20. ČERVENCE 1963

Stanislav Zavřel



Obr. 14c



Obr. 14d

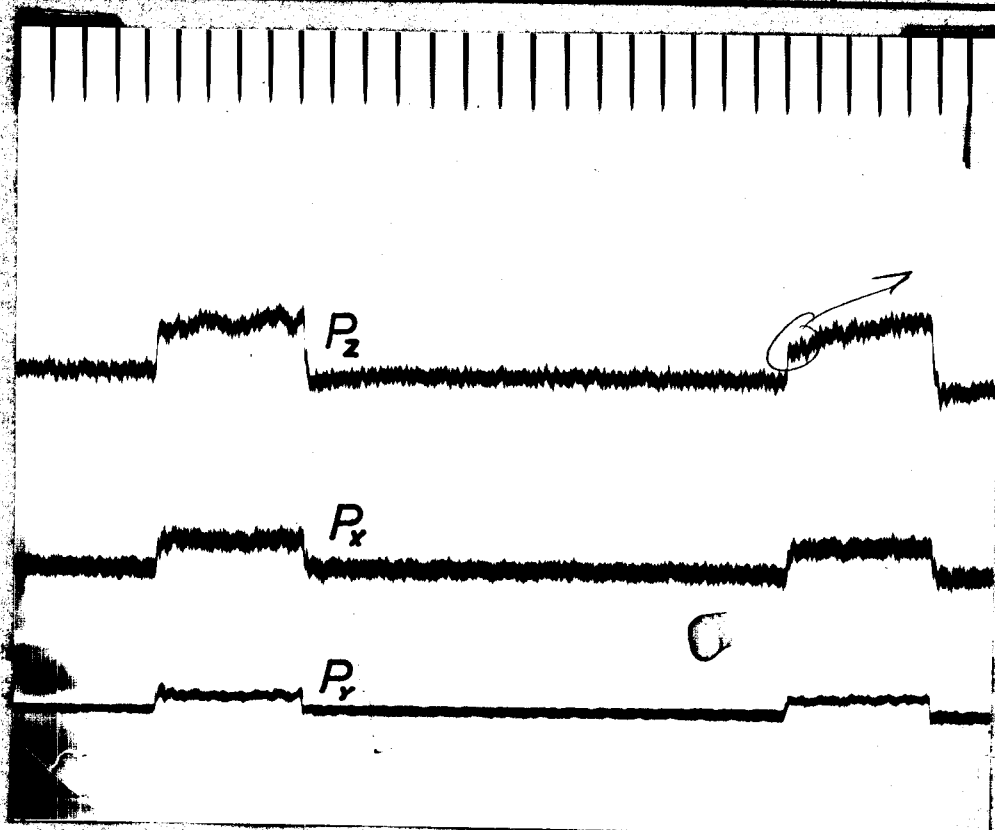
VŠST LIBEREC  
DP-ST-179/63

Absolutní měření sil  
na přerušených řezech

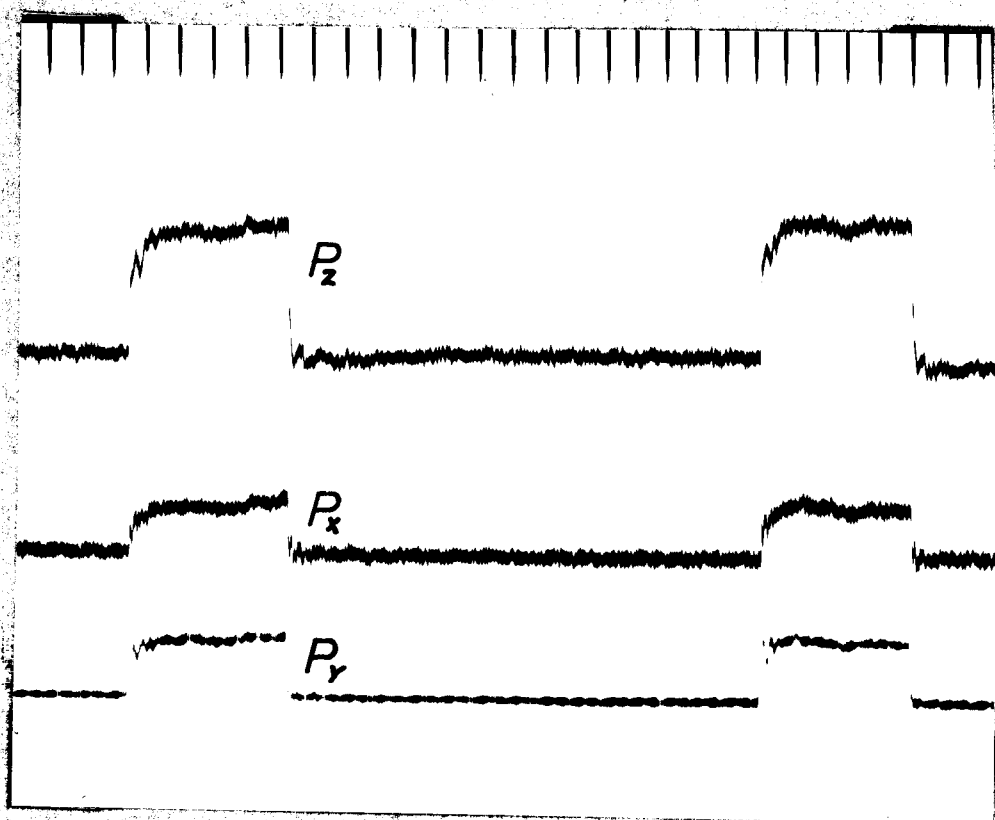
DP — STR. 33

20. ČERVENCE 1963

Stanislav Zavřel



Obr. 14e



Obr. 14f

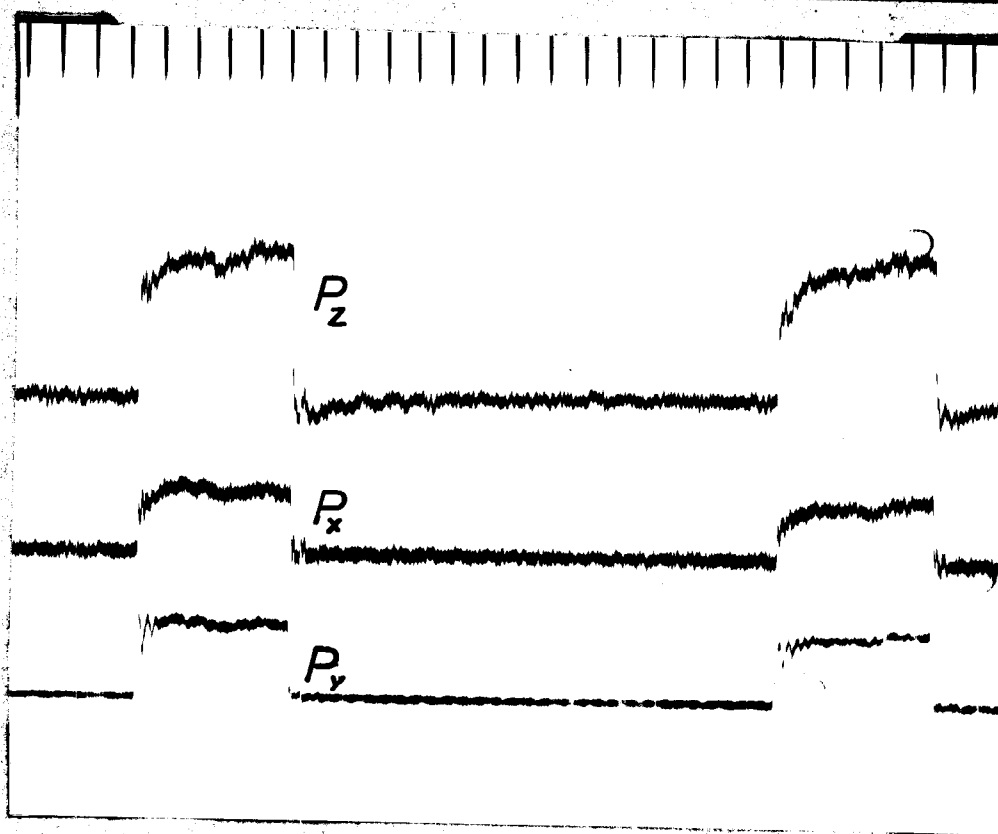
VŠST LIBEREC  
DP-ST-179/63

Absolutní měření sil  
na přerušných řezech

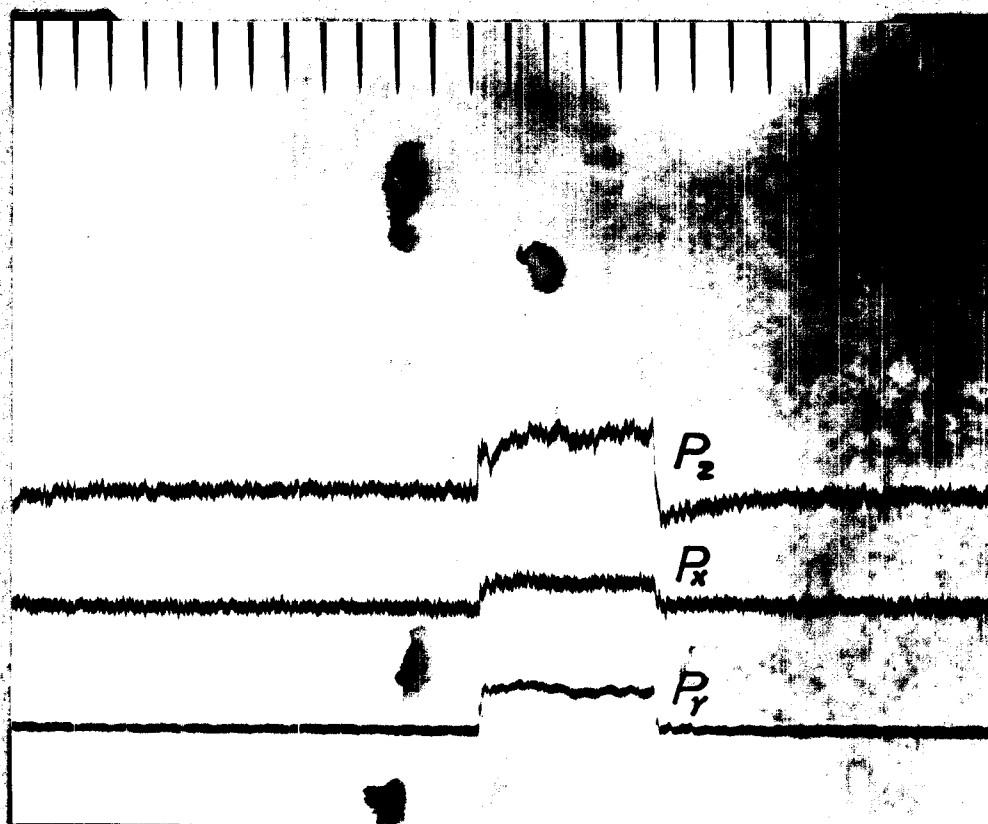
DP — STR. 34

20. ČERVENCE 1963

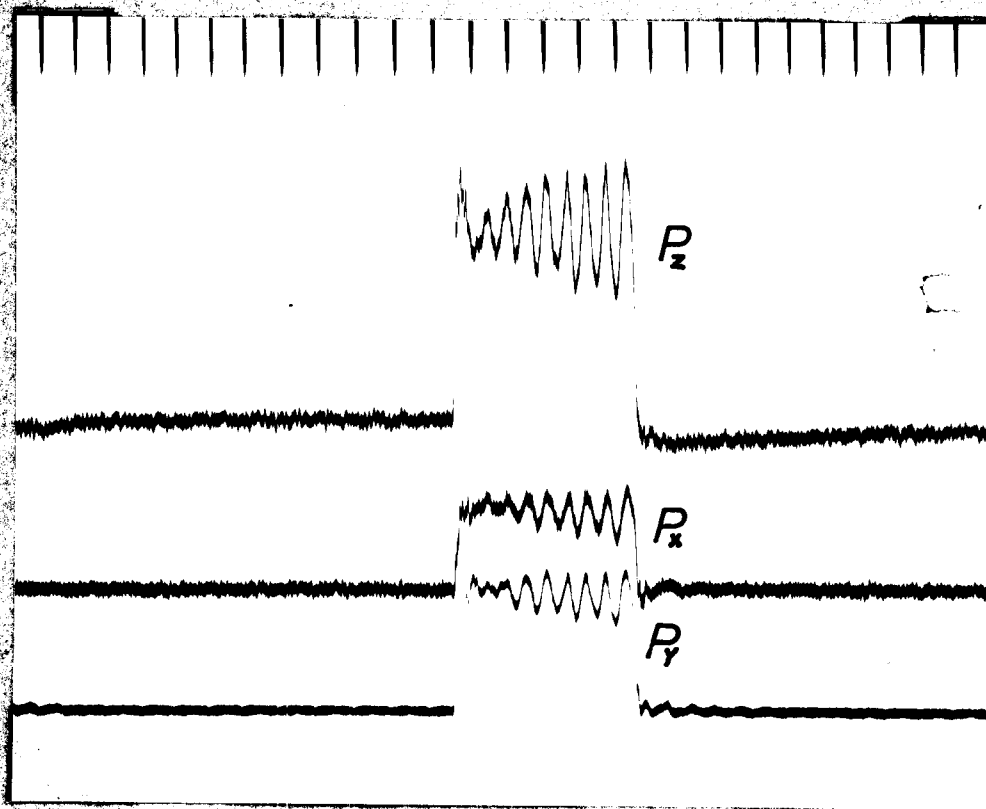
Stanislav Zavřel



Obr. 14g



Obr. 14h



Obr. 141

Obr. 14 Oscillogram řezné síly

Materiál 12060

Nástroj ČSN 3713 S2 20x20

Řezné podmínky

a/  $v=36\text{m/min}$ ,  $s=0,2\text{mm/ot}$ ,  $t=2\text{mm}$

b/  $v=57\text{m/min}$ ,  $s=0,2\text{mm/ot}$ ,  $t=2\text{mm}$

c/  $v=91\text{m/min}$ ,  $s=0,2\text{mm/ot}$ ,  $t=2\text{mm}$

d/  $v=181\text{m/min}$ ,  $s=0,2\text{mm/ot}$ ,  $t=2\text{mm}$

e/  $s=0,1\text{mm/ot}$ ,  $v=57\text{m/min}$ ,  $t=1\text{mm}$

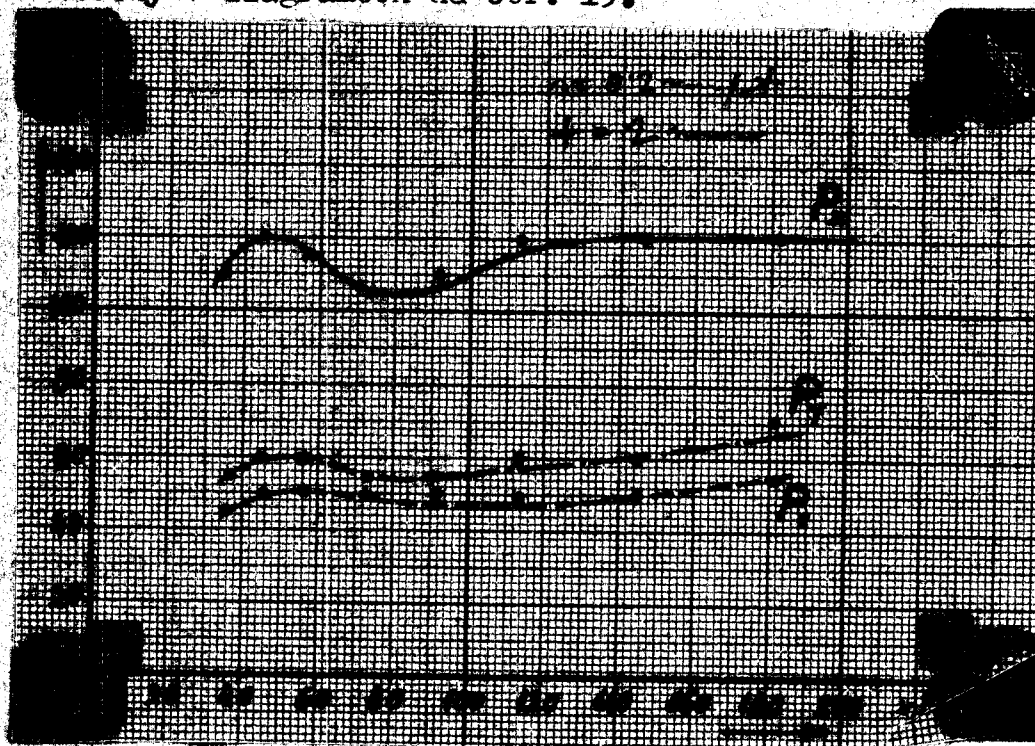
f/  $s=0,4\text{mm/ot}$ ,  $v=57\text{m/min}$ ,  $t=1\text{mm}$

g/  $s=0,96\text{mm/ot}$ ,  $v=57\text{m/min}$ ,  $t=1\text{mm}$

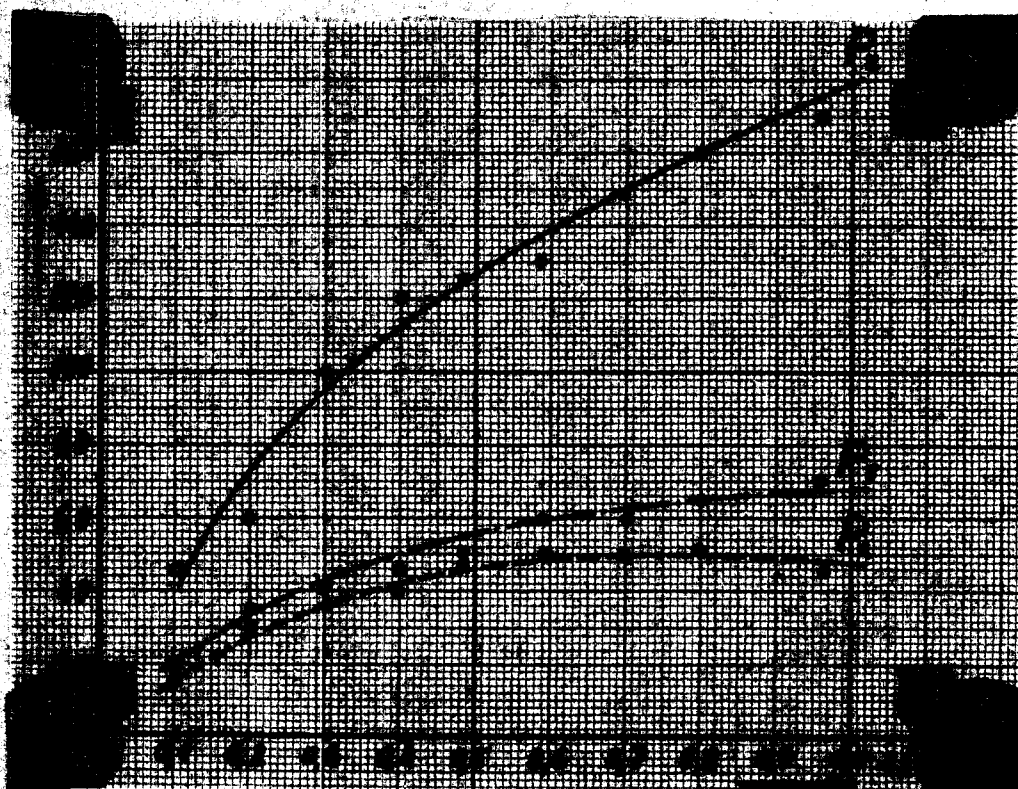
h/  $t=1\text{mm}$ ,  $v=57\text{m/min}$ ,  $s=0,2\text{mm/ot}$

i/  $t=4\text{mm}$ ,  $v=57\text{m/min}$ ,  $s=0,2\text{mm/ot}$

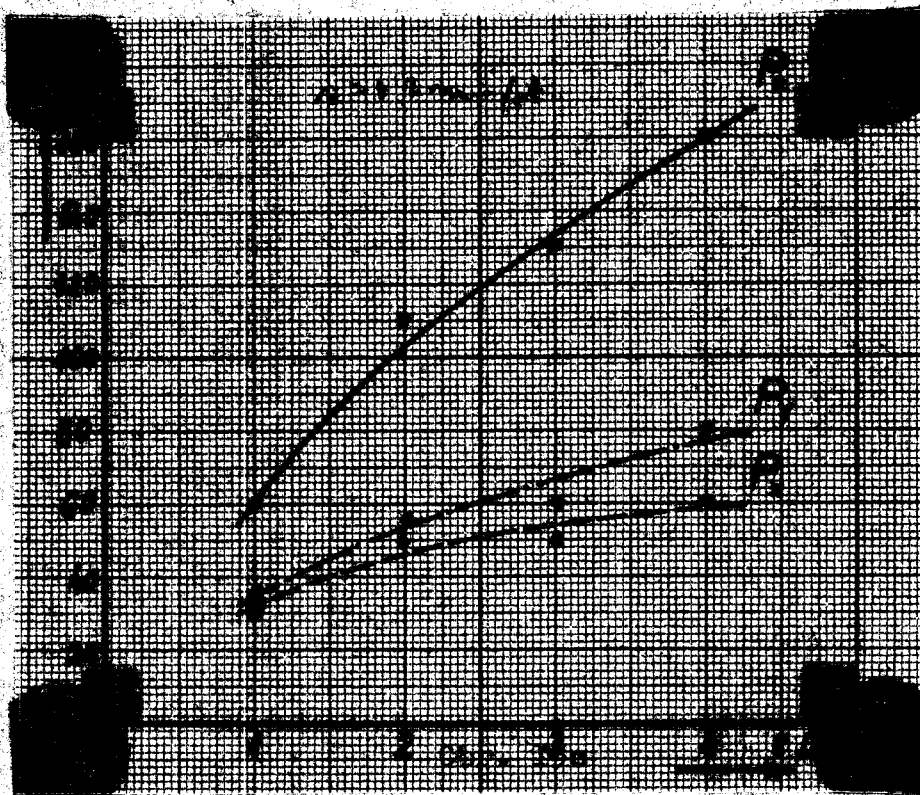
neseny v diagramech na obr. 15.



Obr. 15a



Obr. 15b



Obr. 15, Průběh řezných sil na přerušeném řezu  
v závislosti na řezných podmínkách

Materiál

12060

Nástroj

ČSN 3713 S2 20x20

a/  $P = f / v$

$s = 0,2 \text{ mm/ot}$ ,  $t = 2 \text{ mm}$

b/  $P = f / s$

$v = 57 \text{ m/min}$ ,  $t = 1 \text{ mm}$

c/  $P = f / t$

$v = 57 \text{ m/min}$ ,  $s = 0,2 \text{ mm/ot}$

Poněvadž naměřený průběh řezných sil se poněkud odlišuje od průběhů naměřených jinými autory [3,6,7] a také stanovení vlastní frekvence nedává reálné výsledky usoudili jsme, že uspořádání přístrojů v tomto případě pravděpodobně není vhodné pro měření tak rychlých změn, jakými právě silové rázy jsou.

Aplikace piezosnímače na složku  $P_z$ 

Abychom mohli zjistit skutečný průběh řezné síly, byl u složky  $P_z$  nahrazen snimač tensometrický citlivějším snimačem piezoelektrickým. Hlavním znakem piezoelektrických snimačů je nezkreslený přenos v širokém frekvenčním rozsahu a malé rozměry. Přímý piezoelektrický jev, kterého se využívá při měření mechanických veličin záleží v tom, že na povrchu některých krystalických látek vzniká působením mechanické síly elektrický náboj. Velikost tohoto náboje je dána vztahem [1]

$$q = k \cdot F \quad (4)$$

$q$  .... vzniklý náboj

$k$  .... piezoelektrický modul

$F$  .... působící síla

Tímto nábojem se nabíjejí stěny krystalické látky na př. křemene, a s nimi spojené vodiče na napětí  $U$ , dané vztahem

$$U = \frac{q}{C} \quad (5)$$

kde  $C$  je kapacita mezi vodiči / i s kapacitou křemene /.

K měření těchto napětí se používá přístrojů s vysokým vstupním odporem, které nespotřebovávají náboje vznikající na piezoelektrickém tělese. [1]

Základní obtíží při měření piezoelektrického jevu je unikání náboje s piezoelektrického tělesa. Změna

rozdíl potenciální  $U$  mezi nabitou součástí a zemí lze v závislosti na čase vyjádřit jako [1]

$$\frac{U}{U_0} = 1 - \frac{t}{R_0 C_0} \quad (6)$$

$U_0$  .... rozdíl potenciálů, vzniklý ve snimači v okamžiku zatížení

$t$  .... doba, která uplynula od okamžiku zatížení

$C_0$  .... kapacita mezi nabitou částí snimače a zemí

$R_0$  .... odpor izolace nabité části ve snimači proti zemi

Pro omezení unikání náboje je tedy třeba vysoký isolační odpor. Tento bývá zpravidla větší než  $10^{12} \Omega$ .

Důležitou součástí piezoelektrického měřicího zařízení je kabel spojující snimač se zesilovačem.

Musí mít tyto vlastnosti [8]

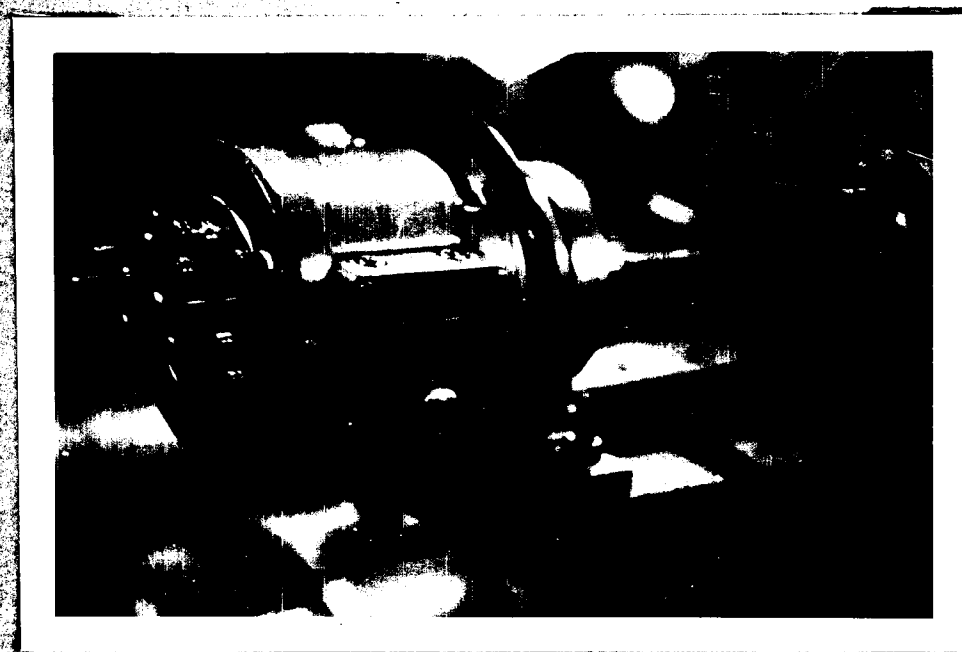
- 1/ Vysoký isolační odpor
- 2/ Dobré stínění proti vnějším rozptylovým polím
- 3/ Malou kapacitu
- 4/ Konstantní kapacitu při ohýbání kabelu
- 5/ Při ohýbání kabelu nesmí třením vznikat elektřina
- 6/ Isolační odpor se nesmí zmenšovat vlivem vlhkosti

Zesilovač k měření piezoelektrickými snimači musí mít vysoký vstupní odpor.

|                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |                                                       |
|------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|
| VŠST LIBEREC<br>DP-ST-179/63 | Absolutní měření sil<br>na přerušených řezech                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | DP — STR. 40<br>20. ČERVENCE 1963<br>Stanislav Zavřel |
|                              | <p>Jelikož piezoelektrický snímač snese velmi malé smykové napětí, bylo třeba usadit jej tak, aby se tímto zabránilo. Dále bylo požadováno, aby výměna piezoelektrického snímače za tensometrickou měrnou dózu byla snadná. Proto byl vyroben nový stavěcí šroub s vyvrtanou průběžnou dírou / DP-ST-179/63-6 /, do které se vsune středící kolík zašroubovaný do dna piezoelektrického snímače. Tím se vymezí jakýkoliv pohyb snímače po stavěcím šroubu a zabrání se tak smykovým napětím, které by v opačném případě mohly snímač porušit. Mezi hlavici snímače a nožový držák byl vložen váleček s vyvrtanými kuželovými lůžky pro hlavici piezosnímače a opěrnou kuličku na nožovém držáku / DP-ST-179/63-7 /. Piezosnímač je typu DE 1500 s citlivostí 0,09 - 0,18 V/kg. Výrobcem je VEB Messgerätekwerk Zwickau.</p> <p>Piezosnímač byl koaxiálním kabelem připojen k zesilovači stejnosměrným napětím GV-2 čís. 4695.1 s vysokým vstupním odporem. Odtud pak je veden signál na svislé vychylovací destičky osciloskopů. Působením síly na piezoelektrický snímač se vytvoří napětí odpovídající velikosti této síly, to se v zesilovači zesílí a vychýlí paprsek na obrazovce osciloskopů ve svislém směru. Abychom však mohli zjistit změny řezné síly v závislosti na pohybu obrobku vzhledem k nástroji je třeba, aby se paprsek po obrazovce pohyboval také ve vodorovném směru a to aby přesně za</p> |                                                       |

|                              |                                               |                   |
|------------------------------|-----------------------------------------------|-------------------|
| VŠST LIBEREC<br>DP-ST-179/63 | Absolutní měření sil<br>na přerušených řezech | DP — STR. 41      |
|                              |                                               | 20. ČERVENCE 1963 |
|                              |                                               | Stanislav Zavřel  |

jednu otáčku vřetele přešel rovnoměrným pohybem z levé krajní polohy do pravé a rychle se vrátil zpět. Proto byla k vodorovným vychylovacím destičkám katodového osciloskopu připojena aparatura sledovač časové základny, již tvoří: snimač časové základny / obr. 16 / a hlavní přístroj časové základny. Snimač časové základny je pružným hřídelem spojen s vřetenem

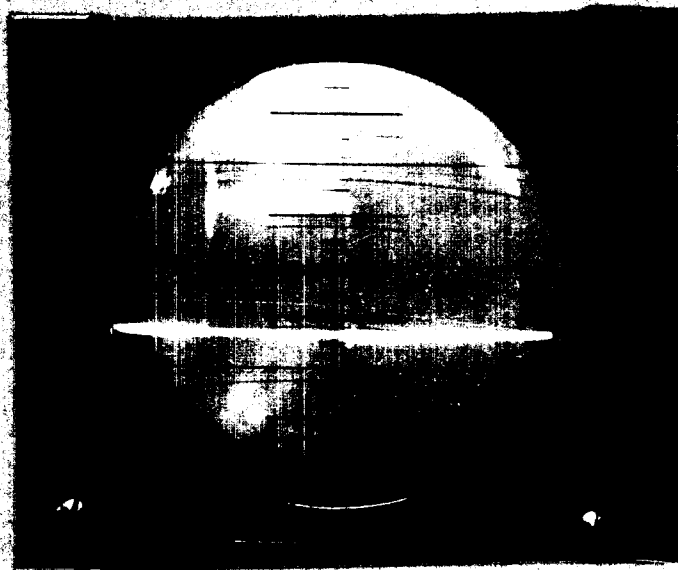


Obr. 16

Obr. 16 Snimač časové základny

soustruhu. Princip tohoto zařízení spočívá v tom, že pohyb vřetele se pružným hřídelem přenáší na destičku ve tvaru archimédovy spirály, která se pohybuje mezi deskami kondensátoru a mění tak jeho kapacitu. To se projeví na obrazovce osciloskopu vychylováním paprsku ve vodorovném směru. Průběh řezné síly se na obrazov-

ce osciloskopu ukáže jako plošný obrazec, který se již dá fotografovat / obr. 17 /.



Obr. 17

Obr.17 Fotografie obrazovky osciloskopu

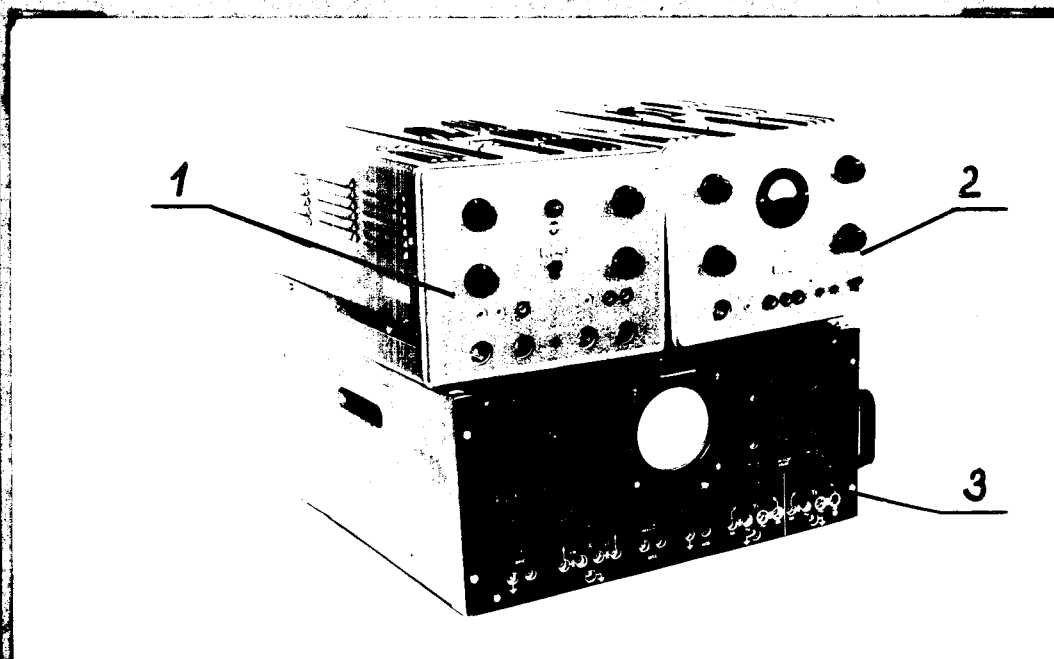
Snímač časové základny je s hlavním přístrojem časové základny propojen dvěma koaxiálními kabely.

Sledovač časové základny KÜ-1 typ čís. 4815.1 je rovněž výrobkem RFT VEB Messgerätewerk Zwick.

Obr. 18 ukazuje přístroje použité k měření .

Nevýhodou měření s použitým piezoelektrickým snímačem je, že se s ním nedají měřit síly statické, poněvadž delší dobou zatížení by se vybil elektrický náboj s křemenné destičky snímače. Proto jsme mohli provést pouze relativní měření, neboť k absolutnímu

měření by bylo potřeba cejchování proměnlivou silou  
což nebylo k dispozici.



Obr. 18

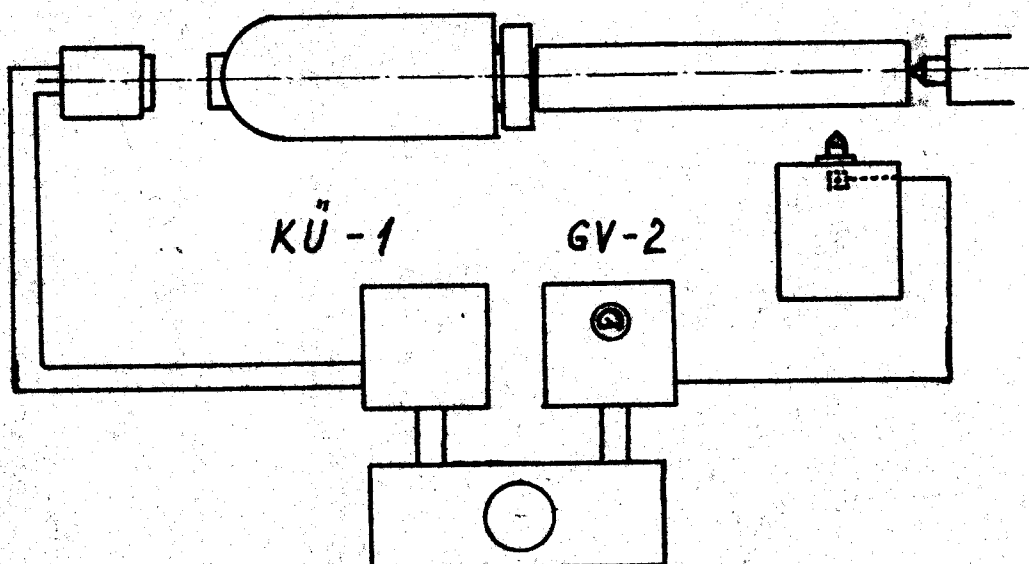
Obr. 18 Použité přístroje

- 1 ... sledovač časové základny
- 2 ... zesilovač stejnosměrných napětí
- 3 ... katodový osciloskop " Křížík "

Obr. 19 znázorňuje schema zapojení použitých  
přístrojů.

#### Provedená měření

Dynamometrem s piezoelektrickým snímačem byly  
měřeny průběhy řezné síly v závislosti na řezné ry-  
chlosti v rozsahu 30 - 150m/min, na posuvu v rozsahu



Obr. 19

Obr. 19 Schema zapojení piezosnímače

0 - 1mm/ot a hloubce řezu v rozsahu 0 - 5mm. Ze zjištěných průběhů byl v jednotlivých případech určen poměr  $\frac{P'}{P}$  a velikosti tohoto poměru byly vyneseny v diagramu na obrázku 20.

Bylo provedeno měření průběhu síly na noži, který byl vybroušen tak, že první dotyk mezi nožem a obrobkem byl plošný, takže rychlost zatěžování byla velmi vysoká.

Aby se zjistil vliv materiálu nástroje na velikost silového rázu, bylo provedeno měření v průběhu řezné síly na noži, který byl vyroben celý ze slinu-

VŠST LIBEREC  
DP-ST-179/63

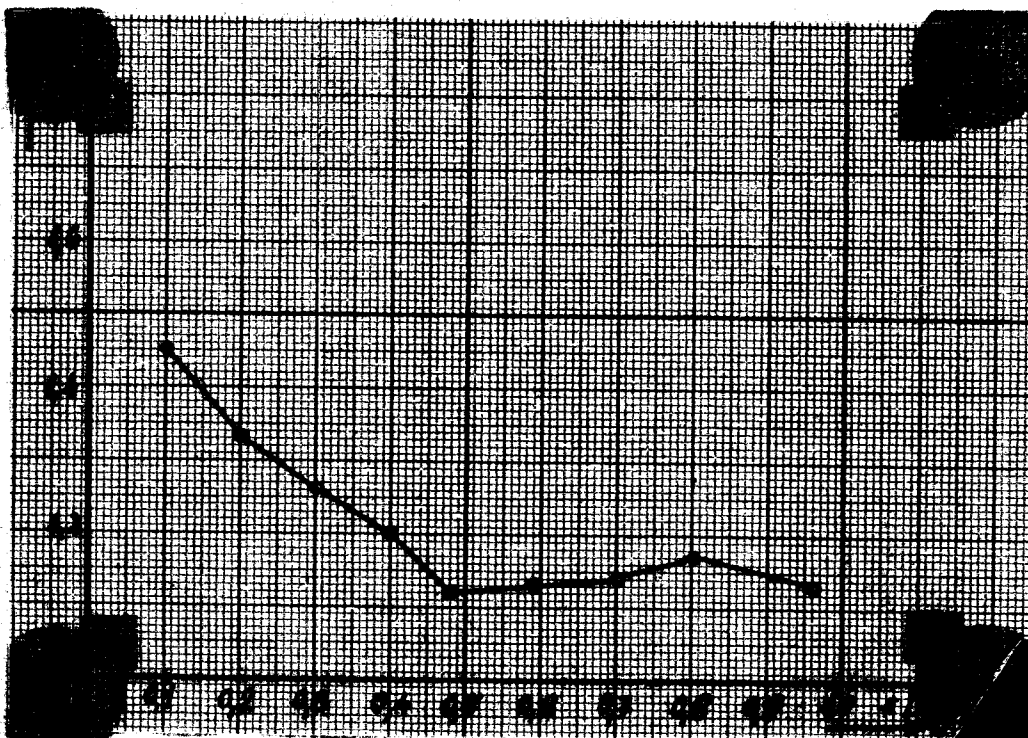
Absolutní měření sil  
na přerušných řezech

DP -- STR. 45

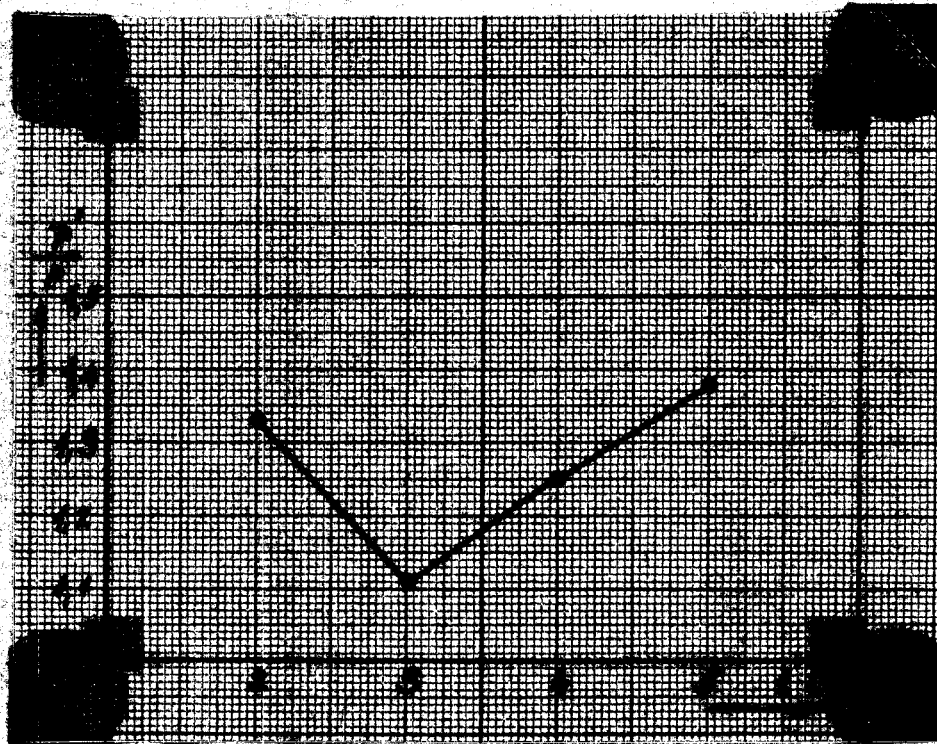
20. ČERVENCE 1963

Stanislav Zavřel

Obr. 20a



Obr. 20b



Obr. 20c

Obr. 20c Velikost poměru  $\frac{P'}{P}$  v závislosti na  
řezných podmínkách

Materiál 12060

Nástroj ČSN 3712 S2 25x25

a/  $\frac{P'}{P} = f / v /$   $s = 0,2 \text{ mm/ot}$   $t = 2 \text{ mm}$

b/  $\frac{P'}{P} = f / s /$   $v = 48 \text{ m/min}$   $t = 1 \text{ mm}$

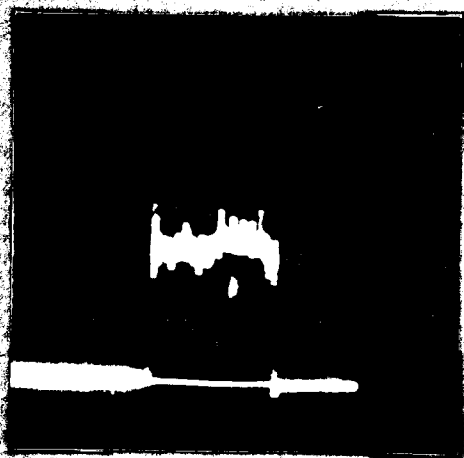
c/  $\frac{P'}{P} = f / t /$   $v = 48 \text{ m/min}$   $s = 0,2 \text{ mm/ot}$

tého karbidu.

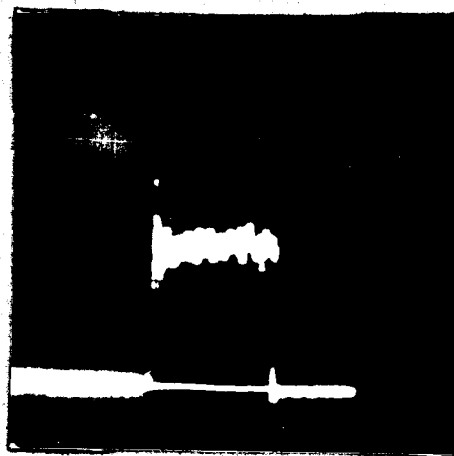
### Výsledky měření

Výsledky provedených měření se shodují s předchá-  
zejícími teoretickými vývoody. Při řezné rychlosti  
30m/min /obr. 21a/ se ještě příliš neprojevuje maxi-  
mum řezné síly na počátku záběru a průběh je velmi  
nerovnoměrný. Při rychlosti 38m/min /obr. 21b/ je již

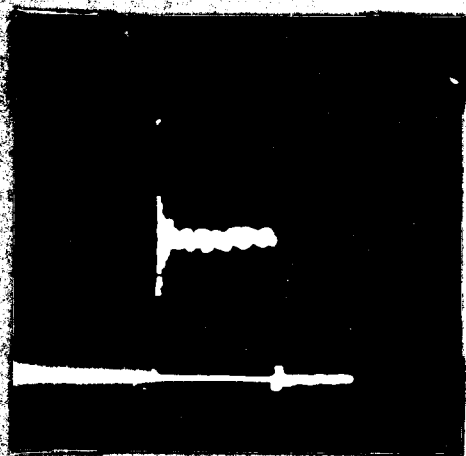
silový ráz výraznější, průběh řezné síly je ještě stále velmi nerovnoměrný, řezná rychlost je pro tento druh obrábění nevhodná. Při řezné rychlosti 60m/min /obr.21c/ je špička napětí na počátku záběru velmi výrazná, průběh řezné síly je již podstatně rovnoměrný. Při vyšších rychlostech dosahuje silová špička ještě vyšších hodnot, při řezné rychlosti 150m/min činí poměr  $\frac{P'}{P} = 2,3$  /obr.21f/. Se zvětšují-



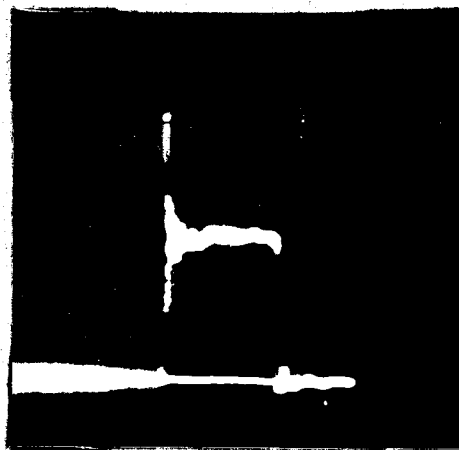
Obr.21a



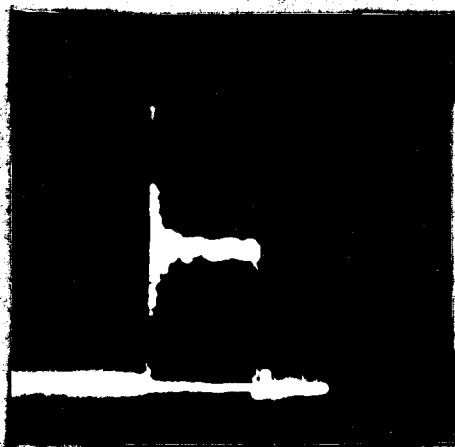
Obr.21b



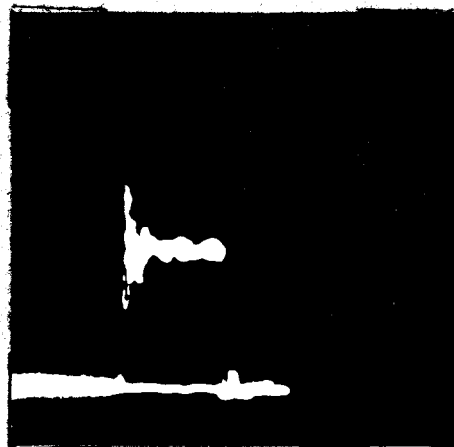
Obr.21c



Obr.21d

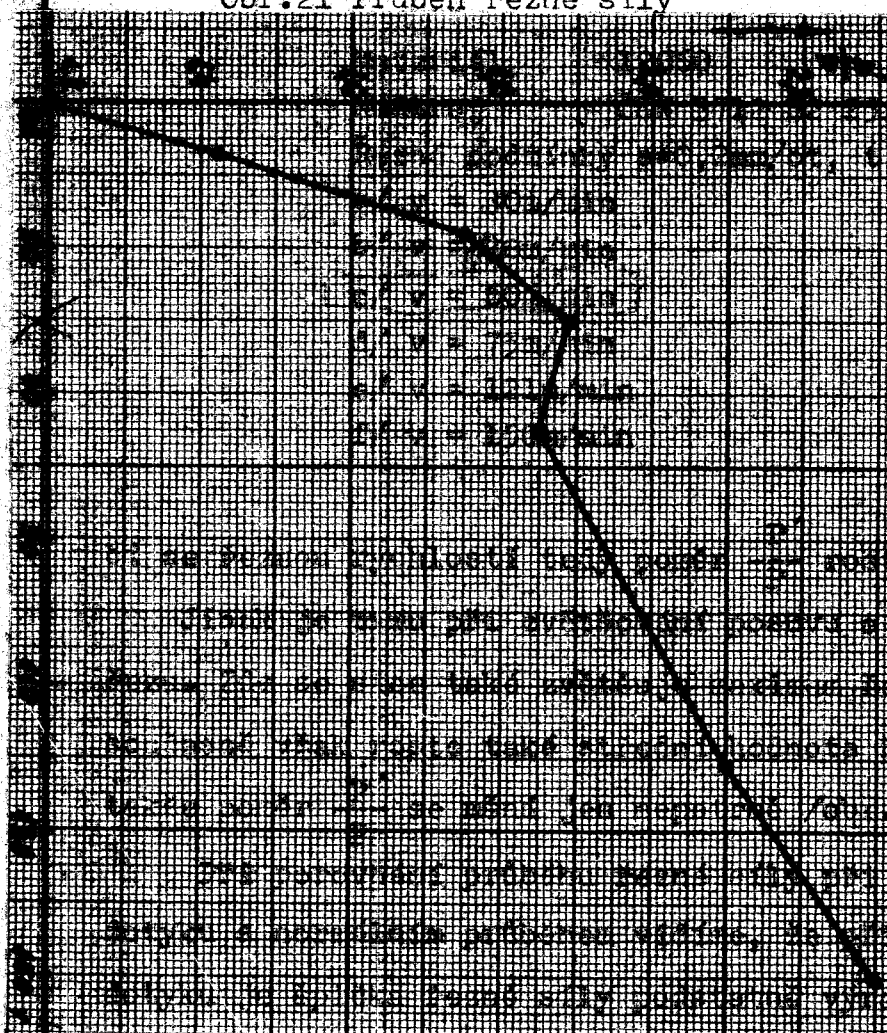


Obr.21e

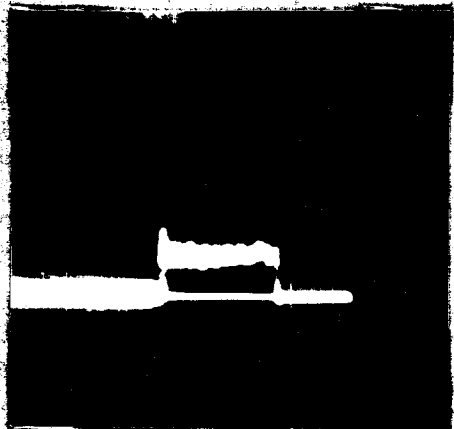
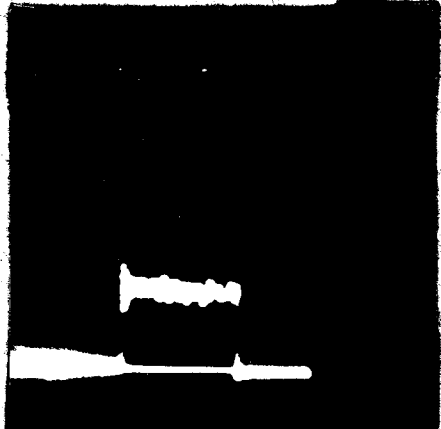
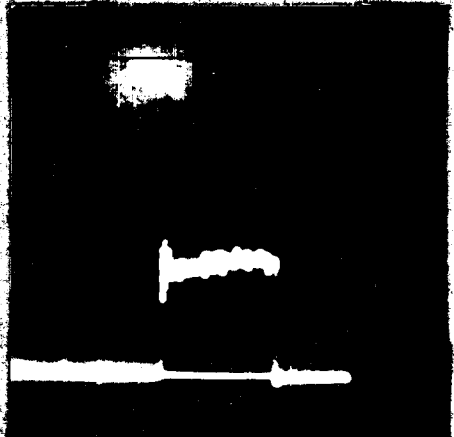
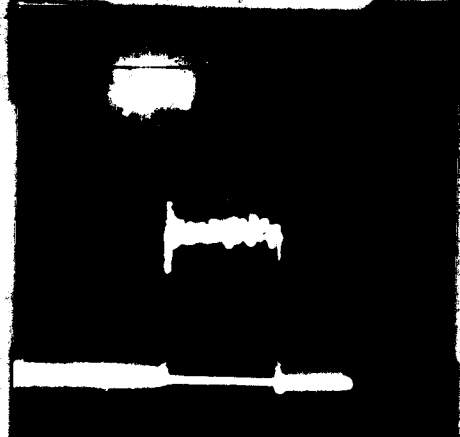
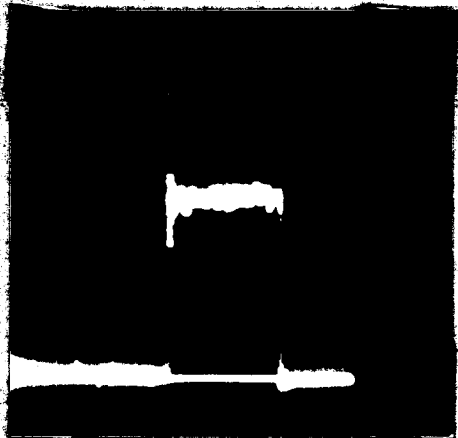
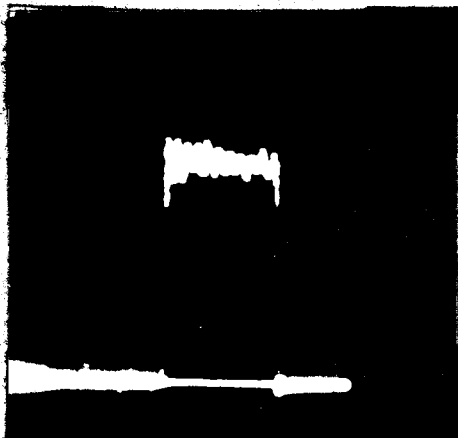


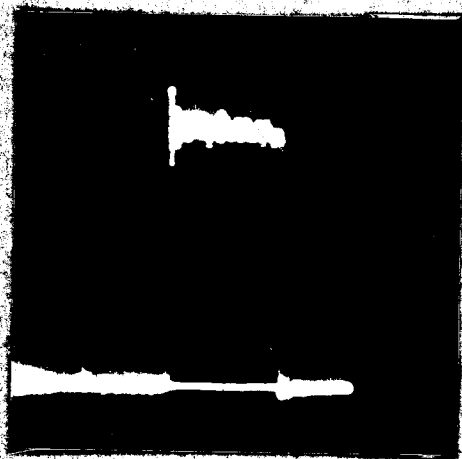
Obr.21f

Obr.21 Průběh řezné síly

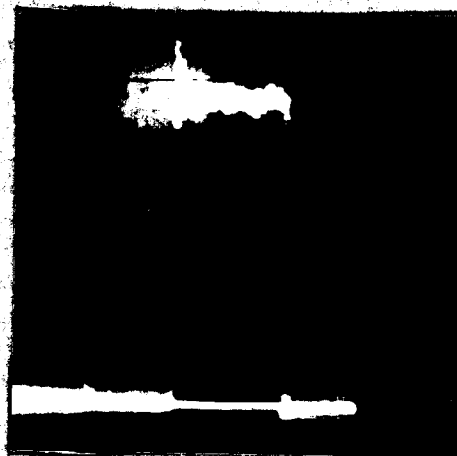


Pro měření řezné síly byla použita metoda, při které se měří síla potřebná k přerušování materiálu. Tato síla je závislá na hloubce řezu a na vlastnostech materiálu. Z výsledků měření je patrné, že řezná síla se s hloubkou řezu mění. Vzhledem k tomu, že řezná síla je závislá na hloubce řezu, lze říci, že řezná síla je přímo úměrná hloubce řezu. Tato závislost je patrná z grafu Obr. 21, kde je zobrazen průběh řezné síly v závislosti na hloubce řezu. Z grafu je patrné, že řezná síla se s hloubkou řezu mění. Vzhledem k tomu, že řezná síla je závislá na hloubce řezu, lze říci, že řezná síla je přímo úměrná hloubce řezu. Tato závislost je patrná z grafu Obr. 21, kde je zobrazen průběh řezné síly v závislosti na hloubce řezu.

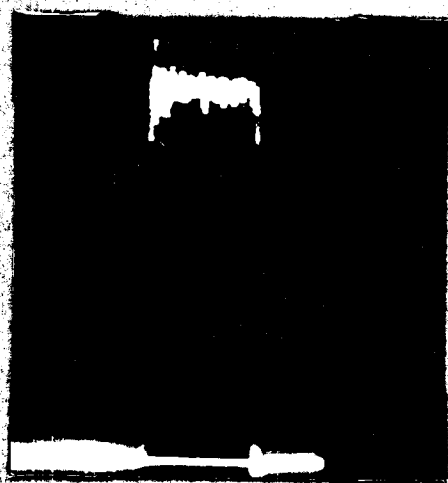
|                                                                                      |                                              |                   |
|--------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------|-------------------|
| VŠST LIBEREC<br>DP-ST-179/63                                                         | Absolutní měření sil<br>na přerušných řezech | DP — STR. 49      |
|                                                                                      |                                              | 20. ČERVENCE 1963 |
|                                                                                      |                                              | Stanislav Zavřel  |
|     |                                              |                   |
| Obr.22a                                                                              |                                              |                   |
|    |                                              |                   |
| Obr.22b                                                                              |                                              |                   |
|    |                                              |                   |
| Obr.22c                                                                              |                                              |                   |
|   |                                              |                   |
| Obr.22d                                                                              |                                              |                   |
|   |                                              |                   |
| Obr.22e                                                                              |                                              |                   |
|  |                                              |                   |
| Obr.22f                                                                              |                                              |                   |



Obr. 22g



Obr. 22h



Obr. 22i

Obr. 22 Průběh řezné síly

Materiál 12060

Nástroj ČSN 3712 S2 25x25

Řezné podmínky  $s = 48\text{m/min}$ ,  $t = 1\text{mm}$

a/  $s = 0,1\text{mm/ot}$  g/  $s = 0,7\text{mm/ot}$

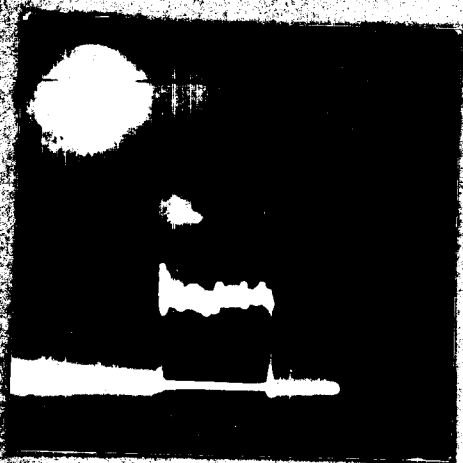
b/  $s = 0,2\text{mm/ot}$  h/  $s = 0,8\text{mm/ot}$

c/  $s = 0,3\text{mm/ot}$  i/  $s = 0,96\text{mm/ot}$

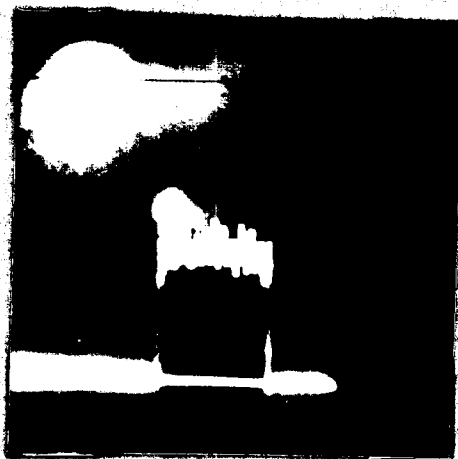
d/  $s = 0,4\text{mm/ot}$

e/  $s = 0,48\text{mm/ot}$

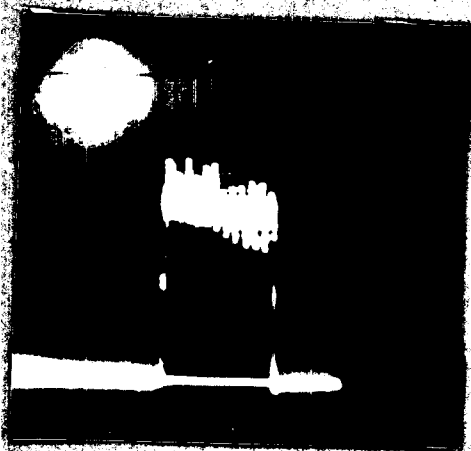
f/  $s = 0,59\text{mm/ot}$



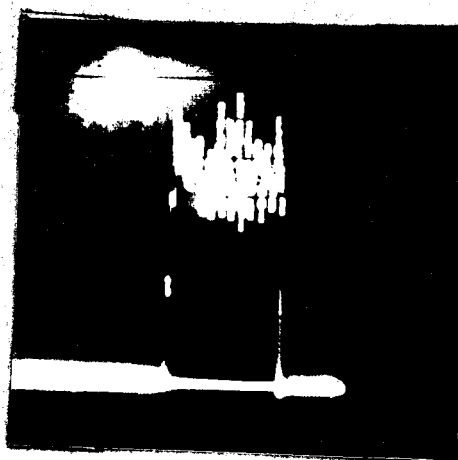
Obr.23a



Obr.23b



Obr.23c



Obr.23d

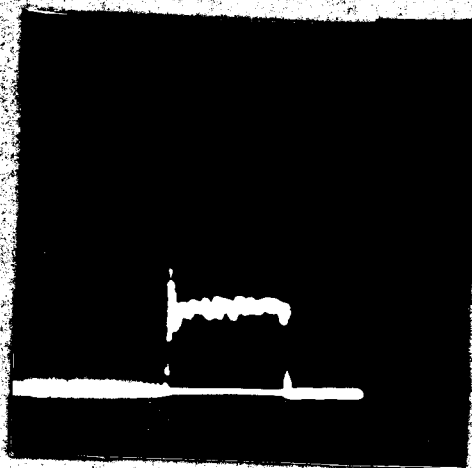
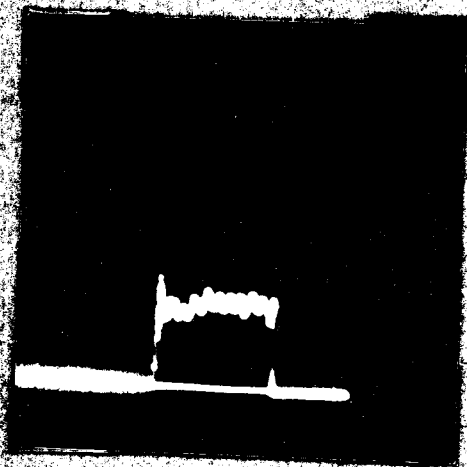
## Obr. 23 Průběh řezné síly

Materiál 12060

Nástroj ČSN 3712 S2 25x25

Řezné podmínky  $v = 48\text{m/min}$ ,  $s = 0,2\text{mm/ot}$ a/  $t = 2\text{mm}$ b/  $t = 3\text{mm}$ c/  $t = 4\text{mm}$ d/  $t = 5\text{mm}$ 

Při řezné rychlosti  $48\text{m/min}$  je poměr  $\frac{P'}{P} = 1,82$   
a při rychlosti  $60\text{m/min}$  již  $2,09$  /obr.24/.



Obr. 24a

Obr. 24b

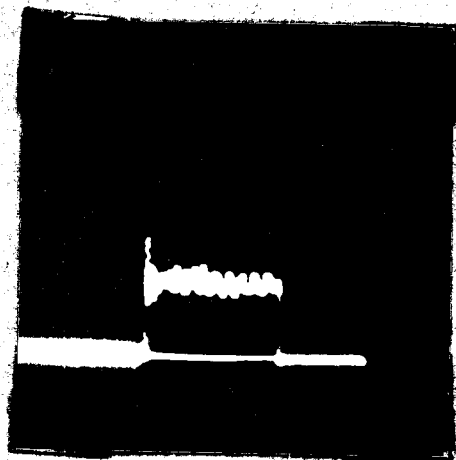
Obr. 24 Průběh řezné síly při plošném dotyku

Materiál 12060  
Nástroj ČSN 3712 S2 25x25  
Řezné podmínky  $s = 0,2\text{mm/ot}$ ,  $t = 2\text{mm}$   
 $a/v = 48\text{m/min}$   
 $b/v = 60\text{m/min}$

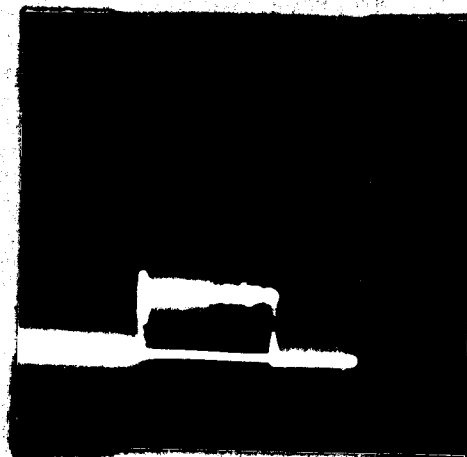
Při měření s celokarbidovým nožem byl průběh řezné síly oproti průběhu s normálním nožem mnohem rovnoměrnější /obr.25/. Ukazuje to na větší útlum ohvění slinutým karbidem. Byl také značně menší poměr  $\frac{P'}{P} = 1,3$ .

#### Zhodnocení provedených měření

Provedené měření ukázalo vhodnost provedení dynamometru s piezoelektrickým snímačem, neboť velmi citlivě zaznamenává všechny změny řezné síly. Nevýhodou je však měření pouze relativního průběhu. By-



Obr.25a



Obr.25b

Obr. 25 Průběh řezné síly

Materiál 12060

Řezné podmínky  $v = 48\text{m/min}$ ,  $s = 0,2\text{mm/ot}$ ,  
 $t = 2\text{mm}$

Nástroj a/ ČSN 3712 S2 25x25

b/ celokarbidový nůž 25x25

lo by tedy třeba zkonstruovat nové cejchovací zařízení, které by umožnilo cejchování proměnlivou silou.

Podle výsledků měření se naskýtá možnost snížení poměru  $\frac{P'}{P}$  změnou geometrie nástroje, t.zn. snížením zátěžné rychlosti.

Podle průběhu řezné síly při měření s celokarbidovým nožem se nabízí další možnost snížení poměru  $\frac{P'}{P}$ . Poněvadž zvětšení vyložení nože, jak je uváděno v literatuře, má za následek snížení silového rázu na počátku záběru a zvýšení rozkmitání nože, je zde možnost použití materiálu nožového držá-

ku s větším útlumem chvění, při větší délce vyložení nože.

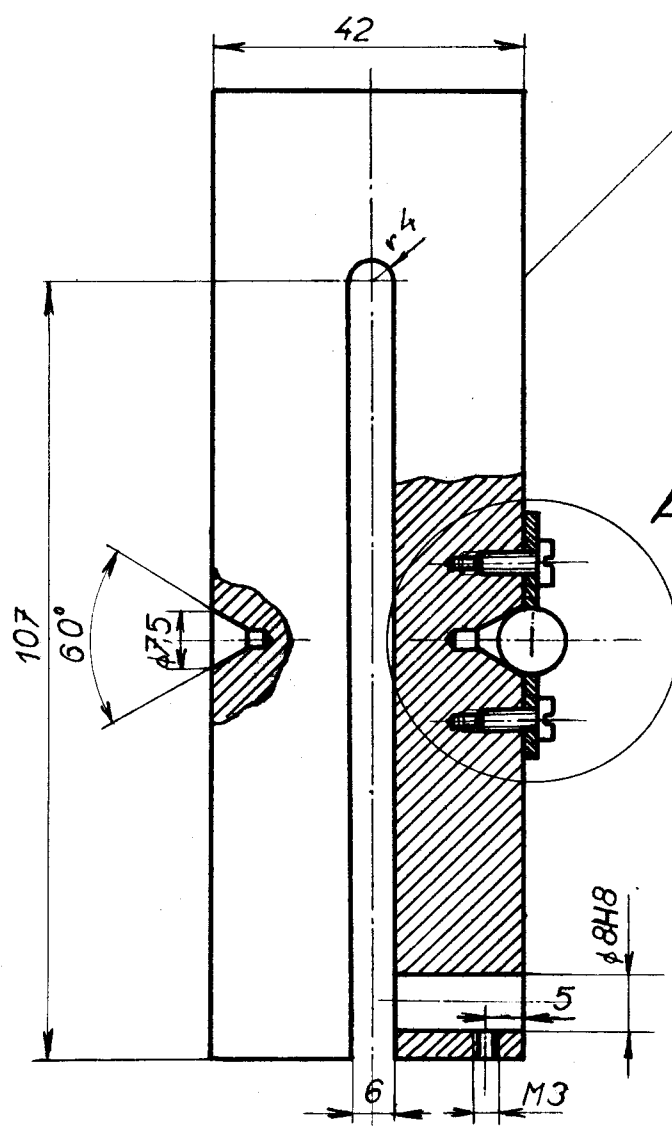
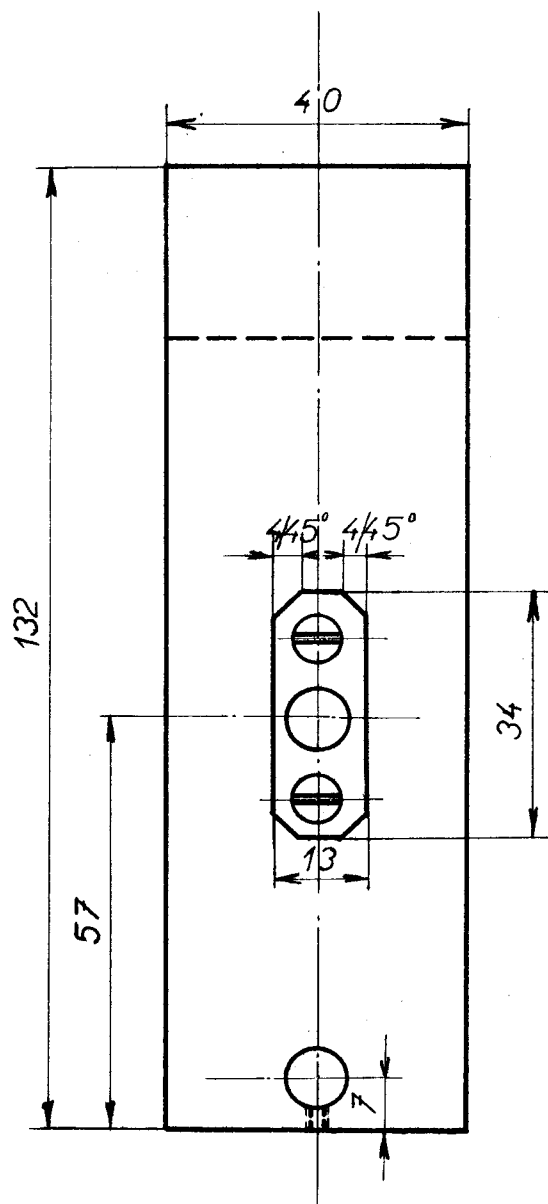
Bylo však provedeno velmi málo měření, aby se mohly učinit jednoznačné závěry. K tomu by bylo třeba ještě mnoho dalších měření.

### Závěr

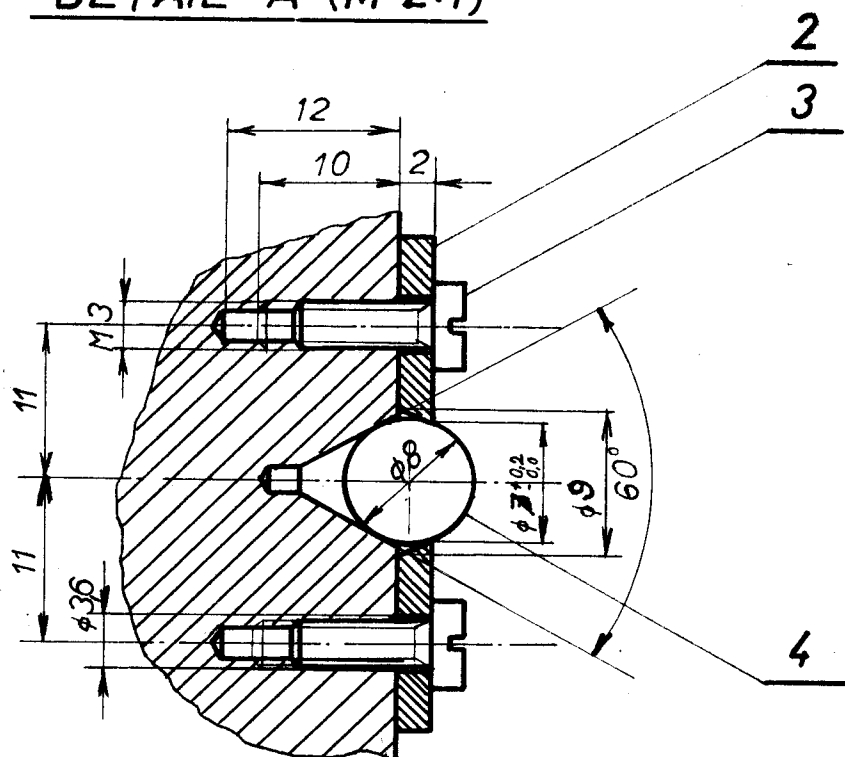
Závěrem bych chtěl poděkovat všem, kteří mi byli při vypracování tohoto diplomního úkolu nápomocni. Zvláště děkuji s. inž. Janu Šálkovi za jeho odborné rady, které mi kdykoliv ochotně poskytl.

### Literatura

- 1/ Turičin: Elektrické měření neelektrických veličin
- 2/ Berthold: Das Messen der Schnittkräfte beim Drehen.
- 3/ Kuklin: Povyšenijsje pročnosti i iznosostojkosti tvjerdosplavnogo instrumenta.
- 4/ Kačmarek: Badanijszybykoczci obszczizanijszy ostrzawychnajacego sie w material przy frezerowaniu czelovym.
- 5/ Šálek: Silový ráz na počátku záběru
- 6/ Preisler - Winter: Konstrukce karbidového nástroje na obrábění s přerušeným řezem.
- 7/ Šálek - Gazda: Použití slinutých karbidů na těžké řezné podmínky.
- 8/ Černožorský - Šťastný: Měření některých mechanických veličin piezoelektrickými snímači.

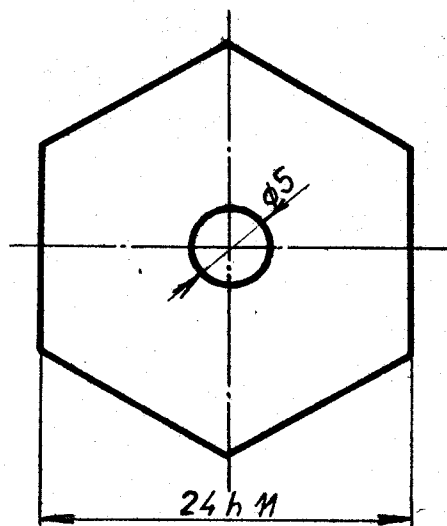
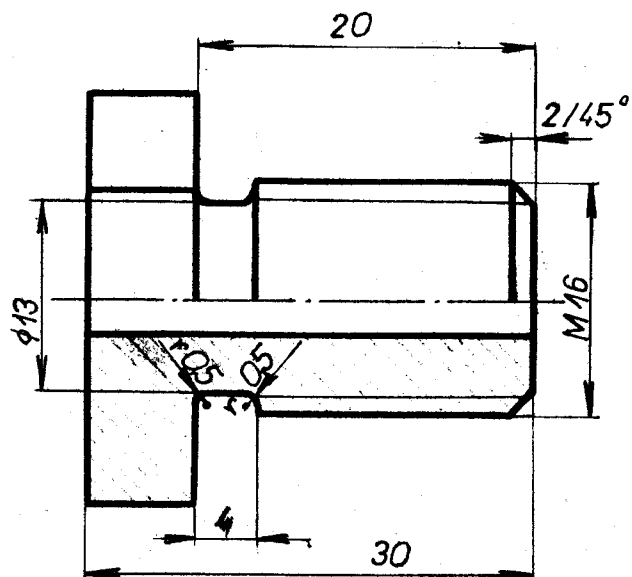


32

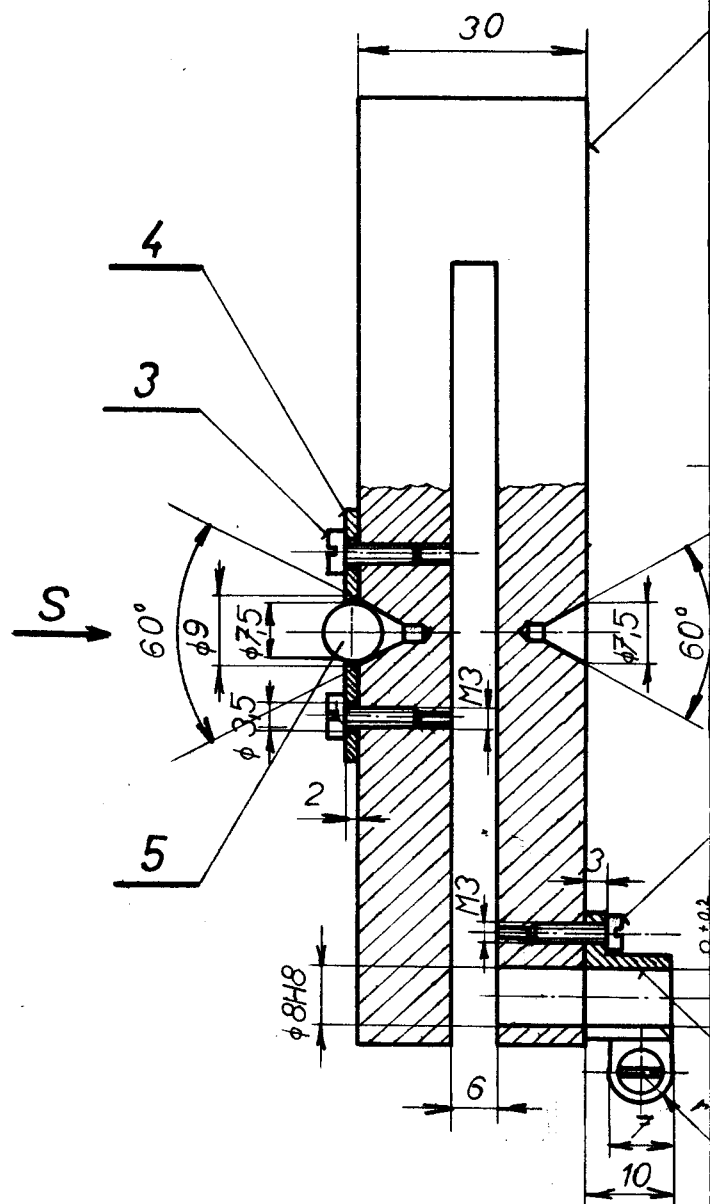
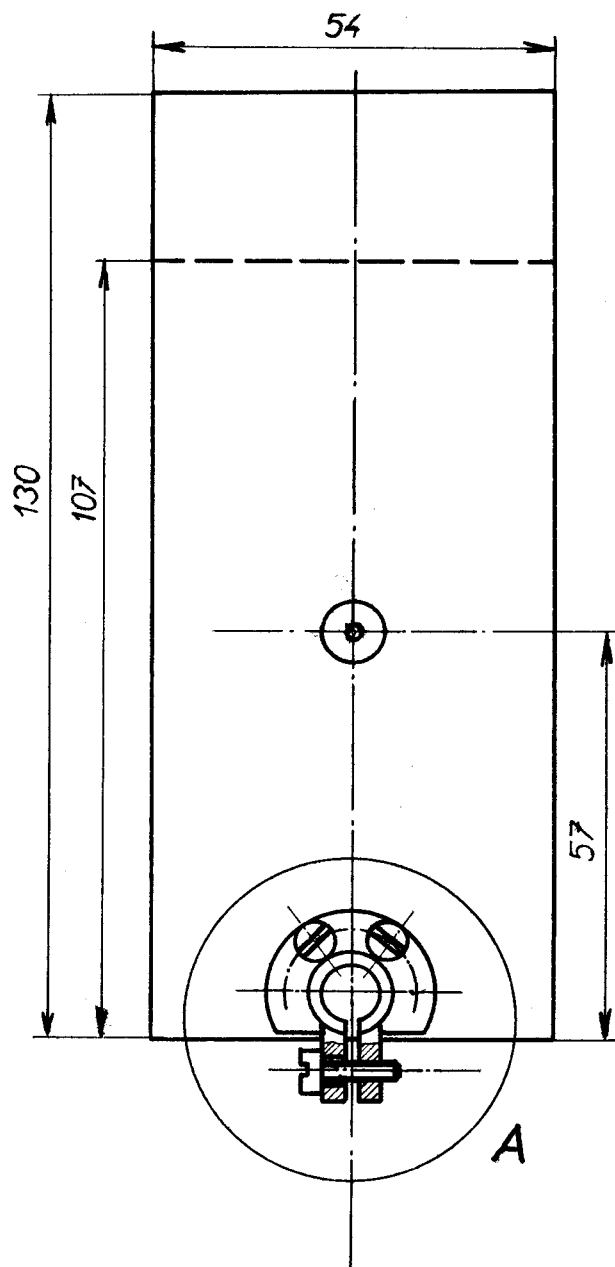
DETAIL A (M 2:1)SRAZIT HRANY

|                                                                  |                             |                                                  |                    |                 |             |
|------------------------------------------------------------------|-----------------------------|--------------------------------------------------|--------------------|-----------------|-------------|
| 4                                                                | KULIČKA $\phi 8$            |                                                  |                    | ČSN 023680      | 1           |
| 3                                                                | SROUB M 3 x 10              |                                                  |                    | ČSN 021131      | 2           |
| 2                                                                | PŘÍLOŽKA                    |                                                  |                    |                 | 1           |
| 1                                                                | CEJCH. DYNAMOMETR           | 12060                                            |                    |                 | 1           |
| Čís. souř.                                                       | Součástí s hlavními rozměry | Material                                         | Hrubé rozměry mel. | Poznámka        | Kusů        |
| Měřítko:                                                         | Kreslil                     | Šedák                                            |                    |                 | d           |
| 1:1                                                              | S. ZAVŘEL                   | Kouřek                                           |                    |                 | c           |
| 12:1                                                             | Prohlížel                   | Datow                                            |                    |                 | b           |
|                                                                  | Klasifikoval                | Znamka                                           |                    |                 | a           |
| VYSOKÁ ŠKOLA STROJNÍ A TEXTILNÍ<br>katedra obrábění a organizace |                             | CEJCHOVNÍ<br>DYNAMOMETR<br>SLOŽKY P <sub>2</sub> |                    | Starý výkres    | Nový výkres |
| LIBEREC                                                          |                             |                                                  |                    | DP-ST-179/63-01 |             |

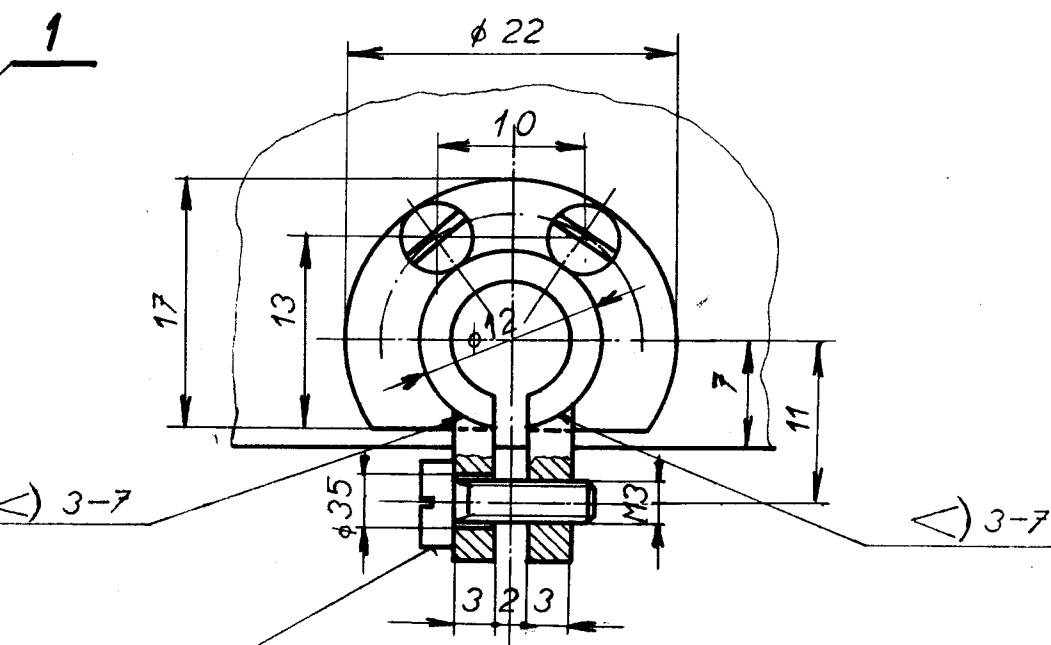
32



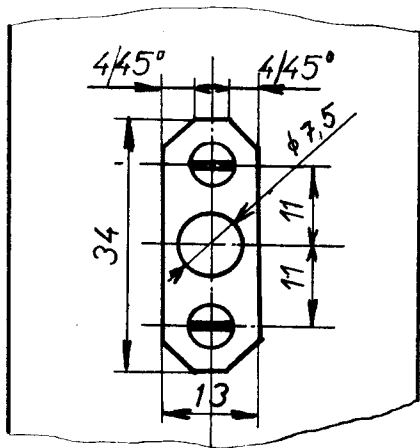
|                                 |            |                |                    |                 |        |             |   |
|---------------------------------|------------|----------------|--------------------|-----------------|--------|-------------|---|
| 024x30                          |            | 11500          |                    |                 |        | 1           |   |
| Cs souč.                        | Souč.      | M. dílů        | Hrubé rozměry mol. | Poznámka        | Kusů   |             |   |
| Prostředí:                      | Kreslil    | Režisér        | Datum              |                 | Podpis | c           | r |
| 2:1                             | ST. ZAVŘEL | Prohlížel      |                    |                 |        |             |   |
|                                 |            | Deska          |                    |                 |        |             |   |
|                                 |            | Známká         |                    |                 |        |             |   |
| VYSOKÁ ŠKOLA STROJNÍ A TEXTILNÍ |            | Název          |                    | Stav výkres     |        | Nový výkres |   |
| katedra obrábění a organizace   |            | ŠROUB          |                    | DP-ST-179/63-06 |        |             |   |
| LIBEREC                         |            | K PIEZOSNIMAČI |                    |                 |        |             |   |



# DETAIL A (M 2:1)

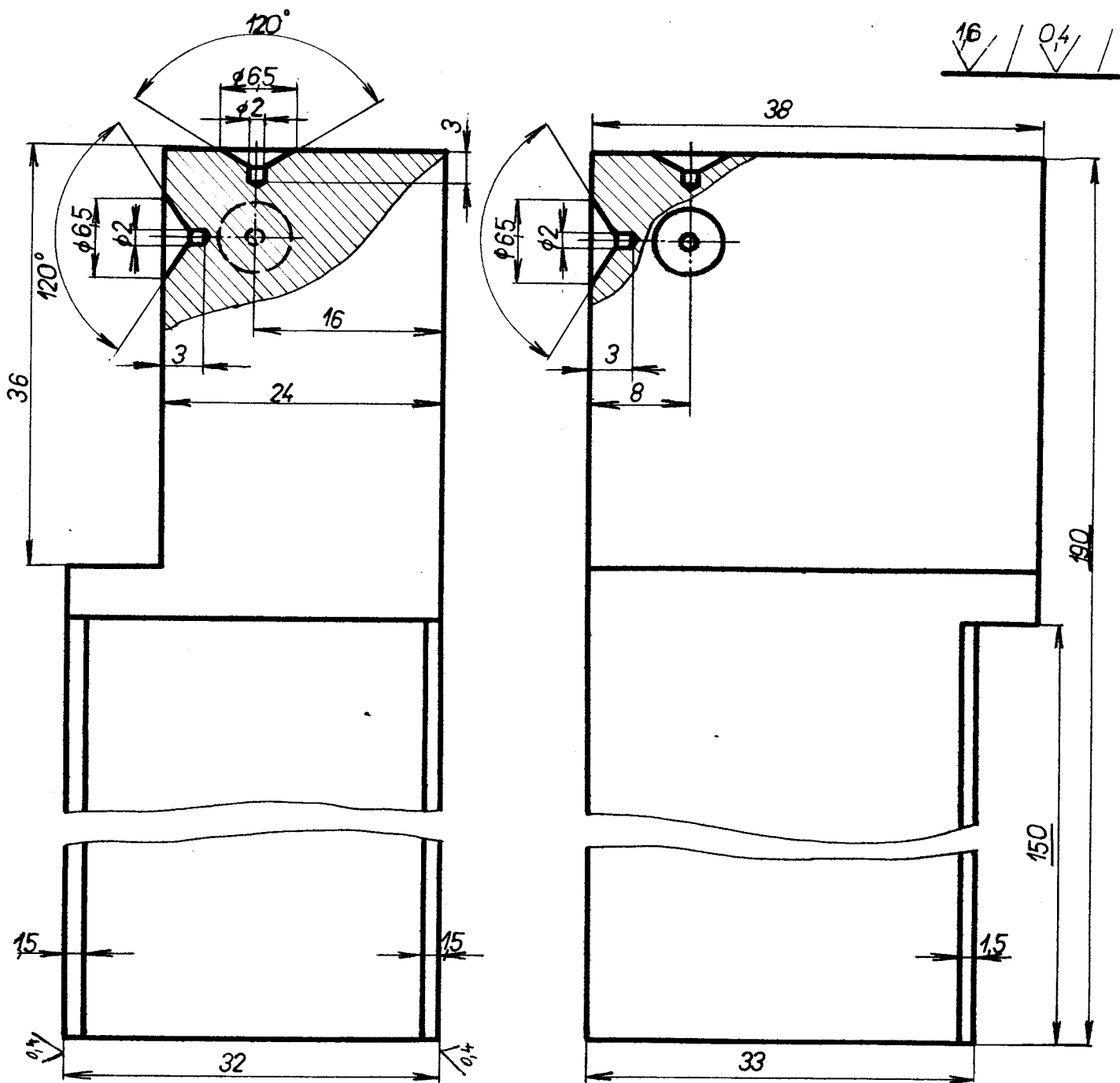


## POHLED SMĚREM S



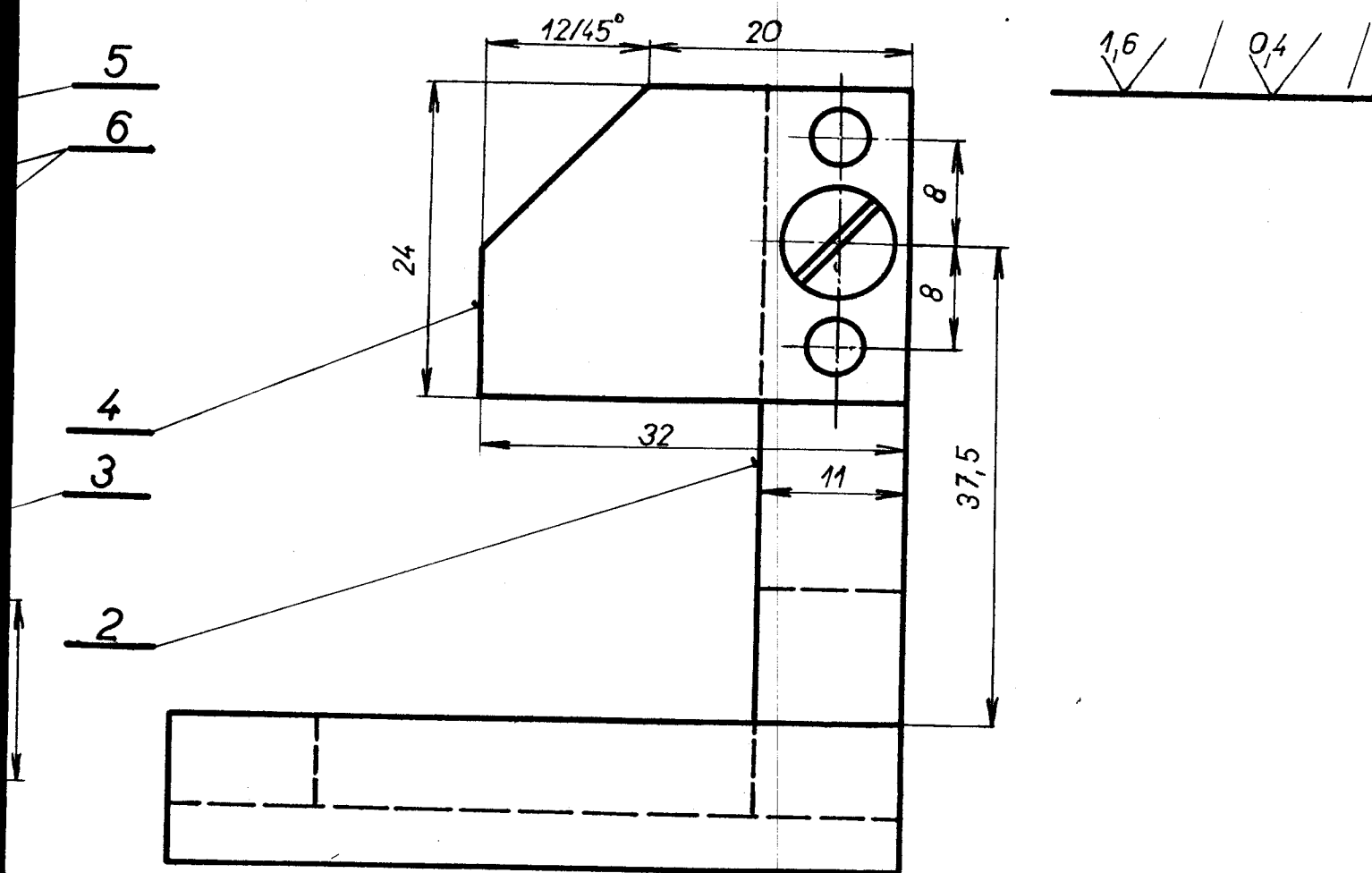
|   |                   |        |  |            |   |
|---|-------------------|--------|--|------------|---|
| 5 | KULIČKA $\phi 8$  |        |  | ČSN 023680 | 1 |
| 4 | PRÍLOŽKA          |        |  |            | 1 |
| 3 | SROUB M3 x 10     |        |  | ČSN 021131 | 5 |
| 2 | DRŽÁK ÚCHYLKOMĚRU | 11 500 |  |            | 1 |
| 1 | CEJCH. DYNAMOMETR | 12060  |  |            | 1 |

|                                 |  |                          |  |                 |  |                 |  |
|---------------------------------|--|--------------------------|--|-----------------|--|-----------------|--|
| Měřítko: 1:1 (2:1)              |  | Jméno: S. ZAVŘEL         |  | Datum: _____    |  | Podpis: _____   |  |
| VYSOKÁ ŠKOLA STROJNÍ A TEXTILNÍ |  | CEJCHOVNÍ                |  | Množství: _____ |  | Množství: _____ |  |
| katedra obrábění a organizace   |  | DYNAMOMETR               |  | Množství: _____ |  | Množství: _____ |  |
| LIBEREC                         |  | SLOŽEK P, P <sub>y</sub> |  | Množství: _____ |  | Množství: _____ |  |
|                                 |  | DP-ST-179/63-02          |  |                 |  |                 |  |



|                                 |  |          |  |                 |  |
|---------------------------------|--|----------|--|-----------------|--|
| 32x38x190                       |  | 12 060   |  | 1               |  |
| ST. ZAVŘEL                      |  | Poznamka |  |                 |  |
| 2:1                             |  | Datum    |  | Podpis          |  |
| VYSOKÁ ŠKOLA STROJNÍ A TEXTILNÍ |  | NÁHRADNÍ |  | DP-ST-179163-04 |  |
| katedra obrábění a organizace   |  | NÚŽ      |  |                 |  |
| LIBEREC                         |  |          |  |                 |  |





OTVORY PRO KOLÍKY VRTAT PO SEŠROUB.

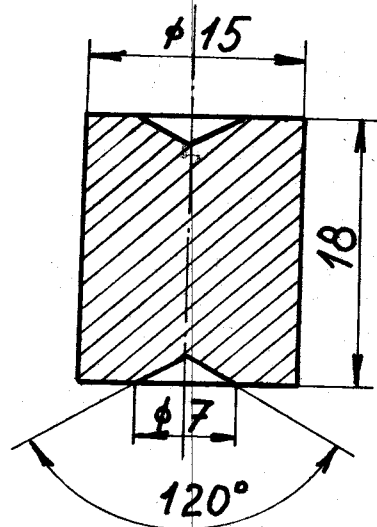
|   |                          |        |  |            |   |
|---|--------------------------|--------|--|------------|---|
| 6 | KOLÍK $\phi 4 \times 12$ | 11 600 |  |            | 4 |
| 5 | ŠROUB $M 4 \times 12$    |        |  | ČSN 021158 | 1 |
| 4 | DOTYKOVÁ ČÁST ŠABLONY    | 11 600 |  |            | 1 |
| 3 | ŠROUB $M 6 \times 15$    |        |  | ČSN 021158 | 1 |
| 2 | RAMENO ŠABLONY           | 11 600 |  |            | 1 |
| 1 | PŘILOŽNÁ ČÁST ŠABLONY    | 11 600 |  |            | 1 |

|          |         |            |     |         |  |
|----------|---------|------------|-----|---------|--|
| Meritko: | Kresil: | St. ZAVŘEL | ol. | Podpis: |  |
| 2:1      |         |            |     |         |  |
|          |         |            |     |         |  |
|          |         |            |     |         |  |
|          |         |            |     |         |  |
|          |         |            |     |         |  |

VYSOKÁ ŠKOLA STROJNÍ A TEXTILNÍ  
katedra obrábění a organizace  
LIBEREC

ŠABLONA

DP-ST-179/63-05



3,2  
✓

|            |              |          |           |          |
|------------|--------------|----------|-----------|----------|
| Ø 15 × 18  |              | 11 500   | Ø 20 × 20 | 1        |
| Cis. souč. | Soubor       |          | Číslo     | Poznámka |
| Měřítko:   | Kreslil      | Revizor  |           |          |
| 2:1        | ST. ZAVŘEL   | Vzorčí   |           | d        |
|            | Poměřil      | Detail   |           | c        |
|            | Klasifikoval | Technika |           | b        |
|            |              |          |           | a        |

VYSOKÁ ŠKOLA STROJNÍ A TEXTILNÍ  
katedra obrábění a organizace  
LIBEREC

VÁLEČEK  
K PIEZOSNIMAČI

DP-ST-179/63-07