

Vysoká škola: strojní a textilní

Katedra: obrábění a ekonomiky

Fakulta: strojní

Školní rok: 1977/78

## DIPLOMOVÝ ÚKOL

pro Pavla K a d e ř á v k 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 diplomový úkol:

Název tématu: Návrh zařízení pro funkční ověření odvalovací frézy s břity ze slinutého karbidu

### Pokyny pro vypracování:

- 1/ Politickohpspodářské zdůvodnění zadaného úkolu
- 2/ Studium literatury, popis stávajícího stavu a srovnání s dosud používanými nástroji na výrobu ozubení odvalovacím frézováním
- 3/ Rozbor silových poměrů na odvalovací fréze konstrukce SMZ (Předpokládané řezné síly, utahovací momenty upínacích elementů frézy apod.)
- 4/ Návrh metodiky statického a dynamického zkoušení odvalovací frézy s konstrukčním zpracováním potřebného zařízení
- 5/ Provedení praktických zkoušek a jejich zhodnocení
- 6/ Závěr a ekonomický přínos řešení.

Autorské právo na tento materiál MSK pro státní zkoušky zřídila VŠMŠ 11/72 za účelem zajištění jednotnosti učebních materiálů. Vydáno 13. 12. 1972. Některé části byly upraveny 31. 8. 1974 a 15. listopadu 1974.

V. 54/1978  
VYSOKÁ ŠKOLA STROJNÍ A TEXTILNÍ  
Ústřední knihovna  
LIBEREC, STUDENTSKÁ 5  
150 431 17

Rozsah grafických laboratorních prací: grafy, tabulky, náčrty, fotografie,  
výkresy - podle potřeby

Rozsah průvodní zprávy: 50 - 60 stran

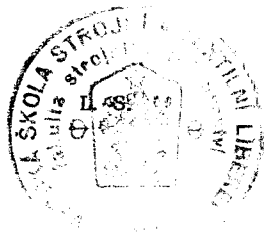
Seznam odborné literatury: Podklady VŠST Liberec a  
n.p. Dubnica SMZ  
Firemní literatura  
Klepal: Výroba ozubených kol  
Gabriel: Pevnostní namáhání upínacích elementů  
jednobřítých nástrojů

Vedoucí diplomové práce: Ing. Robert Kvapil

Konsultanti: Ing. Stanislav Smékal

Datum zahájení diplomové práce: 10.10.1977

Datum odevzdání diplomové práce: 26.5.1978



*Draský*  
Prof. Ing. Jaroslav Draský, CSc

Vedoucí katedry

*Stříž*  
Doc. RNDr. Bohuslav Stříž, CSc

Děkan

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

V Liberci dne 26. 5. 1978

*Pavel Kaderávek*  
.....

VŠST LIBEREC

Fakulta strojní

Obor 23 - 07 - 8

Strojírenská technologie

zaměření

Obrábění a ekonomika

Katedra obrábění a ekonomiky

NÁVRH ZAŘÍZENÍ PRO FUNKČNÍ OVĚŘENÍ ODVALOVACÍ FRÉZY  
S BŘÍTY ZE SLINUTÉHO KARBIDU

---

DP ST - 1392/78

Jméno autora: Pavel Kadeřávek

Vedoucí práce: ing. Robert Kvapil (VŠST Liberec)

Konzultant: ing. Robert Kvapil (VŠST Liberec)

ing. Stanislav Smékal (VŠST Liberec)

Rozsah práce a příloh:

Počet stran . . . . . 89  
Počet tabulek . . . . . 19  
Počet grafů . . . . . 3  
Počet obrázků . . . . . 30  
Počet výkresů . . . . . 14

DT 621.9:833

V Liberci dne 26. 5. 1978

Obsah:

1.0	Úvod.....	6
2.0	Politicko-hospodářské zdůvodnění zadaného úkolu.....	8
3.0	Popis stávajícího stavu odvalovacích fréz a srovnání s dosud používanými nástroji na výrobu ozubení odvalovacím frézováním .....	10
3.1	Rozdělení odvalovacích fréz a přehled pokrokových konstrukcí odvalovacích fréz .....	11
3.1.1	Odvalovací frézy monolitní .....	11
	Odvalovací frézy s předem stanoveným rozdělením třísek tzv. "PROGRES frézy" .....	13
	Odvalovací frézy vícechodé .....	14
	Odvalovací frézy FETTE .....	14
3.1.2	Odvalovací frézy skládané .....	16
	Konstrukce firmy Samputensili .....	17
	Konstrukce firmy Saazor .....	18
	Konstrukce Klingenberg .....	19
	Konstrukce Fette .....	20
	Konstrukce VN II .....	22
	Skládané odvalovací frézy naší konstrukce .....	22
	Konstrukce ZPS Gottwaldov .....	23
	Konstrukce SMZ Dubnica n. Váh. ....	25
3.2	Srovnání monolitní odvalovací frézy z RO a skládané odvalovací frézy s břity ze SK konstrukce SMZ Dubnice n. Váh. ....	27
3.3	Závěr a zhodnocení uvedených typů odvalovacích fréz .....	29
4.0	Rozbor silových poměrů na odvalovací fréze konstrukce SMZ Dubnica n. Váh. ....	30
4.1	Předpokládané řezné síly .....	30
4.2	Pevnostní výpočet mechanismu upínání řezného hřebene .....	34
4.3	Utahovací momenty upínacích elementů odvalovací frézy SMZ Dubnica n. Váh. ....	38
5.0	Návrh metodiky statického a dynamického zkoušení odvalovací frézy s břity ze SK s konstrukčním zpracováním potřebného zařízení .....	40
5.1	Návrh zařízení pro funkční ověření odvalovací frézy s břity ze SK .....	41

5.1.1	Návrh a popis přípravku pro upnutí odvalovací frézy s břity ze SK .....	41
5.1.2	Popis použitého elektrohydraulického vibrátoru.....	42
5.2	Návrh metodiky statického zkoušení odvalovací frézy s břity ze SK .....	45
5.3	Návrh metodiky dynamického zkoušení odvalovací frézy s břity ze SK .....	47
5.4	Návrh metodiky statického a dynamického zkoušení odvalovací frézy s břity ze SK pomocí laseru .....	48
6.0	Provedení praktických zkoušek a jejich zhodnocení...	51
6.1	Velikost axiální síly potřebné k posunutí hřebínku ze SK při suchém spojení tělesa, klínu a šroubu pro nedělené upínací klíny .....	52
6.2	Velikost axiální síly potřebné k posunutí hřebínku ze SK při suchém spojení tělesa, klínu a šroubu pro dělené upínací klíny .....	59
6.3	Velikost axiální síly potřebné k posunutí hřebínku ze SK při promazání jednotlivých částí upínacího mechanismu odvalovací frézy pro dělené upínací klíny .....	65
6.4	Proměření tělesa frézy, nedělených upínacích klínů a ozubených hřebínků ze SK .....	71
6.4.1	Proměření tělesa frézy .....	72
6.4.2	Proměření nedělených upínacích klínů .....	76
6.4.3	Proměření ozubených hřebínků ze SK .....	80
6.5	Zhodnocení provedených měření, závěr a doporučení...	80
7.0	Návrh nové konstrukce odvalovací frézy s břity ze SK .....	83
8.0	Závěr a ekonomický přínos řešení .....	85
	Seznam literatury .....	87
	Seznam příloh .....	89

## 1.0 Úvod

Žijeme v době, kdy lidstvo prožívá období prudkého rozvoje vědy a techniky, což vyvolává značné změny ve výrobě a rozvoji lidské společnosti. Řízení vědecko-technického pokroku musí směřovat k uspokojování současných a perspektivních potřeb společnosti v oblasti materiální výroby.

Možno říci, že s postupujícím vývojem bude podíl technického rozvoje na zabezpečení růstu produktivity práce neustále stoupat. Tento rozvoj vědy a techniky uplatňovaný v procesu výroby si není možné představit bez pracovních prostředků, jejichž součástí jsou i vysoce výkonné řezné nástroje.

V poslední době ve vývoji, konstrukci a technologii, jakož i v samotném používání řezných nástrojů, dochází k výrazným kvalitativním změnám. Začínají se vytvářet obecnější zásady konstrukce a technologie výroby řezných nástrojů na základě jiných vědních disciplin. Praktické zkušenosti jsou doplňované a přepracované na teoretické zásady. Vznikla tak nová vědní disciplína - teorie navrhování řezných nástrojů. To vede k urychlení vědecko-technické revoluce u nás v oblasti řezných nástrojů. Revolučnost spočívá v tom, že do výroby vstupuje věda, jako bezprostřední výrobní síla.

Stroje a mechanizační prostředky se sestávají z různých druhů strojních částí. Jednou skupinou těchto součástí jsou ozubená kola, jejichž potřeba stále stoupá. Ovlivňují kvalitu a cenu výrobku, a proto se konstrukci a výrobě ozubených kol věnuje značná pozornost. Jsou zdokonačovány nejen stroje, ale i nástroje. V současné době se ve strojírenství stále více používá vysoce výkonných odvalovacích frézek na ozubení, které dosahují světových parametrů. Protože nezbytnou součástí každého stroje je nástroj, musí mít průmysl k dispozici dostatek kvalitních a vysoce výkonných nástrojů. Kvalitě nástrojů není však stále věnována dostatečná pozornost, neboť výroba i konstrukce nástrojů na ozubení, je ze všech ostatních druhů nástrojů nejobtížnější.

Zejména u nástrojů na ozubení je tento požadavek zvláště důležitý, neboť právě obráběcí stroje na ozubení svou stále novou koncepcí v řadě případů již předstihly nástroje, takže produktivita práce je záležitostí hlavně nástrojů. Je proto nutné věnovat nástrojům na ozubení zvýšenou pozornost, neboť zavedením nových nástrojů do výroby, které byly konstruovány na základě výzkumu a nových poznatků, je jedním ze základních předpokladů pro úspěšnou moderní výrobu ozubených kol.

Tato diplomová práce se zabývá návrhem zařízení pro funkční ověření odvalovací frézy s břity ze slinutého karbidu. Dále pak problémem utahovacích momentů upínacích elementů frézy, jakožto i rozborem silových poměrů na odvalovací fréze konstrukce SMZ Dubnica n. Váh.

Každé zlepšení i úspora ve výrobních nákladech při zvýšení výkonnosti, trvanlivosti a životnosti nástroje se výrazně projeví v celém národním hospodářství.



## 2.0 Politicko-hospodářské zdůvodnění zadaného úkolu

Vývoj nových vysoce produktivních odvalovacích fréz si vyžaduje také rychlý vývoj velmi výkonných nástrojů (odvalovacích fréz), které by splňovaly všechny požadavky na ně kladené, jako jsou např. vyšší řezné rychlosti a posuvy, vyšší trvanlivost a životnost při stejné, anebo větší přesnosti.

Požadavek zvětšené řezné rychlosti a trvanlivosti se v našem průmyslu řeší různými způsoby. Je to např. používání fréz velkých průměrů, vyostřování kladného úhlu čela a pod. Nejvýhodnější se však ukazuje použití nových řezných materiálů, jako jsou vysoce výkonné rychlořezné oceli a houževnaté slinuté karbidy. Použití vzpomínaných řezných materiálů si vyžaduje z hospodářských důvodů nové konstrukce odvalovacích fréz. Konkrétně to jsou skládané odvalovací frézy, u kterých je těleso z konstrukční legované oceli a zuby jsou zhotoveny z vysoce výkonného řezného materiálu, čímž dochází k úspoře drahých vysoce výkonných materiálů např. rychlořezných ocelí. Požadavek zvýšené řezné rychlosti, posuvu, zvýšené trvanlivosti a životnosti, při stejných výrobních nákladech, ale větší výkonnosti než u fréz monolitních, byl brán v úvahu při návrhu a konstrukci skládané odvalovací frézy s břity ze slinutého karbidu, která byla vyvinuta v národním podniku SMZ Dubnica nad Váhom.

Mým úkolem bylo funkčně ověřit tuto skládanou odvalovací frézu, aby mohla být zavedena do výrobního procesu a tím přispět k rychlejší a přesnější výrobě drážkovaných hřídelů při stejných výrobních nákladech, což by mělo nesporný vliv na růst produktivity práce, cenu těchto výrobků, jakožto i jejich přesnost a jakost. Tato skládaná odvalovací fréza tedy splňuje požadavek růstu vědeckotechnického rozvoje, což vede k dalšímu růstu společenské produktivity práce a k uskutečňování strukturálních změn ve výrobním procesu a v celé naší společnosti, což je také náplní Směrnic pro hospodářský a sociální rozvoj ČSSR v letech 1976 - 1980.

Problémy našeho strojírenství v oblasti vědecko-technického rozvoje vyplývají i ze závěrů XV. sjezdu KSČ a zasedání ÚV KSČ ze září 1976. Vědecko-technický rozvoj má tedy nesmírný vliv na rozvoj našeho strojírenství a tím i na celé národní hospodářství, neboť strojírenství se v ČSSR podílí na průmyslové výrobě téměř 31 % a na rozvoji národního hospodářství více než 20 %.

### 3.0 Popis stávajícího stavu odvalovacích fréz a srovnání s dosud používanými nástroji na výrobu ozubení odvalovacím frézováním

Při výrobě evolventního ozubení je nejčastější a nejrozšířenější odvalovací způsob, neboť poskytuje řadu výhod oproti jiným známým metodám. Vyznačuje se velkou produktivitou práce, protože při obrábění představuje nástroj a obrobek záběr šroubového soukolí, takže zuby se obrábějí plynule, bez ztrátových reverzačních časů /7/.

Nástrojem daného modulu vyrobíme ozubená kola s libovolným počtem zubů - a to kola přímá, šikmá, korigovaná, nekorigovaná i šneková (shoduje-li se průměr nástroje s průměrem šneku), s vnějším ozubením. Třída přesnosti obrobků je 4., 5., 6., v případě korekčního zařízení na odvalovací frézce a pomocí zvlášť přesného nástroje i 3. třída. Nevýhodou této metody jsou vyšší ztrátové časy pro náběh a výběh nástroje. Další nevýhodou je, že odvalovacími frézami nelze vyrábět stupňovitá (stromečková) soukolí.

V současné době se v našem strojírenství používají na výrobu ozubení převážně frézy monolitní, které mají výhody oproti ostatním nástrojům na výrobu ozubení. Pokrok ve výrobě ozubení přinášejí skládané odvalovací frézy, které dovolují zvýšení rezné rychlosti, posuvu, při větší trvanlivosti a životnosti. Skládaná odvalovací fréza s břity ze SK konstrukce SMZ n.p. Dubnica n. Váh., poskytuje možnost realizace racionální technologie, která dává záruky ekonomické efektivity. Když porovnáme výrobnost při obrábění evolventního drážkování frézami z RO a frézou skládanou s břity ze SK, potom při použití odvalovací frézy s břity ze SK je výrobnost minimálně třikrát větší, než při použití frézy z rychlořezné oceli při stejných nákladech na nástroje /11/.

Z tohoto důvodu by se tedy mělo přecházet při výrobě ozubení na skládané odvalovací frézy, jejichž výhody oproti frézám z rychlořezné oceli jsou nesporné.

### 3.1 Rozdělení odvalovacích fréz a přehled pokrokových konstrukcí odvalovacích fréz

Podle konstrukce rozdělujeme odvalovací frézy na

1. frézy celistvé - monolitní
2. frézy skládané - mají vyměnitelné zubové hřebeny, nebo jednotlivé zuby

Norma ČSN 222501 rozlišuje odvalovací frézy podle úhlu záběru  $\alpha$  na frézy:

1. frézy pro evolventní ozubení s úhlem  $\alpha = 20^\circ$   
(tyto jsou normalizované jako ČSN)
2. frézy pro evolventní ozubení s úhlem  $\alpha = 15^\circ$

Podle použití fréz:

1. hrubovací - předhrubovávají zubové mezery ozubeného kola
2. pro broušená ozubení - ponechávají na bocích zubů přídavek na dokončení broušením
3. dokončovací - vytváří načisto žádaný profil zubové mezery
4. s modifikovaným profilem - pro srážení hran na hlavách zubů kol pro vytvoření vstupní i výstupní vůle, nebo pro vytvoření speciálního tvaru boku zubu
5. speciální - frézy na ozubení Novikov, frézy na vnitřní ozubení, frézy na drážkované hřídele, frézy na řetězová kola.

Odvalovací frézy mohou být pravochoché nebo levochoché i vícechoché. Podle přesnosti rozlišujeme odvalovací frézy do čtyř skupin AA, A, B, C (první je nejpřesnější).

#### 3.1.1 Odvalovací frézy monolitní

Monolitní odvalovací frézy patří v současnosti k nejekonomičtějším nástrojům na výrobu ozubených kol. Při výrobě ozubení rozeznáváme dvě metody:

1. tvarová metoda
2. odvalovací způsob

Oproti frézování tvarovou metodou je odvalovací způsob přesnější a výkonnější. Je založený na principu práce ozubeného soukolí. Jedna ozubená součást se vyrobí v tvaru rezného nástroje, druhá ve tvaru obráběného ozubeného kola. Odvalovacími frézami se obrábějí přímé i šroubovitě zuby kol. Fréza se nastaví tak, aby směr závitů šroubovice se shodoval se směrem zubů obráběného ozubeného kola. Trvanlivost frézy se značně zvyšuje použitím sousledného frézování vyráběného ozubení. Aby se ještě zvýšila výkonnost při frézování ozubení monolitními odvalovacími frézami, používají se tyto metody:

1. Frézování dělenými několikachodými odvalovacími frézami
2. Vyhrubování zubových mezer na speciálních rychlostních obráběcích strojích, po kterých následuje obrábění ozubených kol načisto, anebo poločisto na strojích se zvýšenou přesností. Hrubovací frézy obrábějí:
  - a/ odvalováním
  - b/ tvarovou metodou
3. Frézování speciálními frézami Progres
4. Obrábění na několika vřetenových strojích

K přednostem frézování ozubených kol monolitními odvalovacími frézami patří:

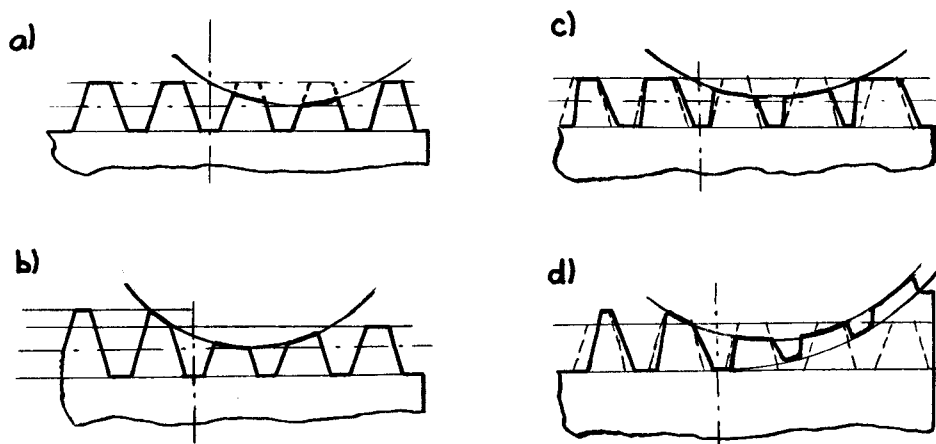
- dosažení velké přesnosti nejdůležitějších prvků ozubení
- plynulé (nepřerušované) obrábění
- vyloučení chodu naprázdno
- značný celkový obvod rezných břitů
- poměrně jednoduchá výroba
- kontrola a ostření nástroje.

Všechny tyto přednosti monolitních odvalovacích fréz nás přivádějí k jedinému cíli: jejich výrobou je potřebné se zabývat po všech stránkách.

Odvalovací frézy s předem stanoveným rozdělením  
třísek tzv. "Progres frézy"

Při frézování ozubených kol normální odvalovací frézou odebírají některé její zuby nestejný průřez třísky, při čemž ostatní zuby zůstávají nevyužity. To způsobuje rozdílnou velikost zatížení jednotlivých hřebenů. Tyto zuby se velmi rychle opotřebují a v důsledku toho se musí přeastřovat celý nástroj, i když ostatní zuby mají ještě zachovalé ostří.

Tyto nedostatky odstraňují odvalovací frézy s předem stanoveným rozdělením třísek, kde zatížení všech zubů je rovnoměrné, což umožňuje značné zvýšení posuvu. Toho se dosáhne tvarovým vybroušením vnějšího válce odvalovací frézy podle šablony. Korekční křivka je různá pro každý případ podle počtu zubů ozubeného kola. Čtyři hlavní typy úprav ukazuje obr. 3.1.



obr. 3.1 - Progres frézy

Na obr. 3.1 a/ a 3.1 b/ jsou frézy, které se vyrábějí z normálních fréz vybroušením korekční křivky. Obr. 3.1 c/ a 3.1 d/ ukazuje speciálně vyráběné frézy. Šířka zubů těchto fréz se postupně mění, u posledního typu se mění i korekční křivka.

Tyto nástroje mají omezené universální použití a jsou vhodné pro seriovou a hromadnou výrobu, kde se jejich vlastností plně využije. Mohou pracovat s posuvy  $3 \div 8$  mm/ot., ale se zřetelem na jakost povrchu obráběného kola je vhodné používat posuvu do 3 mm/ ot.

Prostorové úpravy, výpočet i konstrukce nástroje, jakož i výroba jsou velmi náročné a nákladné. Proto se tyto frézy již skoro nepoužívají.

#### Odvalovací frézy vícechodé

Frézy této skupiny jsou vytvořeny z několikachodého Archimedova šneku. Srovnáme-li je s frézami jednochodými, mají tu výhodu, že zvyšují výkon řezání, neboť na každou otáčku frézy se obrobek otočí  $1/z$  krát, při čemž

i ..... počet chodů frézy

z ..... počet zubů obráběného kola

S rostoucím počtem chodů se zvětšuje nepřesnost frézy, neboť je nutné volit velké stoupání šroubovice. U těchto fréz se volí větší průměr a větší počet řezných drážek, abychom dosáhli žádané přesnosti, protože jednochodá fréza vytvoří zubovou mezeru kola dvojnásobným počtem "obalových profilů", než fréza dvouchodá. Počet zubů obráběného kola nesmí být dělitelný počtem chodů frézy, jinak by nebyl během otáčky obrobku každý zub obráběn dalšími chody frézy.

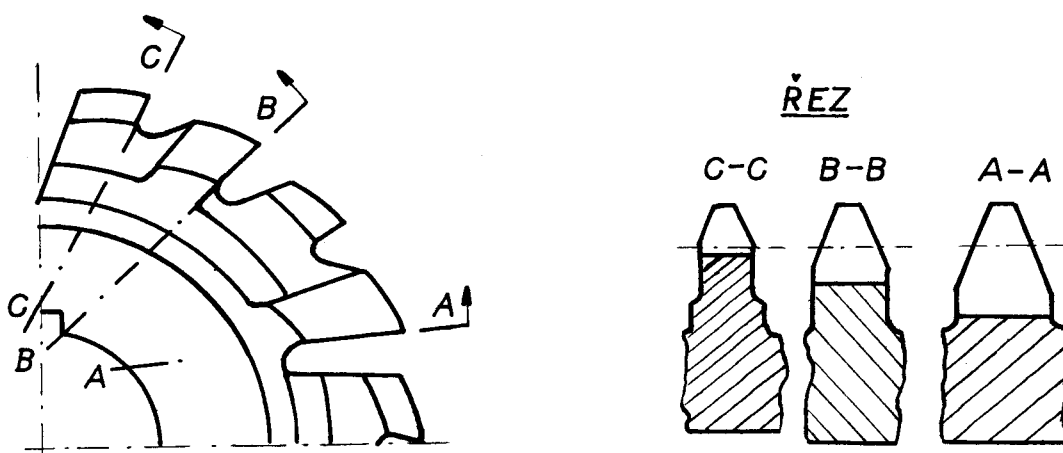
Tyto frézy se používají jako dokončovací pouze pro malé moduly (do  $m = 3$  mm) a velký počet obráběných zubů. Pro střední moduly se uplatňují jako hrubovací. Jejich výroba a kontrola je pracnější než u fréz jednochodých a tím se zvyšují náklady na nástroj.

#### Odvalovací frézy Fette

Při odvalovacím frézování je zatížení jednotlivých zubů proměnné, proměnné je i zatížení na obvodu jednoho zubu.

Proto se hledají různé způsoby úprav fréz, které zrovnoměrní namáhání zubů. Vycházíme-li z poznatku, že největší otupení nastává na hlavě zubu, dále pak na přechodu mezi hlavou a boky zubu, zatím co na bocích zubu je opotřebení mnohem menší, musí být naší snahou zabránit tomuto nepříznivému jevu. Provádí se proto rozdělení třísky a to tím způsobem, že jsou břity frézy různě přesazeny (stupňovitě, konkávně, křížově), nebo se záběr rozdělí na více zubů.

Při vývoji upravené Fette frézy bylo využito poznatku, že přibližně 75 % z celkového namáhání zubu je v oblasti horní třetiny zubu tj. u hlavy, 19 % v prostřední části a zbytek u paty zubu.



obr. 3.2 - Břity Fette frézy

Zmenšením výšky některých zubů, jak je patrné z obr. 3.2, bylo možno umístit zuby těsněji za sebou. Tím se dostává více zubů do záběru a záběr se tak stává plynulejším a rovnoměrnějším. Větší počet zubů v záběru snižuje také namáhání /13/.



### 3.1.2 Odvalovací frézy skládané

V oblasti rozvoje konstrukcí odvalovacích fréz se sleduje viditelný ráz skládaných konstrukcí a to jak u nás, tak i v zahraničí. Výhodou používání skládaných odvalovacích fréz je velké využití zubů, z čehož vyplývá lepší jakost povrchu, geometrická přesnost a přesnost geometrie řezného klínu. Další výhodou je možnost použití větších řezných rychlostí a posuvů.

Těleso frézy je z konstrukční oceli a vkládané ozubené hřebeny jsou z výkonných kobaltových rychlořezných ocelí, anebo jsou vyrobeny ze slinutých karbidů, které se po úplném opotřebení dají vyměnit, čímž se dosáhne úspory rychlořezné oceli. Tyče pro ozubené hřebeny z rychlořezné oceli se mohou vzhledem k menší hmotě lépe prokovat a tím přímo ovlivnit strukturu a rozložení karbidů. Tepelné zpracování je pak mnohem snazší. Nástroj, který je složen z takovýchto hřebenů, dosahuje větší životnosti, tvrdosti i houževnatosti a zvyšuje až jeden a půl krát výkon oproti frézám monolitním.

Další předností odvalovacích fréz skládaných je velké využití délky zubu, příznivější geometrie břitu a lepší vyostření zubového profilu, který vzniká ostřením zubových hřebenů nakulato v přípravných jako šnek. Hřbetní plochy jsou na válcové ploše, takže odpadá pracné a zdlouhavé podbrušování.

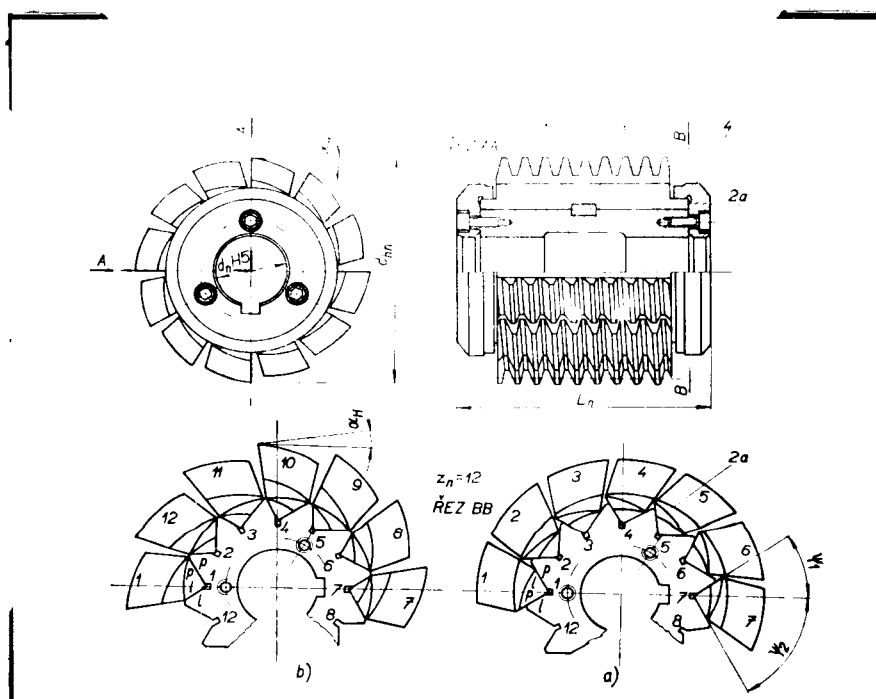
Hřebeny se pak z přípravku vyjímají a vkládají se do funkčního tělesa, ve kterém jsou natočeny tak, aby dostaly správné řezné úhly. Velikost úhlu hřbetu na hlavě zubu  $\alpha_p$  a tedy též na bocích můžeme volit libovolně, protože nejsme omezeni skokem vačky. Zubové drážky se z výrobních důvodů dělají přímé v osové rovině a ne ve šroubovici kolmo na stoupání zubů hřebene, jako je to u monolitních odvalovacích fréz. Vzniklá nepřesnost se snižuje tak, že se úhel stoupání základní šroubovice volí  $2^\circ \div 4^\circ$ , anebo ještě menší.

Použitím  $8 \div 15$  krát většího průměru brusného kotouče než je průměr brusného kotouče pro podbrušování fréz celistvých, se dosáhne větší přesnosti broušených hřebenu, neboť brusný kotouč má větší tvarovou stálost a odolnost proti vibracím.

Skládané odvalovací frézy nelze použít pro odvalovací frézy malého průměru a pro nástroje závislé na průměru a délce. Skládané odvalovací frézy jsou výrobně složitější, pracnější a v některých případech i nákladnější než frézy celistvé, ale vezmou-li se v úvahu všechny jejich přednosti, pak vše svědčí pro jejich široké zavedení, k čemuž vede i vypracování této diplomové práce.

Nejvíce typickými představiteli skládaných konstrukcí jsou frézy firem: Samputensili, Klingenberg, Saazor, Fette, konstrukce VN II státního výzkumného ústavu v SSSR, jakožto i konstrukce našich závodů.

#### Konstrukce firmy Samputensili

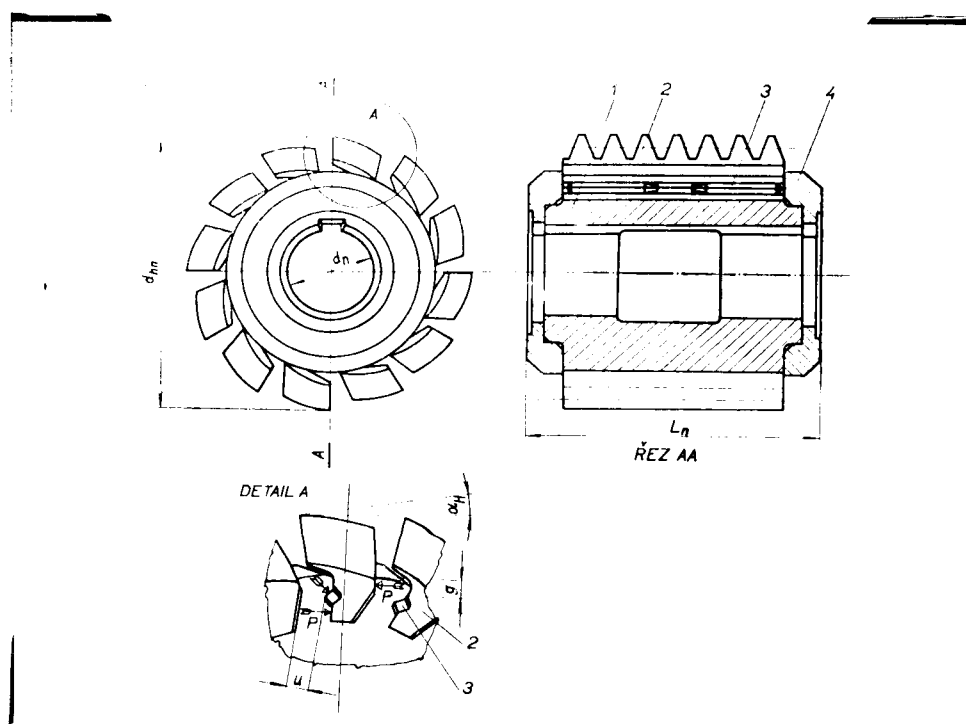


obr. 3.3 - Skládaná odvalovací fréza fy Samputensili

Základní součástí této konstrukce je těleso 1, vyrobené z konstrukční oceli, po jehož obvodě jsou vyfrézovány drážky, v nichž jsou uloženy hřebeny z rychlořezné oceli. Úhly  $\psi_1$  a  $\psi_2$  jsou nesymetrické. V axiálním směru jsou hřebeny drženy dvojdílnými, přesně zalícovanými kruhovými pery 3 a v radiálním směru dvěma čelními nákrážky 2a pomocí přírub 4. Příruby jsou k tělesu 1 přišroubovány třemi šrouby s vnitřním šestihranem (šrouby imbus). Při výrobě a ostření jsou hřebeny v poloze viz obr. a/ a funkční poloha vznikne přetočením do polohy b/ viz obr. 3.3. Na základní těleso mohou být hřebeny upnuty desetkrát /6/.

Vyrábějí se v rozsahu modulů  $0,5 \div 10$  mm,  $d_{hn} = 66 \div 220$  mm, s průměry upínacího otvoru  $d_n = 22 \div 60$  H5 a délkou  $L = 80 \div 180$  mm. Počet hřebenů je volen co největší a to u hrubovacích fréz 12 a u dokončovacích fréz 16 hřebenů.

Konstrukce Saazor závodu Wälztechnik GmbH

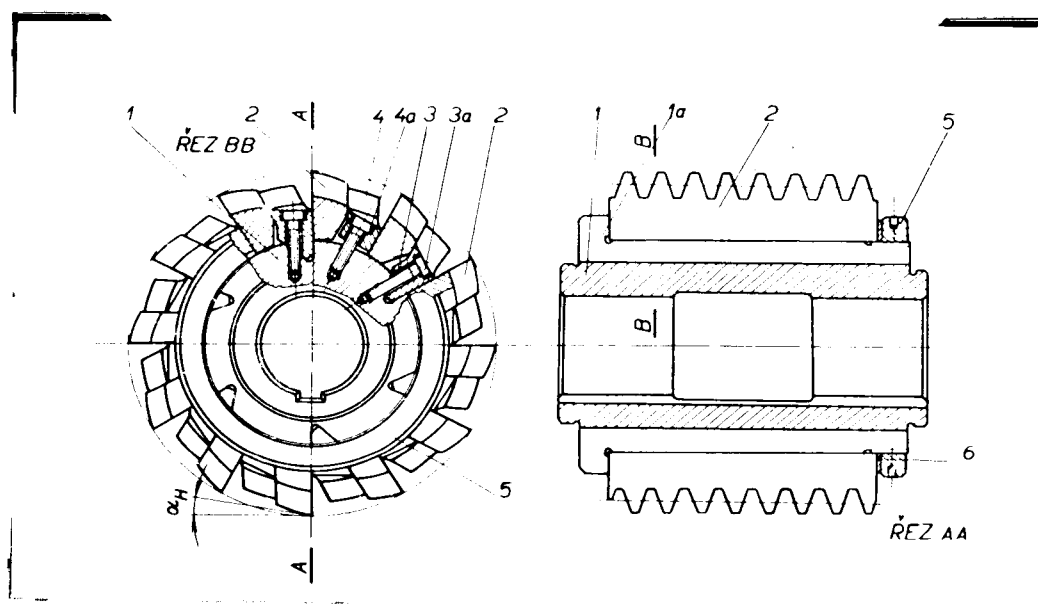


obr. 3.4 - Skládaná odvalovací fréza konstrukce Saazor

Upevnění hřebenu 2 na základním tělese 1 je provedeno pomocí klínu 3, jak je to vidět z obr. 3.4. V patě ozubeného hřebene a v tělese frézy jsou po celé délce zhotoveny drážky, které probíhají rovnoběžně s osou tělesa. Do těchto drážek jsou zalisovány kolíky čtvercového, nebo obdélníkového tvaru 3 tak, že se dotýkají pod tlakem jen dvou protilehlých stran a výsledná tečná síla směřuje šikmo k radiální střednici. Dosedací plochy budou na čelní straně hřebenu, dnu drážky a zadní radiální stěně  $q$ , kterou volíme minimální pouze pro zachycení dvojice sil  $P$ . Na zešikmené ploše je vůle.

Výhody této konstrukce jsou v tom, že je možné upínat co nejvíce hřebenů, neboť vzdálenost  $u$  může být se zřetelem na zlomení poměrně malá. K zvýšení hospodárnosti se prodlužuje činná část hřebene dopředu. Axiální zajištění hřebenů je pomocí přírub 4, které jsou na těleso nasazeny za tepla. Zuby na hřebenech se vyrábějí v přípravku, který je zrcadlovým obrazem tělesa frézy, jako šnek.

#### Konstrukce Klingenberg



obr. 3.5 - Skládaná odvalovací fréza konstrukce Klingenberg

U této konstrukce se upouští od upínání ozubených hřebenů, které jsou vloženy v tvarovém zakotvení základního tělesa frézy, pomocí přírub a kolíků. Zde se používá opěrných lišt 3, které jsou střídavě ustředěny a přišroubovány v šesti pilovitých drážkách základního tělesa 1, jak je patrné z obr. 3.5. Na jedné straně je těleso opatřeno opěrným nákrůžkem 1a.

Vnitřní šestihrany upínacích šroubů 3a a po zatažení se zaplombují. Ozubené hřebeny 2 jsou k válcové ploše základního tělesa přitlačovány upínacími lištami 4 i opěrkami 3. Délkové rozdíly v axiálním směru, v mezích tolerance, jsou vyrovnány pružným nákrůžkem 6 s vytlačným drážkovým profilem. Při výměně hřebene se uvolňuje pouze matice 5 a lišty 4. Hřebeny jsou vyráběny ve zvláštním přípravku.

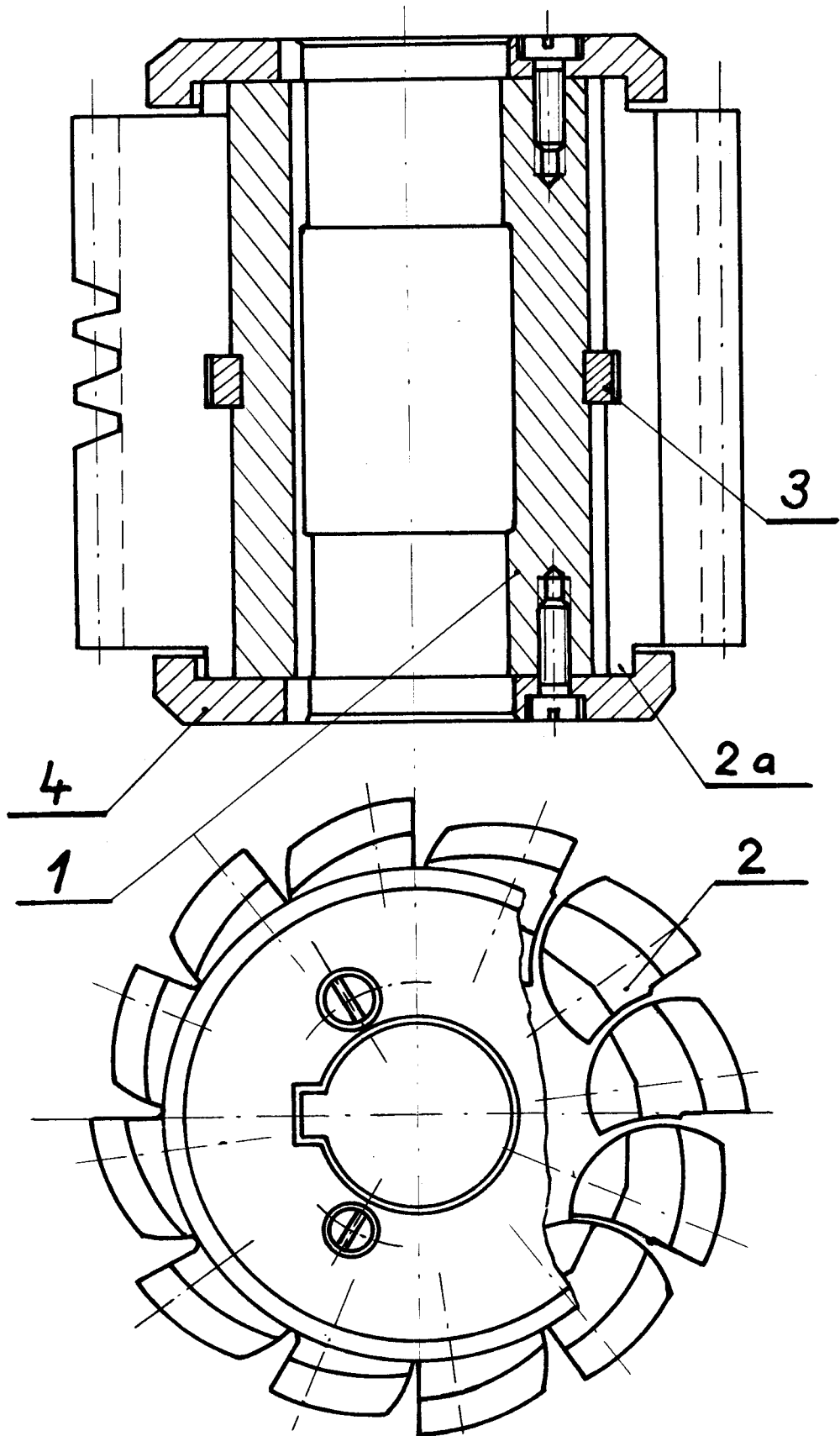
Tato konstrukce má tu výhodu, že je poměrně jednoduchá a umožňuje provádět výměnu ozubených hřebenů přímo u spotřebitele.

#### Konstrukce Fette

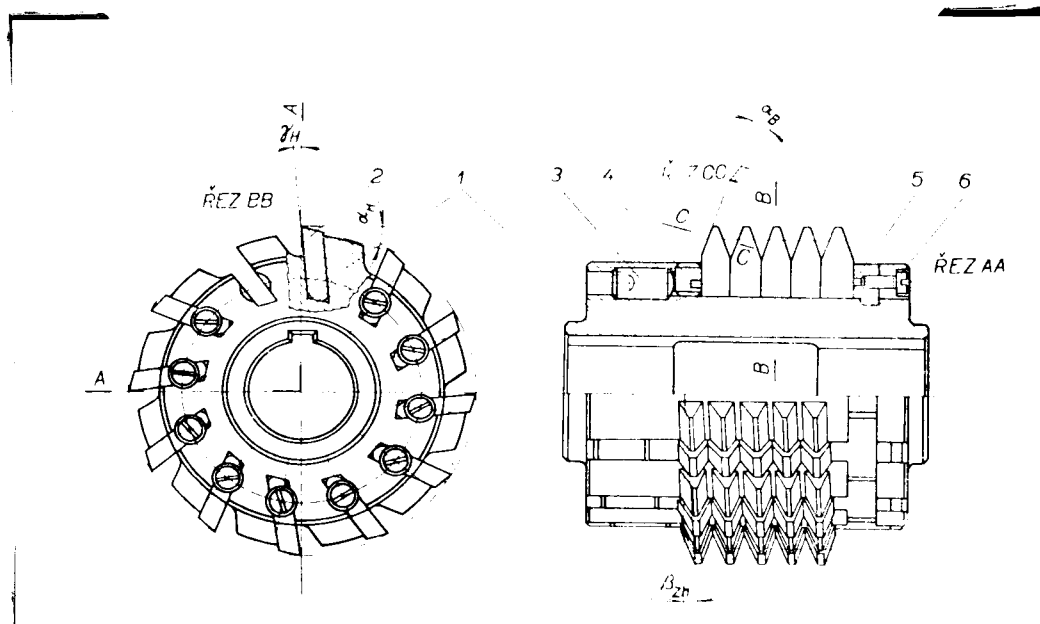
U této konstrukce jsou hřebeny uloženy v kruhových vybráních, kterými je opatřeno základní těleso frézy 1 viz obr. 3.6. V podélném směru jsou hřebeny zajištěny pery 3 a radiálně drženy přírubami 4, podobně jako u konstrukce Samputensili. Tyto jsou dále opatřeny dvěma nákrůžky 2a, které mají dvojitý sklon. Při výrobě a ostření se hřebeny pootočí a zajistí se přírubami. Úhel hřbetu se vytvoří zpětným pootočením do pracovní polohy a zajištěním.

Hlavní jejich výhodou je snazší, rychlejší a přesnější výroba.

obr. 3.6 - Skládaná odvalovací fréza konstrukce Fette



## Konstrukce\_VN\_II



obr. 3.7 - Skládaná odvalovací fréza konstrukce VN II

Na rozdíl od ostatních konstrukcí se tato koncepce liší v tom, že místo ozubených hřebenů se vkládají do přesně lícovaných drážek základního tělesa 1 nože 2, které jsou zhotoveny z výkonných rychlořezných ocelí, případně ze slinutých karbidů viz obr. 3.7. Nože též drážky jsou z levé strany přitlačovány šroubem 3 přes vložku 4 na pravý nákrůžek tělesa. Pro seřízení nožů do šroubovice se vkládají před nákrůžky vložky 5, které jsou přichyceny šroubem 6. Jejich šířky se liší od sousedních o hodnotu rozteče, dělené číslem zubové drážky. Přeostřováním se zmenšuje roztečný průměr, a proto na vyrovnání se používá přesně broušených destiček, které se podkládají pod nože. Může se volit rozdílná geometrie břitu na hlavě a bocích zubu.

### Skládané odvalovací frézy naší konstrukce

U nás bylo započato s výrobou odvalovacích fréz skládané konstrukce v letech 1943 - 1944.

V roce 1953 bylo provedeno normalizování těchto fréz normou ČSN 222590, ale dosud není plně zavedena /8/.

Tyto frézy je nutno posuzovat ze dvou hledisek:

- 1/ odvalovací frézy do modulu  $m = 8$  mm
- 2/ odvalovací frézy od modulu  $m = 8$  mm do modulu  $m = 32$  mm.

Pro malé moduly jsou vhodné různé konstrukce, nad modul  $m = 8$  mm nelze již použít kruhových hřebenů. Zde přicházejí v úvahu pouze nože ploché.

V našem strojírenství se započalo s výrobou skládaných odvalovacích fréz v n.p. ZJŠ Brno, ZVIL Plzeň a v n.p. ZPS Gottwaldov. Tam bylo použito ozubených hřebenů z rychlořezné oceli. Novější konstrukce byla provedena v n.p. SMZ Dubnica n. Váh., kde již bylo použito ozubených hřebenů ze slinutého karbidu. V n.p. SMZ Dubnica n. Váh. se v nynější době vyrábí pět druhů těchto skládaných odvalovacích fréz.

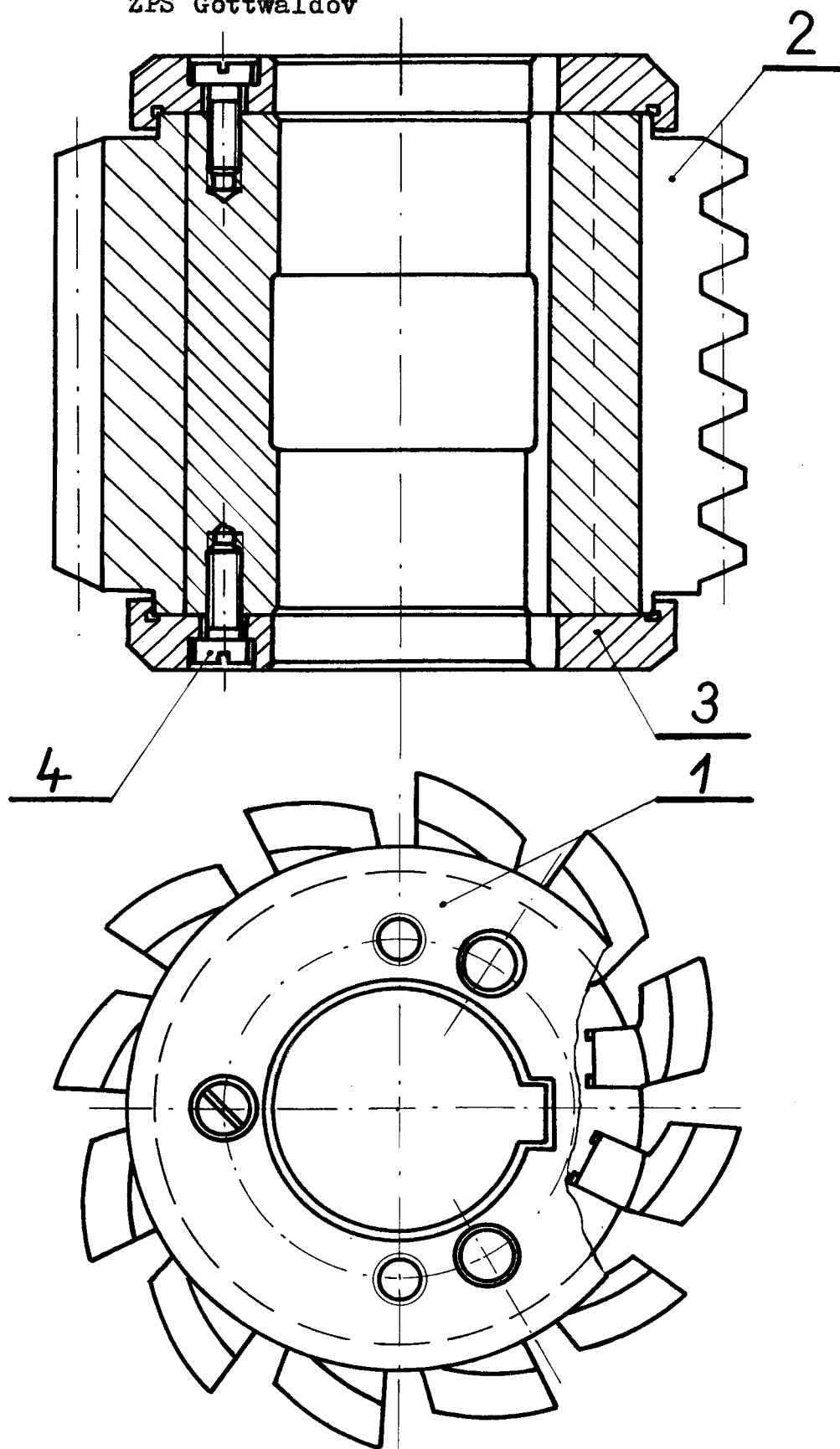
#### Konstrukce ZPS Gottwaldov

Těleso frézy 1 je opatřeno podélnými drážkami, do kterých jsou nasunuty ozubené hřebeny 2 s dvěma nákrůžky viz obr. 3.8. Pata hřebene s drážkou v základním tělese je přesně zalícována. V axiálním směru jsou hřebeny zajištěny dvěma přírubami 3, které jsou přišroubovány k tělesu frézy třemi šrouby s válcovou hlavou 4. V přírubě jsou zhotoveny dva závitové otvory, které slouží pro jejich snazší snímání při demontáži frézy.

Názory na tuto konstrukci nejsou plně sjednoceny, neboť pata ozubeného hřebene není dostatečně tuhá.

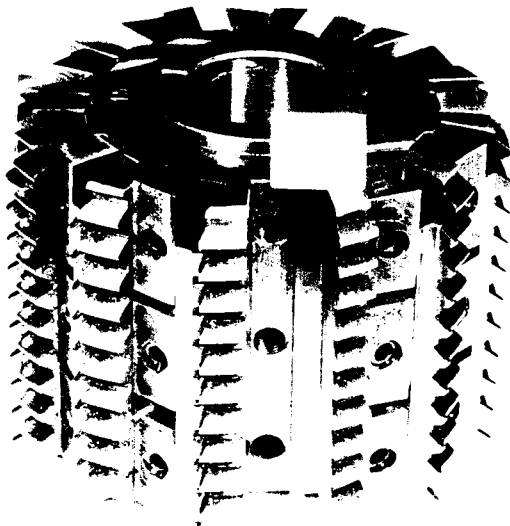


obr. 3.8 - Skládání odvalovací frézy konstrukce  
ZPS Gottwaldov

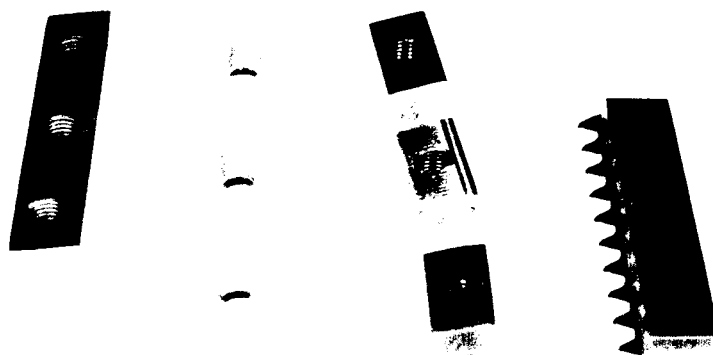


### Konstrukce SMZ Dubnica nad Váhom

Tato skládaná odvalovací fréza s břity ze SK mi byla poskytnuta tímto národním podnikem k funkčnímu ověření a je vlastně předmětem mé diplomové práce, a proto jí budu věnovat větší pozornost.



obr. 3.9 - Těleso frézy



obr. 3.10 - Části upínacího mechanismu frézy

Do tělesa odvalovací frézy 1 viz obr. 3.9, jsou vsazeny nedělené klíny 2, nebo klíny dělené 5, které pomocí šroubů 3 drží ve stabilní poloze ozubené hřebeny 4 viz obr. 3.10. Neúplné konce závitů (závit pravý) jsou odfrézovány. V upínacím klínu je závit M6 x 0,75 levý a v tělese frézy je závit M6 x 0,75 pravý. Ve šroubech M6 x 0,75 je vyroben vnitřní šestihran 3 mm.

Polotovary řezných hřebenů dodává n.p. Pramet Šumperk. Profil ozubených hřebenů je elektrochemicky broušen. Tato skládaná odvalovací fréza je konstrukčně velmi jednoduchá a nenáročná a přináší značný ekonomický efekt. Cena této frézy v přepočítání na její životnost není vyšší, jak cena té samé monolitní odvalovací frézy z RO /11/. Ozubené hřebeny ze SK se dají několikrát přestříhat (podle hloubky opotřebení) a po jejich úplném využití se dají vyměnit za nové, případně se dá použít krokování, čímž se využije celá délka hřebene ze SK.

Všechny segmenty se vyrábějí ve stejných rozměrech s přídavkem na profilu ozubení. Každý ze segmentů může být nahrazen libovolným jiným ze serie segmentů vyráběných pro danou frézu. Dokončují se potom ve smontovaném stavu. Upnutí segmentů je úplně spolehlivé a bezpečné /11/.

Odvalovací fréza s břity ze SK, která mi byla poskytnuta má tyto parametry:

- modul / úhel záběru :  $m2/30^{\circ}$
- počet zubů (hřebenů) : 12
- čelo plátek broušeno v levé šroubovici :  $1^{\circ} 19' 30''$
- stoupání šroubovice : 11 746 mm = 462''
- celý profil broušen vačkou : 4 mm
- materiál tělesa frézy : 15 230.7
- materiál upínacích klínů : 14 260.7
- materiál šroubů : 12 061.6
- materiál ozubených hřebenů : U2 (S3) - 6 x 15 x 60

Pro zvýšení produktivity práce je nutné zvýšit řezné rychlosti na  $0,66 \div 3$  m/s ( $40 \div 180$  m/min.), případně uvažovat řeznou rychlost až 5 m/s (300 m/min.) a posuvy od 0,5 do 1,5 mm/ot. i více /11/. Touto odvalovací frézou se vyrábí jemné evolventní drážkování na hlavách torzních tyčí, jak je to vidět na obr. 4.3.

### 3.2 Srovnání monolitní odvalovací frézy z RO a skládané odvalovací frézy s břity ze SK konstrukce SMZ Dubnica nad Váhom

Pro srovnání monolitní odvalovací frézy z RO a skládané odvalovací frézy s břity ze SK jsme v n.p. SMZ Dubnica n. Váh. provedli provozní zkoušky obou těchto fréz. Obě frézy vyráběly evolventní drážkování na hlavách torzních tyčí dle obr. 4.3 a každá fréza obráběla 8 ks obrobků. Potom bylo sledováno opotřebení na hřbetních plochách frézy VB u dvou zoubků každého z 12 ozubených hřebenů.

Zkoušky byly prováděny na vodorovné odvalovací frézce typu GFLW 250 x 1250 ( $P = 8,5$  kW) a měření opotřebení VB na mikroskopu Zeiss Jena s těmito řeznými podmínkami u obou fréz:

- otáčky  $n = 280$  ot/min., což odpovídá řezné rychlosti  $v = 1,33$  m/s (80 m/min.)
- axiální posuv  $s = 1,69$  mm/ot. obrobku
- hloubka třísky  $t = 2,51$  mm
- způsob frézování - sousledné
- chlazení - řezný olej P3
- počet zubů obrobku  $z_0 = 45$

Naměřené hodnoty opotřebení na hřbetních plochách frézy  $VB_{max.}$  pro monolitní odvalovací frézu z RO a 8 ks obrobků jsou v tab. 1 a naměřené hodnoty  $VB_{max.}$  pro skládanou odvalovací frézu s břity ze SK a 8 ks obrobků jsou v tab. 2.

tab. 1

	Číslo hřebene (RO odvalovací fréza)					
	1	2	3	4	5	6
VB <sub>max.</sub> [mm]	0,291	0,389	0,133	0,495	0,156	0,254
	0,123	0,106	0,224	0,092	0,376	0,537
	7	8	9	10	11	12
VB <sub>max.</sub> [mm]	0,111	0,175	0,151	0,124	0,212	0,135
	0,347	0,283	0,251	0,091	0,167	0,198

tab. 2

	Číslo hřebene (SK odvalovací fréza)					
	1	2	3	4	5	6
VB <sub>max.</sub> [mm]	0,080	0,176	0,137	0,142	0,064	0
	0,268	0,258	0,124	0,022	0,234	0,178
	7	8	9	10	11	12
VB <sub>max.</sub> [mm]	0	0	0,109	0,149	0,174	0,121
	0,144	0,239	0,042	0,047	0,172	0,120

Jak vyplývá z uvedených tabulek pro stejné řezné podmínky a stejný počet obrobků, je opotřebení na hřbetních plochách frézy VB<sub>max.</sub> větší u monolitní odvalovací frézy z RO, což se též projevilo v horší jakosti obráběného evolventního drážkování. Pro zvýšení trvanlivosti a životnosti nástroje, pro zvýšení počtu kusů na jedno naostření odvalovací frézy a zvýšení produktivity práce, se ukazuje mnohem výhodnější použití odvalovací frézy s břity ze SK, která vykazuje i lepší rozměrovou přesnost a jakost obráběného evolventního drážkování.

### 3.3 Závěr a zhodnocení uvedených typů odvalovacích fréz

Z předchozích kapitol vyplývá, že chceme-li zvýšit produktivitu práce je nutné používat odvalovací frézy skládané a spíše s hřebeny ze SK, než s hřebeny z RO. Ze skládaných konstrukcí odvalovacích fréz jsem uvedl jen některé, které představují hlavní čtyři směry v konstrukci těchto fréz. Švýcarská firma Mikron vyrábí monolitní SK odvalovací frézy, nebo např. japonská firma Azumi vyrábí spájené SK odvalovací frézy. Též v SSSR se tímto problémem zabývá Institut vysokotvrdých materiálů v Kijevě. V ČSSR vyrábí SK odvalovací frézy jen podnik SMZ Dubnica n. Váh. /11/.

Skládané odvalovací frézy jsou výrobně složitější i pracnější a tím i nákladnější než odvalovací frézy monolitní. Uvážíme-li větší výkon skládaných fréz a lepší využití hřebenů, docházíme k závěru, že jsou mnohem hospodárnější než frézy celistvé. Tyto frézy mají ještě řadu výhod i nevýhod, což jsem již uvedl v kap. 3.1.2. Pro zvýšení produktivity práce a tím i zvýšení růstu vědecko-technického rozvoje je nesporně výhodnější odvalovací fréza skládaná s břity ze SK nebo syntetického diamantu (skládanou odvalovací frézou s břity ze syntetického diamantu zn. Kompozit se zabývá Institut vysokotvrdých materiálů v Kijevě).

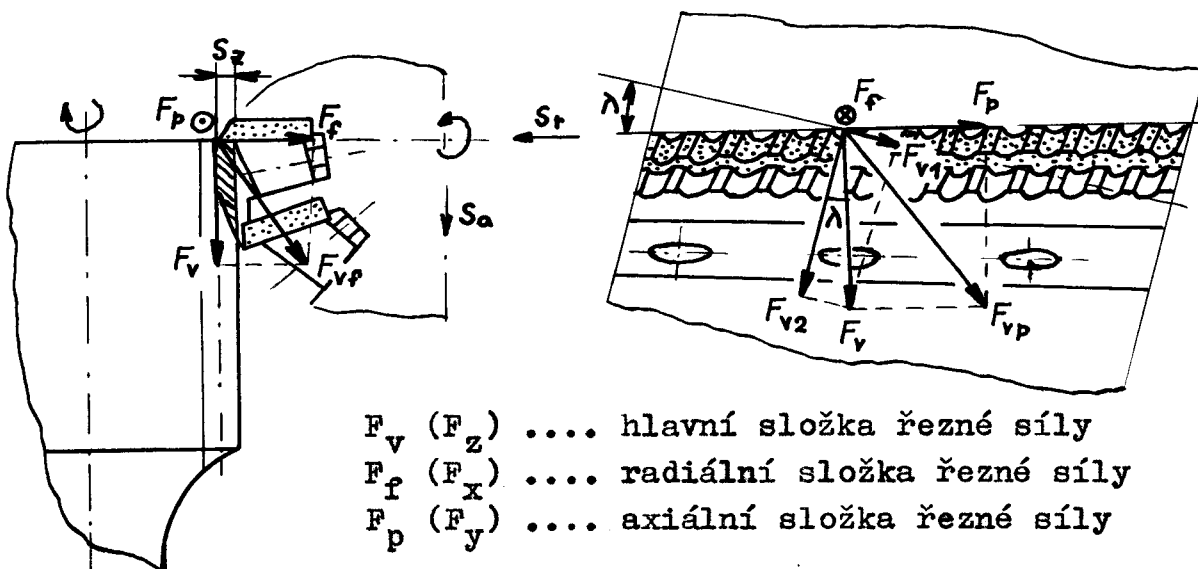
Je proto důležité, aby se skládané odvalovací frézy zaváděly v co největší míře do našich strojírenských závodů a to v co nejkratší době.

#### 4.0 Rozbor silových poměrů na odvalovací fréze konstrukce SMZ Dubnica nad Váhom

V této kapitole jsem se zabýval stanovením předpokládaných řezných sil, pevnostním výpočtem upínacího mechanismu odvalovací frézy a utahovacími momenty upínacích elementů frézy. Je zde provedeno stanovení hlavní složky řezné síly  $F_v$  a její působení na mechanismus upínání ozubených hřebenů.

##### 4.1. Předpokládané řezné síly

Při vzájemném odvalování obrobku a frézy se neustále mění průřez odebírané třísky. Okamžitá poloha oddělování třísky od obrobku se vzhledem k nástroji mění. Při předpokladu, že řezná síla bude působit v těžišti plochy, která představuje průřez třísky, dostáváme okamžitou polohu působíště sil, jak je to vidět z obr. 4.1.



obr. 4.1 - Rozklad sil na odvalovací fréze

Pro výpočet střední hodnoty hlavní řezné síly platí obecný vztah:

$$F_{\text{stř.}} = c_p \cdot s^{x_p} \cdot m^{y_p} \cdot z^{a_p} \cdot v^{b_p} \cdot k_1 \quad [\text{N}]$$

kde  $c_p$  - materiálová konstanta

$x_p, y_p, a_p, b_p$  - exponenty

$m$  - modul [m]

$s$  - posuv [m/zub]

$z$  - počet zubů

$v$  - řezná rychlost [m/s]

$k_1$  - koeficient zahrnující vliv chladicí kapaliny, úhel sklonu zubů kola a úhel čela

Lze říci, že posuv a modul mají největší vliv na velikost řezné síly  $F_{\text{stř.}}$ . Další způsob stanovení střední hodnoty hlavní řezné síly  $F_v = P_H$  je vidět na obr. 4.2.

### ŘEZNÉ SÍLY PŘI ODVALOVACÍM FRÉZOVÁNÍ ČELNÍCH KOL

STŘEDNÍ HODNOTY HLAVNÍ ŘEZNÉ SÍLY  $P_H$

$$P_H = \frac{15 \cdot m_n^{1,4} \cdot s_a^{0,35} \cdot t^{1,4} \cdot e^{0,012 \beta} \cdot C_g}{v^{0,28}} \cdot e^{0,65 \cdot x} \cdot z_2^{-0,35} \cdot C_w \quad [\text{kp}]$$

$m_n$  - normální modul

[mm]

$s_a$  - osový posuv

[mm/ot.]

$t$  - součinitel

$$= \frac{\text{hloubka úběru}}{\text{normální modul}} \cdot 100 \%$$

[%]

$v$  - řezná rychlost

[m/min]

$x$  - korekce profilu

[—]

$z_2$  - počet zubů kola

[—]

$\beta$  - úhel sklonu zubů

[°]

$C_g$  - konstanta počtu chodů zákl. šneku frézy

[—]

$C_w$  - konstanta materiálu obrobku

[—]

obr. 4.2 - Stanovení střední hodnoty hlavní řezné síly

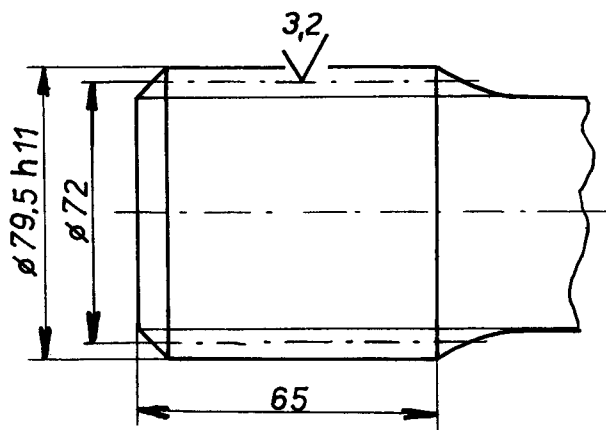
$$F_v = P_H$$



Vztahy mezi střední hodnotou hlavní řezné síly  $F_v$ , radiální a axiální silou  $F_f$  a  $F_p$  nejsou dosud pro odvalovací frézování stanoveny, tak jak je tomu třeba pro řezné síly při válcovém frézování.

Z tohoto důvodu jsem se v této kapitole zabýval stanovením střední hodnoty hlavní řezné síly  $F_v$ , neboť má rozhodující vliv na namáhání frézy při odvalovacím frézování.

Pro skládanou odvalovací frézu s břity ze SK je navrhována řezná rychlost  $v = 0,83 \div 2,5$  m/s ( $50 \div 150$  m/min.) /11/ a maximální posuv  $s = 1,5 \div 2,7$  mm/ot. Pro tuto skládanou odvalovací frézu byla zvolena maximální řezná rychlost  $v = 1,5$  m/s (90 m/min) a posuv 2,7 mm/ot. s hloubkou úběru  $t = 2$  mm. Skládanou odvalovací frézou s břity ze SK je frézováno jemné evolventní drážkování na hlavách torzních tyčí viz obr. 4.3.



$$m = 2 \text{ mm}$$

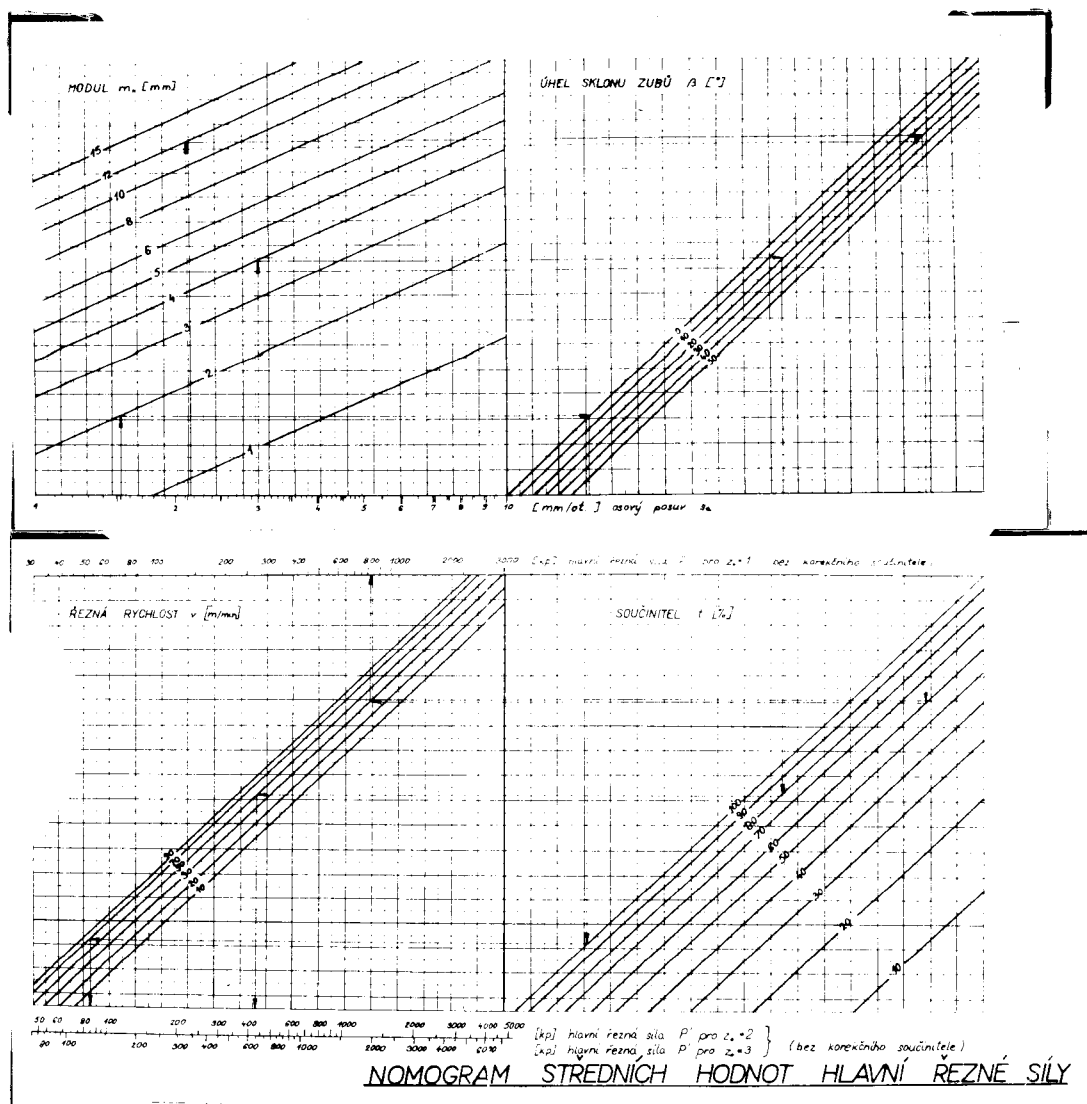
$$z = 36$$

$$\alpha = 30^\circ$$

obr. 4.3 - Hlava torzní tyče

materiál obrobku : 15 241.3 (24 Cr Mo9)  
 pevnost materiálu v tahu :  $\sigma_{Pt} = 700$  MPa  
 tvrdost : max. 197 HB  
 drážky rovné, přímé

Předpokládaná střední hodnota hlavní řezné síly při odvalovacím frézování byla stanovena z nomogramu viz obr. 4.4.



obr. 4.4 - Nomogram středních hodnot hlavní řezné síly

1. Př. :  $m_n = 2 \text{ mm}$ ,  $s_g = 1,5 \text{ mm/ot.}$ ,  $\beta = 0^\circ$ ,  $t = 100 \%$ ,  
 $v = 0,83 \text{ m/s}$  ( $50 \text{ m/min}$ ),  $z_0 = 1$ ,  $x=0$ ,  $z_2$ -nemá  
 vliv,  $e^0 = 1$ , mat.obrobku - 24 Cr Mo9,  $c_w = 1,7$ .

$$F_v = P' \cdot e^0 \cdot c_w = 600 \cdot 1 \cdot 1,7 = \underline{1\ 020\ N} \dots \text{bez korekčního součinitele pro } z_0 = 1$$

$$\text{pro } z_0 = 2 \dots F_v = \underline{950\ N}$$

$$\text{pro } z_0 = 3 \dots F_v = \underline{1\ 450\ N}$$

2. př.:  $m_n = 2\ \text{mm}$ ,  $s_a = 2\ \text{mm/ot.}$ ,  $\beta = 0^\circ$ ,  $t = 100\ \%$ ,  
 $v = 1,16\ \text{m/s}$  (70 m/min.),  $z_0 = 1, 2, 3$ ,  $x = 0$   
 $z_2$  - nemá vliv,  $e^0 = 1$ , mat. obrobku - 24 Cr Mo9,  
 $c_w = 1,7$

$$\text{pro } z_0 = 1 \dots F_v = P' \cdot c_w \cdot e^0 = 700 \cdot 1,7 \cdot 1 = \underline{1\ 190\ N}$$

$$\text{pro } z_0 = 2 \dots F_v = P' \cdot c_w \cdot e^0 = 1\ 150 \cdot 1,7 \cdot 1 = \underline{1\ 955\ N}$$

$$\text{pro } z_0 = 3 \dots F_v = P' \cdot c_w \cdot e^0 = 1\ 700 \cdot 1,7 \cdot 1 = \underline{2\ 890\ N}$$

3. př.: vezmeme v úvahu případ s maximální řeznou rychlostí a posuvem.

$m_n = 2\ \text{mm}$ ,  $s_a = 2,7\ \text{mm/ot.}$ ,  $\beta = 0^\circ$ ,  $t = 100\ \%$ ,  
 $v = 1,5\ \text{m/s}$  (90 m/min.),  $z_0 = 1, 2, 3$ ,  $x = 0$ ,  
 $z_2$  - nemá vliv,  $e^0 = 1$ , mat. obrobku - 24 Cr Mo9,  
 $c_w = 1,7$

$$\text{pro } z_0 = 1 \dots F_v = P' \cdot c_w \cdot e^0 = 850 \cdot 1,7 \cdot 1 = \underline{1\ 445\ N}$$

$$\text{pro } z_0 = 2 \dots F_v = P' \cdot c_w \cdot e^0 = 1\ 400 \cdot 1,7 \cdot 1 = \underline{2\ 380\ N}$$

$$\text{pro } z_0 = 3 \dots F_v = P' \cdot c_w \cdot e^0 = 2\ 000 \cdot 1,7 \cdot 1 = \underline{3\ 400\ N}$$

Pro další výpočet a návržení přípravku byla uvažována maximální střední hodnota hlavní řezné síly

$$F_v = 3\ 400\ \text{N.}$$

#### 4.2 Pevnostní výpočet mechanismu upínání řezného hřebene

střední hodnota hlavní řezné síly ....  $F_v = 3\ 400\ \text{N}$

materiál tělesa frézy - 15 230.7 ....  $\sigma_{pt} = 1000 \div 1150\ \text{MPa}$

materiál šroubů - 12 061.6 ....  $\sigma_{kt} = 450\ \text{MPa}$

materiál upínacích klínů - 14 260.7

Maximální utahovací síla na 1 šroub F

bezpečnost ....  $s = 1,2$

$$\tau_{ak} \geq 0,6 \cdot \frac{\sigma_{kt}}{s} = 0,6 \cdot \frac{450 \cdot 10^6}{1,2} = \underline{225\ \text{MPa}}$$

Šroub je kontrolován v nejmenším průřezu s průměrem

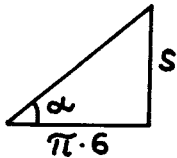
$$d = 0,0045\ \text{m.}$$

### Maximální utahovací moment

$$M_u = W_k \cdot \tau_{sd} = \frac{\pi \cdot d^3}{16} \cdot \tau_{sd} = \frac{\pi \cdot 0,0045^3}{16} \cdot 225 \cdot 10^6 =$$
$$= \underline{4,0257 \text{ Nm}}$$

$$M_u = F \cdot \frac{d}{2} \Rightarrow F = \frac{2 \cdot M_k}{d} = \frac{2 \cdot 4,0257}{0,0045} = \underline{1\,789,235 \text{ N}}$$

### Výpočet osové síly ve šroubu Q



$$F = Q \cdot \operatorname{tg}(\alpha + \varphi) \Rightarrow Q = \frac{F}{\operatorname{tg}(\alpha + \varphi)}$$

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{0,75 \cdot 2}{\pi \cdot 6} = 0,079577 \Rightarrow \alpha = \underline{4,549^\circ}$$

$$\alpha = \underline{4^\circ 35'}$$

f .... součinitel tření v závitech za sucha

$$f = 0,8 \text{ .... /2/}$$

$$f = 0,8 \Rightarrow \operatorname{tg} \varphi = 0,8 \Rightarrow \varphi = \underline{36,659^\circ}$$

f<sub>0</sub> .... součinitel tření v závitech při mazání f<sub>0</sub> = 0,2

$$f_0 = 0,2 \Rightarrow \operatorname{tg} \varphi_0 = 0,2 \Rightarrow \varphi_0 = \underline{11,3^\circ}$$

Síla Q pro f = 0,8

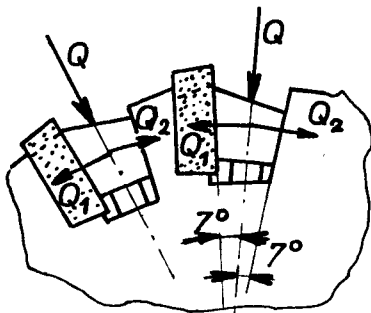
$$Q = \frac{F}{\operatorname{tg}(\alpha + \varphi)} = \frac{1\,789,235}{\operatorname{tg}(4,549 + 36,659)} = \underline{1\,904,809 \text{ N}}$$

Síla Q pro f<sub>0</sub> = 0,2

$$Q = \frac{F}{\operatorname{tg}(\alpha + \varphi_0)} = \frac{1\,789,235}{\operatorname{tg}(4,549 + 11,3)} = \underline{6\,302,453 \text{ N}}$$

Síly Q<sub>1</sub> a Q<sub>2</sub> vyvozené osovou silou Q (viz obr. 4.5)

Pro další výpočet uvažuji sílu Q při spojení šroubu, klínu a tělesa na sucho.



obr. 4.5

$$Q_1 = Q_2 = \frac{Q}{2 \cdot \sin 7^\circ} = \frac{1904,809}{2 \cdot \sin 7^\circ} = \underline{7814,985 \text{ N}}$$

Pro 3 šrouby v klínu:

$$Q_1^3 = Q_2^3 = 3 Q_1 = 3 Q_2 = \underline{23\,444,957 \text{ N}}$$

### Kontrola šroubu

$$\sigma_a = \frac{Q}{S} = \frac{1904,809 \cdot 4}{\pi \cdot 0,0045^2} = \underline{119,767 \text{ MPa}}$$

$$\tau_a = \frac{16 \cdot M_u}{\pi \cdot d^3} = \frac{16 \cdot 4,0257}{\pi \cdot 0,0045^3} = \underline{224,999 \text{ MPa}}$$

### Napětí redukované

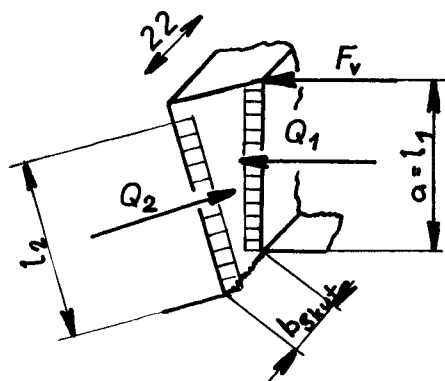
$$\sigma = \sqrt{\sigma_a^2 + 3 \cdot \tau_a^2} = \underline{407,699 \text{ MPa}}$$

### Bezpečnost k mezi kluzu

$$b = \frac{\sigma_{kt}}{\sigma} = \frac{450 \cdot 10^6}{407,699 \cdot 10^6} = \underline{1,1037}$$

### Výpočet pevnosti nejslabšího průřezu b (viz obr. 4.6)

Uvažuji kontrolu opěrné lišty v místě působení střední hodnoty hlavní řezné síly  $F_v = 3\,400 \text{ N}$ .



$$b_{\text{skut.}} = 3,5 \text{ mm}$$

$$M_{\text{max.}} = \frac{Q \cdot l}{2}$$

$$a = l_1 = 12,5 \text{ mm}$$

$$l_2 = 8 \text{ mm}$$

$$h = 22 \text{ mm}$$

obr. 4.6

materiál tělesa - 15 230.7 ....  $\sigma_{0\text{max.}} = 588,6 \text{ MPa}$

$$F_v \cdot a + M_{\text{max.1}} - M_{\text{max.2}} = W_{0\text{max.}} \cdot \sigma_{0\text{max.}}$$

$$W_{o \max.} = \frac{F_v \cdot a + \frac{Q_1 \cdot l_1}{2} - \frac{Q_2 \cdot l_2}{2}}{\sigma_{\max.}} =$$

$$= \frac{3\,400 \cdot 0,0125 + \frac{7814,985 \cdot 0,0125}{2} - \frac{7814,985 \cdot 0,08}{2}}{588,6 \cdot 10^6} =$$

$$= \underline{1,02079 \cdot 10^{-7} \text{ m}^3}$$

$$W_{o \max.} = \frac{b^2 \cdot h}{6} \Rightarrow b = \sqrt{\frac{6 \cdot W_{o \max.}}{h}} = \frac{6 \cdot 1,02079 \cdot 10^{-7}}{0,022} =$$

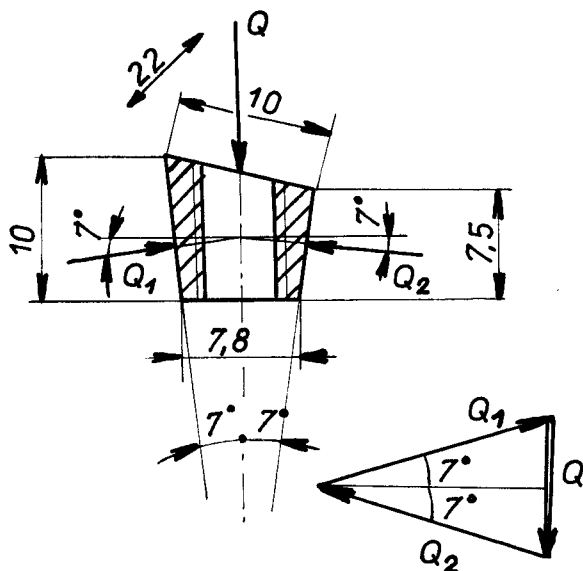
$$= 5,276 \cdot 10^{-3} \text{ m} = \underline{5,276 \text{ mm}}$$

poměr  $\frac{b}{b_{\text{skut.}}} = \underline{1,507}$

Pevnostně sledovaný průřez nevyhovuje, ale tento nedostatek je odstraněn tím, že se zatížení přenáší na další průřez, takže výsledný silový účinek je nulový.

#### Kontrola klínu (viz obr. 4.7)

Zde je proveden výpočet tlaku na stěnu klínu pro 1/3 upínacího klínu v místě působení střední hodnoty hlavní řezné síly  $F_v$ .



obr. 4.7

$$Q_1 = Q_2 = 7\,814,985 \text{ N}$$

Výsledné tlaky na stěny klínu:

$$p_1 = \frac{Q_1 \cdot \cos 7^\circ}{0,022 \cdot 0,0075} = \frac{7814,985 \cdot \cos 7^\circ}{0,022 \cdot 0,0075} =$$

$$= \underline{47,0104 \text{ MPa}}$$

$$p_2 = \frac{Q_2 \cdot \cos 7^\circ}{0,022 \cdot 0,01} = \underline{35,2578 \text{ MPa}}$$

Pro daný materiál klínu 14 260.7 tyto vypočtené tlaky vyhovují.

### Výpočet třecí síly na stěnách klínu

Uvažuji suché tření za pohybu  $f = 0,15$ .

$$Q_1 = Q_2 = 7\,814,985 \text{ N}$$

$$T = 3 \cdot Q_1 \cdot f + 3 \cdot Q_2 \cdot f = 3 \cdot 7\,814,985 \cdot 0,15 + \\ + 3 \cdot 7\,814,985 \cdot 0,15 = \underline{7\,033,486 \text{ N}}$$

Z uvedeného výpočtu je možno říci, že mechanismus upínání ozubených hřebenů pomocí upínacích klínů je naprosto spolehlivý a pro danou odvalovací frézu plně vyhovuje.

### 4.3 Utahovací momenty upínacích elementů odvalovací frézy SMZ Dubnica nad Váhom

Odvalovací fréza s břity ze SK má upevněny ozubené hřebeny pomocí upínacích elementů - klínů, které jsou do tělesa frézy zašroubovány pomocí třech šroubů M6x0,75. Aby upínací mechanismus ozubených hřebenů ze SK byl dostatečně spolehlivý, je třeba znát velikost utahovacích momentů, neboť při obrábění by mohlo dojít k vysouvání ozubených hřebenů z tělesa frézy, protože hřebeny nejsou axiálně zajištěny.

V kap. 4.2 byl vypočítán maximální utahovací moment pro jeden šroub 4 Nm. Velký vliv na upnutí ozubených hřebenů má rozhodně to, jak se utáhnou všechny tři šrouby v jednom klínu a všech 36 šroubů v celém tělese odvalovací frézy. Protože v n.p. SMZ Dubnica n. Váh. se šrouby utahují ručně a postupně za sebou v každém klínu, není prakticky možné, aby byl šroub pomocí "imbusového" klíče dotažen na utahovací moment  $M_u = 4 \text{ Nm}$ . Jak bylo zjištěno, tak ručním dotažením se dosáhne utahovacího momentu  $M_u = 2 \text{ Nm}$ , maximálně  $M_u = 3 \text{ Nm}$ . Není také zaručeno, že pro nedělené klíny se dosáhne stejného utahovacího momentu pro všech 36 šroubů.

Kdyby se např. jeden klín utáhl utahovacím momentem  $M_u = 2\text{Nm}$  a druhý klín momentem  $M_u = 3\text{ Nm}$ , mohlo by pak dojít při obrábění k nepatrnému vysunutí hřebene z tělesa frézy, což by ovlivnilo přesnost rozměrů a jakost povrchu vyráběného jemného evolventního drážkování.

Proto je velmi důležité, aby všechny šrouby byly utaženy stejným utahovacím momentem, což lze jedině zaručit rozdělením upínacích klínů na tři části a též použitím momentového klíče pro utahování všech šroubů, tak jak je to popsáno v kap. 6.0. Protože se před vlastním použitím utahují všechny šrouby jednou, lze doporučit utahovat tyto šrouby pomocí momentového klíče při smontování frézy a v provozu za určitou dobu překontrolovat utažení šroubů a tím i spolehlivost upínání ozubených hřebenů.

Tímto postupem se dosáhne stejnoměrného utažení všech 36 šroubů. Problém utahování těchto šroubů je složitý a proto jsem se také částečně pokusil o vysvětlení této problematiky, což je uvedeno v kap. 6.0.



## 5.0 Návrh metodiky statického a dynamického zkoušení odvalovací frézy s břity ze SK s konstrukčním zpracováním potřebného zařízení

Při obrábění odvalovacím způsobem je skládaná odvalovací fréza s břity ze SK namáhána nejvíce hlavní složkou řezné síly  $F_v$  (staré značení  $F_z$ ), dále silou axiální  $F_p$  ( $F_y$ ) a silou radiální  $F_f$  ( $F_x$ ), jak to ukazuje obr. 4.1. Uvažujeme-li maximální teoretickou řeznou rychlost  $v=2,5$  m/s (150 m/min.), pak jeden hřeben se otáčí frekvencí  $f=8,85$  Hz při průměru frézy  $D = 90$  mm. Odvalovací fréza s břity ze SK má 12 hřebenů, takže vlastní frekvence odvalovací frézy je  $12 \cdot 8,85 = 106,2$  Hz.

Statické a dynamické zkoušení odvalovací frézy s břity ze SK lze realizovat při chodu frézky jen velmi těžko. Proto musí být odvalovací fréza v klidu a řezný proces se musí simulovat zatěžováním vnější statickou a dynamickou silou  $F_v = 3\,400$  N, která byla vypočtena v kap. 4.1. Protože tuhost soustavy S - N - O je při odvalovacím frézování poměrně vysoká, je třeba zkonstruovat zařízení, které by mělo maximální možnou tuhost. Toto zařízení bylo zkonstruováno a je uvedeno v příloze č. 1 a popsáno v kap. 5.1.

Mým úkolem bylo, navrhnout funkční ověření skládané odvalovací frézy s břity ze SK. Odvalovací fréza s břity ze SK je při obrábění namáhána rázy a tudíž je třeba ověřit, zda toto neovlivňuje rozměry a jakost vyráběného drážkovaného hřídele. Též je třeba zjistit, zda při obrábění nedojde k posuvu hřebínku ze SK, nebo nedojde-li ke vzniku trhlin, nebo prasklin v nejmenším průřezu odvalovací frézy  $b_{skut}$ . dle obr. 4.6.

Sílu  $F_v = 3\,400$  N lze vybudit mechanickým, elektromagnetickým, elektrodynamickým, nebo elektrohydraulickým vibrátorem a to jak staticky, tak i dynamicky. Mechanický vibrátor pro vyvození statické síly  $F_v$  by byl výrobně jednoduchý, avšak vibrátor pro vyvození dynamické síly  $F_v$  by byl složitý a těžko proveditelný.

Proto jsem se při návrhu metodiky statického a dynamického zkoušení rozhodl pro elektrohydraulický vibrátor, který je již vyroben a instalován na KOS VŠST Liberec a dovoluje pracovat ve frekvenčním pásmu 0-100 ( $\pm$ 500) Hz.

### 5.1 Návrh zařízení pro funkční ověření odvalovací frézy s břity ze SK

Zařízení pro funkční ověření odvalovací frézy s břity ze SK se skládá z co nejtuzšího přípravku pro upnutí odvalovací frézy a elektrohydraulického vibrátoru, schopného vybudit jak statickou, tak i dynamickou sílu. Zařízení bylo zkonstruováno tak, aby se kmity z elektrohydraulického vibrátoru nepřenášely na vlastní přípravek pro upnutí odvalovací frézy, to zn., že elektrohydraulický vibrátor se musí upevnit tak, aby byl součástí celého zařízení a nerozkmitával přípravek pro upnutí odvalovací frézy. Celé zařízení je možno upnout pomocí šroubů na stůl s drážkami tvaru T. Zařízení bylo zkonstruováno tak, aby se na něm daly ověřovat skládané odvalovací frézy s břity ze SK různých průměrů a délek.

#### 5.1.1 Návrh a popis přípravku pro upnutí odvalovací frézy s břity ze SK

Při návrhu přípravku pro upnutí odvalovací frézy s břity ze SK jsem vycházel z toho, aby upnutí frézy bylo co nejtuzší a aby nedocházelo k nakrucování upínacího trnu a tím i k pootáčení odvalovací frézy, při zatěžování silou  $F_v$ .

Přípravek se skládá ze svařence pos. 1, který je svařen ze základové desky pos. 1.1, pravého čela pos. 1.2 a dvou vzpěr pos. 1.3, jak je to vidět z výkresu sestavy uvedené v příloze č. 1. Svařenec je po svaření žíhán na odstranění vnitřního pnutí při teplotě 520-580° C. Levé čelo pos. 2 přípravku je připevněno k základové desce pos. 1.1 pomocí dvou šroubů pos. 1.3, tak, aby se jím dalo posouvat ve směru osy přípravku.

Mezi pravým čelem pos. 1.2 a levým čelem pos. 2 je nasažen upínací trn pos. 4, na který je nasunut kotouč pos.3, dva upínací kroužky pos. 8 a odvalovací fréza pos. 11. Do stabilní polohy je odvalovací fréza přitahována pomocí dvou matic pos. 19.

Zatěžování třech zubů hřebene (předpokládám 3 zuby v záběru) je provedeno pomocí elektrohydraulického vibrátoru pos. 10 přes páku pos. 5. Páka je upevněna otočně pomocí čepu pos. 7 a vidlice pos. 6. Vzdálenost mezi osou vibrátoru a místem zatěžování hřebene je 20 mm. Protože odvalovací fréza má 12 hřebenů, je v kotouči pos. 3 vyvrtáno a vystruženo 12 otvorů, aby se odvalovací fréza po uvolnění matic pos. 19 a vysunutí jistícího šroubu pos.12 dala pootočit na další hřeben.

Kroutící moment vznikající od zatěžovací síly  $F_v$  je přenášen pery pos. 21 a 22 na kotouč a ten je jištěn proti pootočení lícovaným šroubem pos. 12. Aby bylo zajištěno jen zatěžování nejslabšího místa odvalovací frézy, jsou na upínacím trnu nasazeny upínací kroužky pos. 8, které přenášejí třecí silou vyvozenou přitažením matic pos. 19 část kroutícího momentu na kotouč pos. 3. V základové desce je pro levé čelo přípravku vyfrézováno vedení, aby nedocházelo k prohýbání upínacího trnu a tím i posuvu levého čela ve směru působící síly  $F_v$ . Odvalovací fréza je zatěžována silou  $F_v$  na jejím roztečném průměru.

Celý přípravek je poměrně jednoduchý a nenáročný na výrobu, což jsem též bral v úvahu při jeho navrhování. Přípravek byl též konstruován tak, aby se při výměně upínacích kroužků a páky daly funkčně ověřovat i odvalovací frézy větších průměrů a délek. Přípravek má pravděpodobně nějaké konstrukční nedostatky, které by se daly odstranit až po jeho výrobě a vyzkoušení při provozu.

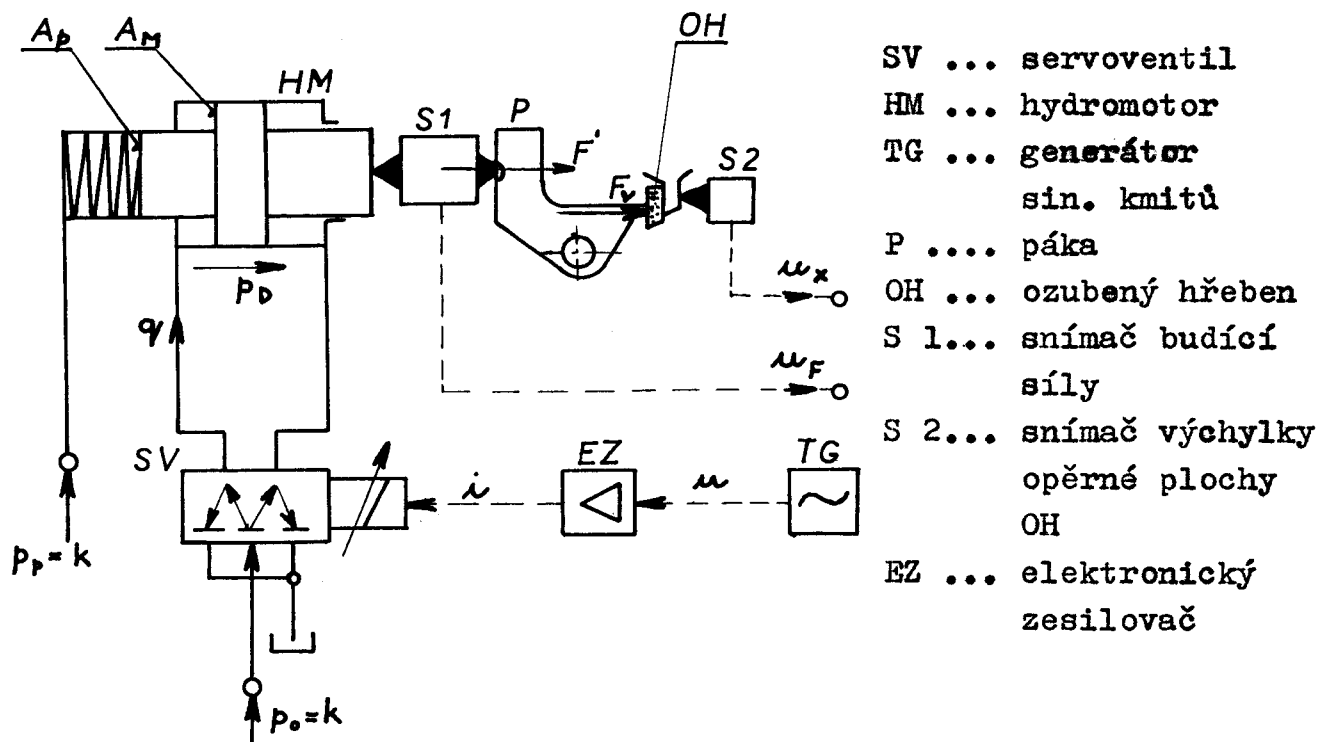
#### 5.1.2 Popis použitého elektrohydraulického vibrátoru

Použitý elektrohydraulický vibrátor je konstruován na principu dvojčinného přímočarého motoru.

Kapalina vstupující do obou poloprostorů motoru je symetricky řízena elektrohydraulickým servoventilem. Na řídicí cívky elektromechanického převodníku servoventilu je přiváděn střídavý proud z tónového generátoru (přes zesilovač). Tak je vyvozen střídavý tlakový spád na pístu hydromotoru a tím i střídavá složka síly. Tento typ vibrátoru má vůbec nejvýhodnější poměr síly k váze. Vibrátor může pracovat ve frekvenčním pásmu  $0 \div 100 (\div 500)$  Hz a může nám zajistit tyto požadavky:

- průběh budicí síly harmonický
- amplituda budicí síly do 3 500 N, v závislosti na frekvenci alespoň přibližně konstantní
- frekvenční rozsah, ve kterém je vibrátor schopen vyvodit požadovanou sílu  $\approx 200$  Hz
- váha vibrátoru, manipulovatelnost.

Elektrohydraulický vibrátor má oproti jiným druhům vibrátorů výhodu v tom, že rozšiřuje pásmo použitelných frekvencí o nízké frekvence, které potřebují pro uvedené funkční ověření odvalovací frézy s břity ze SK. Schema elektrohydraulického vibrátoru je na obr. 5.1 spolu s označením jednotlivých použitých prvků.



obr. 5.1 - Schema elektrohydraulického vibrátoru

Elektrohydraulický vibrátor se skládá z dvojčinného přímočarého hydromotoru (HM), který je symetricky řízen servoventilem (SV) a snímačem (S 1) síly  $F_v$ . Síla vyvozená vibrátorem se skládá ze dvou složek, statické  $F_p$  vyvozené tlakem  $p_p$  na plochu  $A_p$  a dynamické  $F_D$ , která je dána změnou tlakového spádu  $p_D$  na motoru a plochou  $A_M$ , tedy

$$F_v = F_p + F_D$$

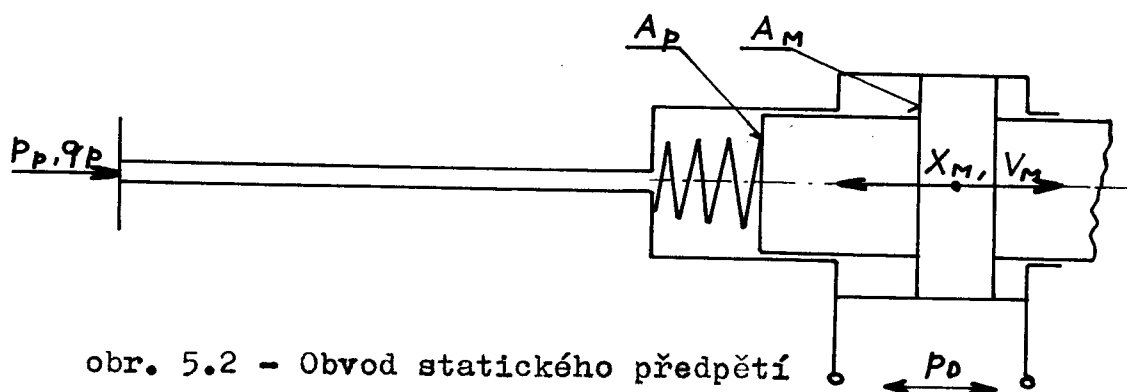
jak je uvedeno v literatuře /4/.

Tlakový spád  $p_D$  na motoru je řízen servoventilem (SV) v závislosti na vstupním proudu  $i$ , který je přiváděn na elektromechanický převodník servoventilu z elektronického zesilovače (EZ), resp. generátoru sinusové funkce (TG). Generátor sinusové funkce by měl umožňovat změnu frekvence řádově od 1 do 100 Hz.

Síla  $F_v$  je vlastně vstupní veličinou do vyšetřované soustavy a je třeba znát její velikost a průběh. Proto je mezi vibrátor a páku vložen snímač (S 1), jehož výstupní signál  $u_p$  je úměrný působící síle  $F_v$ . Snímač (S 1) může být konstruován zvlášť, nebo jako součást vibrátoru. Výstupní veličinou z měřené soustavy je výchylka  $x$ , resp.  $u_x$  ve vyšetřovaném místě, kterou je třeba sledovat snímačem polohy (S 2). Snímač (S 2) dle způsobu uchycení může snímat výchylku absolutně nebo relativně.

Vhodným zpracováním (záznamem) vstupní veličiny  $F_v$  resp.  $u_p$  a veličiny výstupní  $x$ , resp.  $u_x$  můžeme získat amplitudo - fázovou frekvenční charakteristiku nebo rezonanční křivku dávající obraz o dynamických vlastnostech vyšetřovaného systému.

K elektrohydraulickému vibrátoru je možno paralelně připojit obvod statického předpětí, jak to ukazuje obr.5.2.



obr. 5.2 - Obvod statického předpětí

Tato koncepce umožňuje volit nezávisle poměr sil  $F_D/F_p$  a dává předpoklad lepšího průběhu výstupní dynamické složky síly  $F_D$  vzhledem k symetrickému uspořádání hlavního výkonového obvodu, než by tomu bylo v případě seriového uspořádání. Do obvodu statického předpětí je vložena pružina pro zajištění určité polohy pístu hydromotoru, nutné při seřizování vibrátoru (možnost nastavení přibližně střední polohy pístu). Tato pružina vzhledem ke své lineární charakteristice a velmi malé tuhosti neovlivní průběh a prakticky ani velikost síly  $F_D$ .

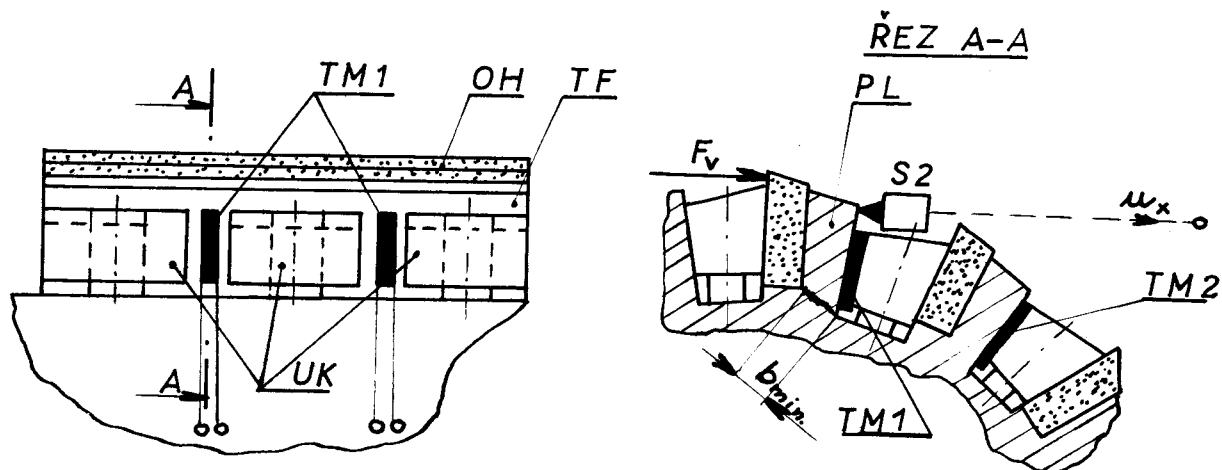
Pro funkční ověření odvalovací frézy s břity ze SK se uvedený elektrohydraulický vibrátor plně hodí a je nejspolehlivějším zařízením pro vyvození jak statické, tak i dynamické síly potřebné k měření.

## 5.2 Návrh metodiky statického zkoušení odvalovací frézy s břity ze SK

Odvalovací frézu s břity ze SK upnu do přípravku, připevním k němu elektrohydraulický vibrátor, tak jak to ukazuje sestava zařízení pro funkční ověření odvalovací frézy s břity ze SK uvedená v příloze č. 1. Odvalovací frézu nejdříve utáhnou utahovacím momentem  $M_u = 2$  Nm, pak  $M_u = 3$  Nm a  $M_u = 4$  Nm. Toto utahování provedu pro dělené klíny a suché spojení tělesa, klínu a šroubů. Elektrohydraulickým vibrátorem pak vybudím statickou sílu  $F_v = 3\ 400$  N zjištěnou v kap. 4.1. Toto budu opakovat pro utahování upínacích elementů frézy utahovacím momentem  $M_u = 2, 3, 4$  Nm za sucha i při promazání elementů upínacího mechanismu odvalovací frézy.

Výchylku  $x$  podpěrné lišty (PL) ozubeného hřebene budu sledovat snímačem polohy S 2 podle obr. 5.3. Tím dostanu funkční závislost mezi zatěžovací silou  $F_v$  a vychylkou  $x$ , čímž dostanu určitý přehled o statické tuhosti odvalovací frézy s břity ze SK konstrukce SMZ Dubnica n. Váh.

Aby bylo zjištěno, jak se působením zatěžovací síly deformuje upínací mechanismus frézy a těleso frézy, tak navrhuji nalepení polovodičových tenzometrů do mezer mezi dělenými klíny, do míst předpokládaného maximálního napětí, tak jak to ukazuje obr. 5.3.



obr. 5.3 - Měření deformace tělesa frézy

TM ... tenzometr	TF ... těleso frézy
OH ... ozubený hřeben	S 2... snímač polohy
UK ... upínací klín	$F_v$ ... zatěžovací síla
PL ... podpěrná lišta	

Tenzometry TM 1 zjistím deformaci bezprostředně zatíženého ozubeného hřebene resp. jeho podpěrné lišty PL. Tenzometry TM 2 budu sledovat, jak se zatížení resp. deformace z předešlého ozubeného hřebene přenášejí na další ozubený hřeben resp. jeho podpěrnou lištu. Vizuelním pozorováním nebo prozkoumáním pod mikroskopem zjistím, zda-li nedošlo v místě minimálního průřezu  $b_{min}$ . ke vzniku trhliny nebo praskliny.

Pro zjištění závislosti  $F_v = f(x)$  budu odvalovací frézu s břity ze SK zatěžovat postupně se zvětšující silou až do maximální hodnoty  $F_v = 3\ 400\ N$ . Popsaný postup měření budu opakovat pro všechny ozubené hřebeny a utahovací momenty  $M_u = 2, 3, 4\ Nm$  při suchém spojení a promazání tělesa frézy, klínu a šroubů.

### 5.3 Návrh metodiky dynamického zkoušení odvalovací frézy s břity ze SK

Odvalovací frézu s břity ze SK upnu opět do přípravku uvedeného v příloze č. 1 a utáhnu ji opět utahovacími momenty  $M_u = 2, 3, 4$  Nm při suchém spojení a při promazání tělesa frézy, klínu a šroubů. Elektrohydraulickým vibrátorem vybudím dynamickou sílu  $F_v = 3\ 400$  N sinusového průběhu o frekvenci, nejdříve asi 8 Hz a pak o frekvenci 106 Hz. Zatěžovací sílu  $F_v$  budu opět postupně zvyšovat až do maximální hodnoty  $F_v = 3\ 400$  N a budu sledovat snímačem S 2 výchylku  $x$ , čímž dostanu funkční závislost  $F_v = f(x)$  z čehož budu moci získat amplitudo - fázovou frekvenční charakteristiku nebo rezonanční křivku, dávající obraz o dynamických vlastnostech odvalovací frézy s břity ze SK.

Též frekvenci budu postupně zvyšovat až do maximální hodnoty 106 Hz. To, aby vibrátor byl při dynamickém namáhání neustále ve styku s pákou resp. ozubeným hřebenem zajistím zapojením obvodu statického předpětí, popsaným v kap. 5.1.2 dle obr. 5.2. Vznikající deformace od zatěžující síly  $F_v$  budu opět sledovat polovodičovými tenzometry, tak jak je popsáno při návrhu metodiky statického zkoušení odvalovací frézy s břity ze SK viz kap. 5.2.

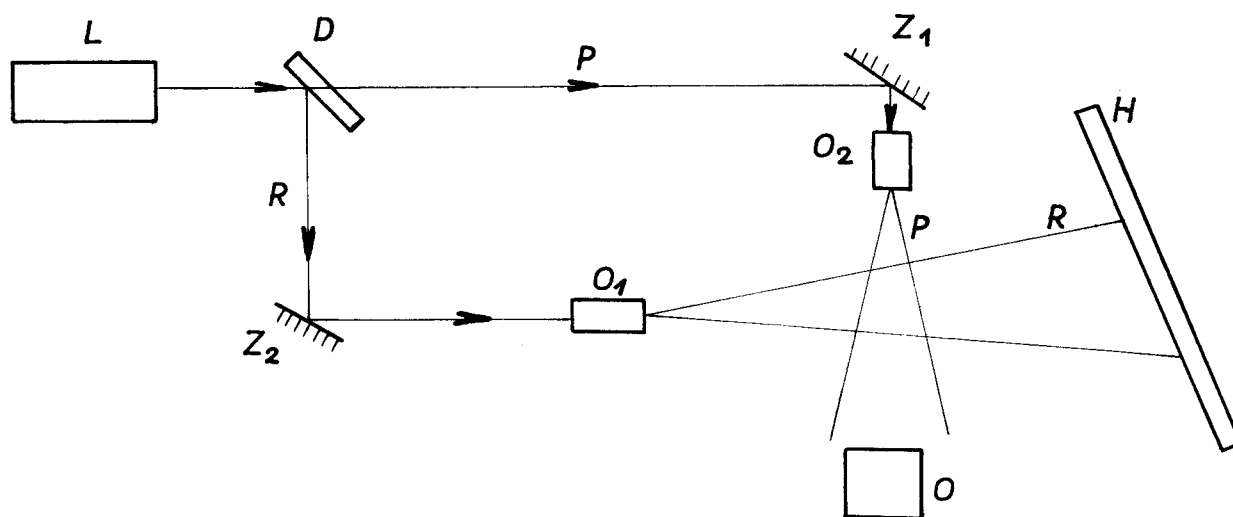
Popsaný způsob zatěžování dynamickou silou zopakují pro utahovací momenty  $M_u = 2, 3, 4$  Nm při suchém spojení a při promazání tělesa frézy, klínu a šroubů pro všech 12 hřebenů ze SK. Při dynamickém namáhání bude větší pravděpodobnost vzniku trhlin nebo prasklin, což budu sledovat v nejslabším průřezu  $b_{min}$  dle obr. 5.3. Tímto způsobem mohu po vyhodnocení provedených měření získat určitý přehled o tom, jak je fréza namáhána resp. jak je namáhán jeden ozubený hřeben otáčející se frekvencí  $f = 8$  Hz což odpovídá řezné rychlosti  $v = 2,5$  m/s (150 m/min.).

Provedení měření pro vlastní frekvenci  $f = 106$  Hz mi ukáže to, jak je namáhána odvalovací fréza při vlastním procesu obrábění, neboť při něm dochází k rozkmitávání celé frézy vlivem postupného a nestejnomyerného záběru všech 12 hřebenů zabírajících postupně za sebou.



#### 5.4. Návrh metodiky statického a dynamického zkoušení odvalovací frézy s břity ze SK pomocí laseru.

Statické a dynamické zkoušení odvalovací frézy s břity ze SK je možno též provést s pomocí laserového paprsku, metodou optické holografie. Optická holografie využívá záznamu světelného pole vzniklého odrazem svazku paprsků od nějakého předmětu s difuzně odrážejícím povrchem, takže při rekonstrukci dostaneme světelné pole totožné s původním. Jak dochází k záznamu hologramu popíši na obr.5.4.



obr. 5.4 - Princip optické holografie

H .....	holografická deska	$O_1, O_2$ ...	objektiv
L .....	laser	O .....	vyšetřovaný objekt
D .....	dělič svazku	R .....	referenční svazek
$Z_1, Z_2$ .....	zrcadlo	P .....	předmětový svazek

Laser (L) slouží jako zdroj monochromatického světla se stabilním kmitočtem a vysokou intenzitou. Tvoří rovnoběžný svazek paprsků. Tento svazek postupuje k děliči (D). Děličem svazku může být např. polopropustné zrcadlo, které dělí svazek na dva svazky - referenční (R) a předmětový (P).

Sledujme dráhu referenčního svazku. Po dopadu na zrcadlo ( $Z_2$ ) se láme k objektivu ( $O_1$ ) a po průchodu dopadá na holografickou desku (H). Předmětový svazek se po průchodu děličem láme na zrcadle ( $Z_1$ ). Objektivem ( $O_2$ ) je rozptylován na objekt (O) v našem případě na odvalovací frézu s břity ze SK. Z jeho povrchu se odráží a dopadá na holografickou desku. Zde v důsledku superpozice paprsků referenčního a předmětového dochází k zachycení interferenčního obrazu. V něm jsou "zakódovány" informace o předmětu (O), který vytvořil v předmětovém svazku různé fázové difference proti paprskům referenčního svazku. Holografický záznam snímáme při rekonstrukci běžnými fotografickými přístroji na filmy s citlivostí 28 DIN. Interference může nastat pouze mezi dvěma koherentními vlnami, které mají časově neproměnný fázový rozdíl, což splňuje laserové světlo /5/. Záznam na fotografické desce se po vyvolání a ustálení nazývá hologram.

Pro statické namáhání odvalovací frézy s břity ze SK je vhodná metoda dvojího hologramu. Nejprve se pořídí hologram předmětu, potom se předmět (odvalovací fréza) podrobí statické deformaci. Po ustálení tvarových změn se do téhož hologramu pořídí druhý holografický záznam. Optická sestava je možná např. podle obr. 5.4. Při rekonstrukci holografického záznamu spolu oba virtuální obrazy interferují. Obraz předmětu se pokryje interferenčními pruhy. Tmavé pruhy vzniknou tam, kde záření od obou obrazů přichází do oka pozorovatele v protifázi.

V místech, kde deformace na sledovaném objektu odpovídá vzdálenosti o liché počet světelných čtvrtvln, se objeví tmavé interferenční proužky. Tímto můžeme studovat nepatrné deformace ve velmi přesných hranicích asi  $0,03\mu\text{m}$ . Holografické metody jsou citlivé na pohyb prvků holografické soustavy, nebo předmětu během expozice při použití metody dvojího hologramu.

Jestliže se během expozice pohybuje některá součást sestavy nebo sledovaný objekt, pak se interferenční obrazec celý pokryje interferenčními proužky, nebo na záznamu zcela vymizí interferenční struktura a záznamový materiál je rovnoměrně zčernalý. Během záznamu hologramu musí tedy předmět a všechny prvky holografické soustavy zůstat ve vzájemně stejné poloze s přesností řádově 0,1 mikronu. To znamená, že použití holografické metody pro statické a dynamické zkoušení odvalovací frézy se břity ze SK kladou velké nároky na tuhost přípravku pro upnutí odvalovací frézy a celého zařízení pro funkční ověření odvalovací frézy s břity ze SK. Při konstrukci tohoto zařízení jsem se proto maximálně snažil o takovou konstrukci, která by splňovala požadavek maximální tuhosti.

Optická holografie je dobře použitelná v oblasti statického zatěžování, avšak pro menší sílu než je zatěžující síla  $F_v = 3\,400\text{ N}$ . U dynamického namáhání je zatím vhodné použít zatěžování periodickou silou. Frekvence zatěžování dynamickou silou sinusového průběhu by měla být minimálně 100 Hz a síla  $F_v$  menší než 3 400 N. Pro zjištění deformačních čar resp. směru hlavních napětí by bylo vhodné zhotovit nejdříve model odvalovací frézy např. těleso z plexiskla, upínací klíny a ozubené hřebeny z celuloidu a použít fotoelasticimetrické metody.

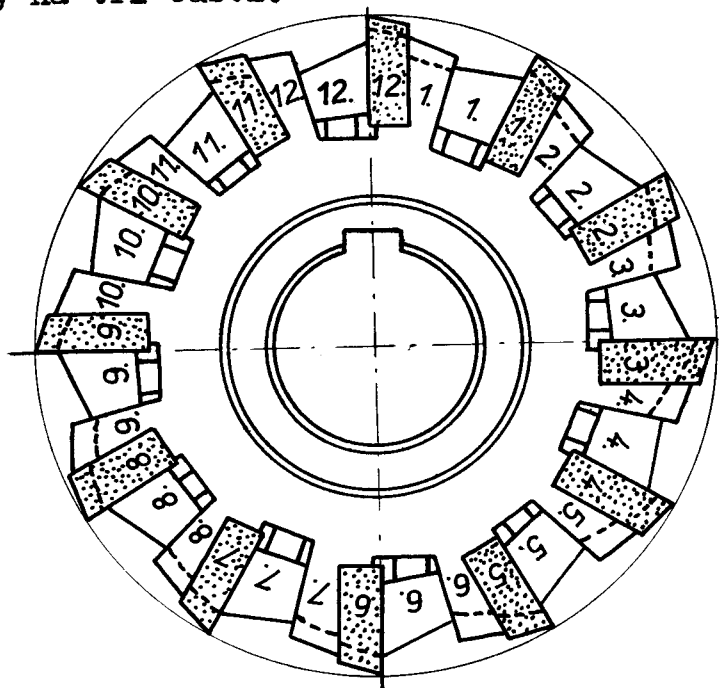
Protože vlnová délka laserového světla je velmi malá /5/, je možno podobně jako u klasické interferometrie měřit nepatrné změny s velkou přesností, která je zlomky vlnové délky použitého světla. V přesnosti se holografická interferometrie neodlišuje od klasické. Setkáváme se zde však s novými možnostmi, t.j. s interferometrií prostorových útvarů dovolující stanovit rozdíly tvarů složitých trojrozměrných těles. To zda-li je možné použít optickou holografii pro statické a dynamické zkoušení odvalovací frézy, by se muselo nejdříve ověřit na modelu frézy a pak ověřit na skutečné odvalovací fréze s břity ze SK, čímž by se ověřilo, je-li optická holografie vhodná pro funkční ověření této odvalovací frézy s břity ze SK.

## 6.0 Provedení praktických zkoušek a jejich zhodnocení

V této kap. jsem se snažil zjistit, jaký vliv má velikost utahovacího momentu na spolehlivost a bezpečnost upnutí ozubeného hřebene ze slinutého karbidu.

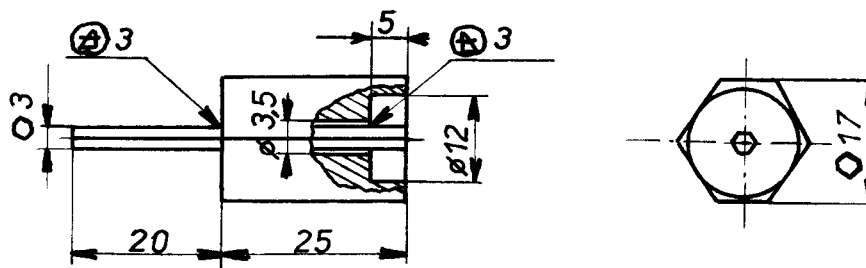
### Metodika utahování

Šrouby v klínech 1, 2, ... 12 očíslované dle obr.6.1, budu utahovat postupně za sebou. Všechny tři šrouby v každém klínu budu utahovat vždy stejným utahovacím momentem a to  $M_u = 2, 3, 4$  Nm. To znamená, že všech 36 šroubů utáhnu utahovacím momentem  $M_u = 2$  Nm, pak  $M_u = 3$  Nm a  $M_u \text{ max.} = 4$  Nm. Toto provedu při suchém spojení a při promazaném spojení šroubů, klínu a tělesa. Nakonec toto provedu u upínacích klínů, které byly rozděleny na tři části.



obr. 6.1 - Očíslování odvalovací frézy s břity ze SK

Utahování šroubů bylo provedeno momentovým klíčem n.p. Tona Pečky, pomocí speciálního nástavce viz obr.6.2, který byl pro tento účel zhotoven z materiálu 15 323.7, neboť u nástavce zhotoveného z "imbusového" klíče n.p. Narex Děčín docházelo k odírání šestihranu nástavce, až nakonec k jeho ukroucení.



obr. 6.2 - Nástavec do momentového klíče

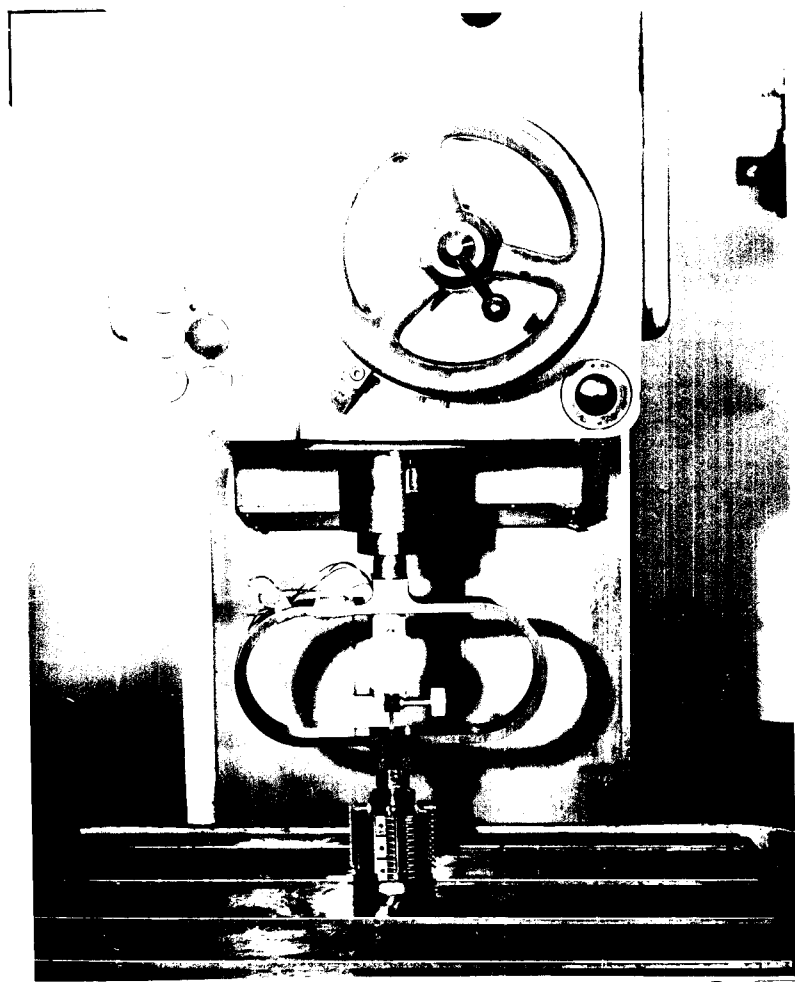
6.1 Velikost axiální síly potřebné k posunutí hřebínku ze SK při suchém spojení tělesa, klínu a šroubu pro nedělené upínací klíny

- 1/ Šrouby v klínech 1, 2, .... 12 byly utaheny postupně utahovacím momentem  $M_u = 2 \text{ Nm}$  při suchém spojení šroubu, klínu a tělesa (fréza byla odmaštěna). Po utahení byla fréza upnuta na stůl stojanové vrtačky a podložena podložkou tak, aby nedocházelo k průhybu upínacího šroubu.

Do vřetene stojanové vrtačky upnu siloměr a přes kouli s obroušenou plochou budu axiálně zatěžovat ozubený hřeben viz obr. 6.3 tak dlouho, dokud nedojde k posunutí ozubeného hřebene. V okamžiku, kdy se ozubený hřeben posunul, byla zaznamenána velikost axiální síly.

Toto bylo opakováno u každého klínu třikrát a byla zaznamenána velikost axiální síly  $F_1$ ,  $F_2$ ,  $F_3$ . Šroub s označením 1 je umístěn v klínu nejbližší k vyznačenému číslu na čele klínu.

Použitý siloměr je oceňován tak, že výchylce jednoho dílku číselníkového úchylkoměru odpovídá síla 32,94 N. Naměřené hodnoty axiální síly jsou v tab.3. U šroubů v klínech 5, 7 a 9 došlo při utahování k stržení hran v šestihranu šroubu, takže došlo k protáčení a šrouby nemohly být dotaženy na stanovený utahovací moment, takže i velikost potřebné síly k posunutí ozubeného hřebene byla u těchto klínů menší, než u ostatních. Velikost síly  $F_1$ ,  $F_2$ ,  $F_3$  ve všech klínech má dost velký rozptyl, což bude zdůvodněno v kap. 6.4.



obr. 6.3 - Měření axiální síly siloměrem

2/ Šrouby v klínech 1, 2, .... 12 byly utahovány postupně utahovacím momentem  $M_u = 3 \text{ Nm}$  při suchém spojení šroubu, klínu a tělesa (fréza byla odmaštěna).

Postup vytlačování ozubeného hřebene byl zopakován, jako v předchozím případě. Naměřené hodnoty axiální síly potřebné k vysunutí ozubeného hřebene jsou v tab. 4.

U šroubů v klínech 5, 7, 9 došlo při dalším utahování k úplnému stržení hran v šestihranu šroubu, takže došlo k protáčení a šrouby nemohly být dotaženy na stanovený utahovací moment, takže musely být pro další měření vyměněny. Velikost síly  $F_1$ ,  $F_2$ ,  $F_3$  ve všech klínech má dosti velké rozdíly, avšak již ne tak velké, jako v předchozím případě.

3/ Šrouby v klínech 1, 2, .... 12 byly utaženy postupně utahovacím momentem  $M_u = 4 \text{ Nm}$ , který byl pro daný šroub stanoven výpočtem. Uvedený postup v předchozích případech byl zopakován a naměřené hodnoty axiální síly byly zaznamenány do tab. 5.

U šroubů v klínech 5, 7, 9 došlo opět k naměření menší hodnoty axiální síly, což bude zdůvodněno v kap.6.4. Síly  $F_1, F_2, F_3$  ve všech klínech mají opět různé velikosti, a proto byla pro každý klín stanovena průměrná hodnota axiální síly  $F$ .

Průměrná síla  $F$  v závislosti na utahovacích momentech  $M_u = 2, 3, 4 \text{ Nm}$  se zvětšuje u jednotlivých klínů resp. hřebenů se zvětšujícím se utahovacím momentem, což je vidět z grafu 1. uvedeného na str. 58.

tab. 3.

Číslo klínu Číslo šroubu		utahovací moment $M_u = 2 \text{ Nm}$ (1 dílek $\approx 32,94 \text{ N}$ )											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
3	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
F1	[N]	3294	2635,2	1910,5	1581,1	1581,1	2734,1	757,6	2305,8	164,7	3623,4	2141,1	1482,3
	dílky	100	80	58	48	48	83	23	70	5	110	65	45
F2	[N]	2964,6	4446,9	2305,8	4282,2	1647,-	2141,1	329,4	2997,5	658,8	4216,3	3623,4	3129,3
	dílky	90	135	70	130	50	65	10	91	20	128	110	95
F3	[N]	3623,4	3952,8	4611,6	4117,5	1811,7	4117,-	1482,3	3294,-	658,8	3458,7	3129,3	3129,2
	dílky	110	120	140	125	55	125	45	100	20	105	95	95
Průměrná síla F	3294	3678,2	2942,6	3326,9	1679,9	2997,5	856,4	2865,8	494,1	3766,1	2964,6	2580,3	
Poznámka					vadné šrouby			vadný šroub		vadné šrouby			



tab. 4

Číslo klínu		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Číslo šroubu		utahovací moment $M_1 = 3 \text{ Nm}$ (1 dílek $\approx 32,94 \text{ N}$ )											
F1	1	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
F2	[N]	2964,6	3491,6	3623,4	3623,4	3129,3	3952,8	1317,6	3129,3	3788,1	3952,8	4117,5	3623,4
	dílky	90	106	110	110	95	120	40	95	115	120	125	110
	[N]	3294	4941	4941	5105,7	3359,8	3788,1	1152,9	3228,1	3788,1	4117,5	4117,5	3788,1
F3	dílky	100	150	150	155	102	115	35	98	115	125	125	115
	[N]	3458,7	5270,4	5270,4	5599,8	3886,9	3952,8	1119,9	3294,-	4545,7	4282,2	4117,5	3952,8
	dílky	105	160	160	170	118	120	34	100	138	130	125	120
Průměrná síla F		3239	4567,6	4611,6	4776,3	3458,6	3897,9	1196,8	3217,1	4040,6	4117,5	4117,5	3788,7
Poznámka						vadné šrouby		vadné šrouby		vadné šrouby			

tab. 5

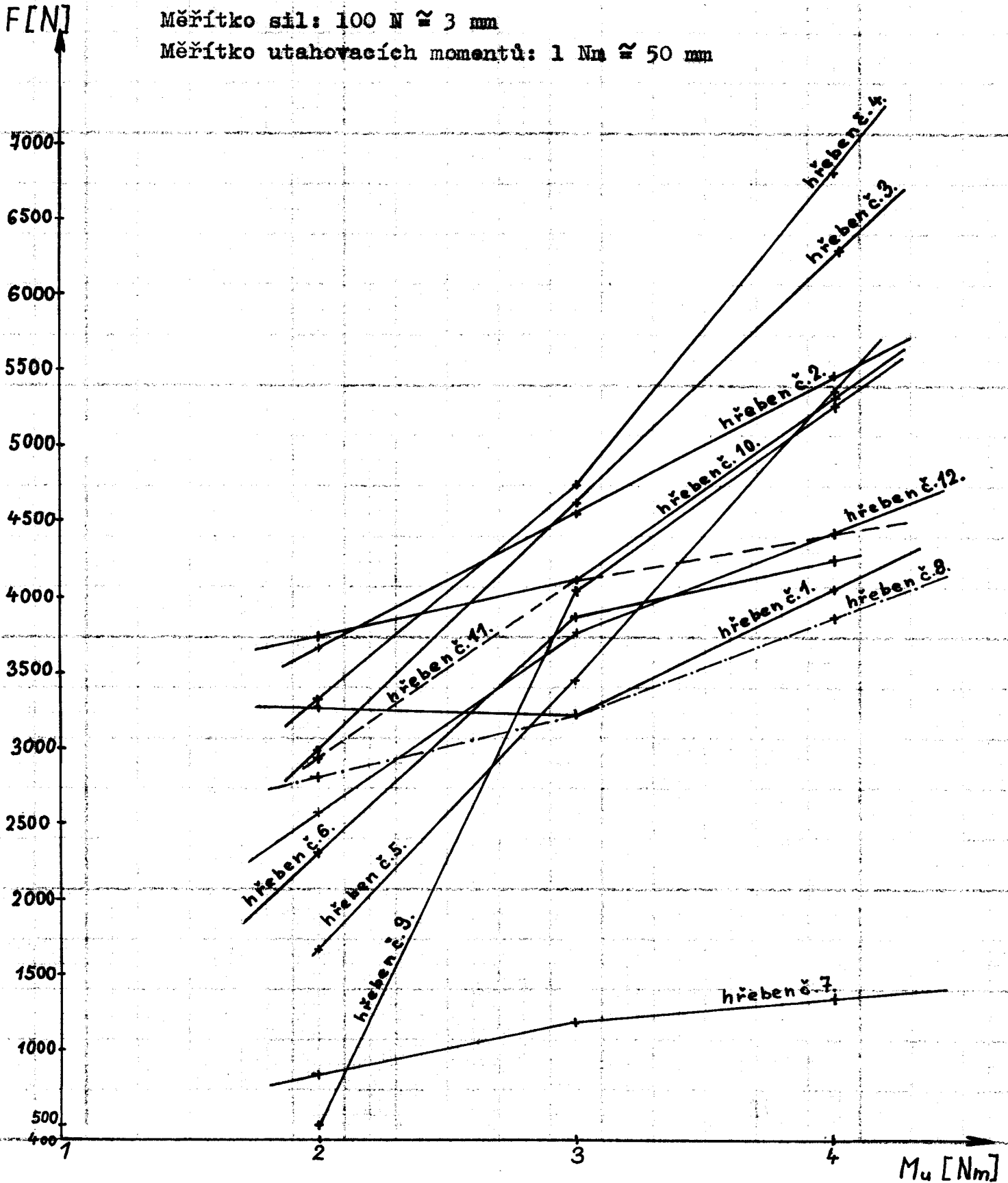
Číslo klínu		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Číslo šroubu		utahovací moment $M_u = 4 \text{ Nm}$ (1 dílek $\approx 32,94 \text{ N}$ )											
1		4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
2		4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
3		4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
	[N]	3952,8	5270,4	5929,4	6259,6	5105,7	4282,2	1350,5	3952,8	4941,-	5270,4	4446,9	4282,2
F1	dílky	120	160	180	190	155	130	41	120	150	160	135	130
	[N]	4117,5	5599,8	6258,6	6917,4	5599,8	4446,9	1482,3	3788,1	5599,8	5270,4	4282,2	4446,9
F2	dílky	125	170	190	210	170	135	45	115	170	160	130	135
	[N]	4117,5	5599,8	6752,7	7246,8	5435,1	4117,5	1152,9	3952,8	5270,4	5435,1	4611,6	4611,6
F3	dílky	125	170	205	220	165	125	35	120	160	165	140	140
	Průměrná síla F	4062,5	5489,9	6313,5	6807,6	5380,2	4282,2	1328,5	3897,9	5270,4	5325,3	4446,9	4446,9
	Poznámka					vadné šrouby		vadné šrouby		vadné šrouby			

GRAF 1.

Závislost síly  $F$  na utahovacím momentu  $M_u$  při suchém spojení šroubu, klínu a tělesa pro hřebeny 1 - 12 a pro nedělené klíny.

Měřítko síl: 100 N  $\approx$  3 mm

Měřítko utahovacích momentů: 1 Nm  $\approx$  50 mm



## 6.2 Velikost axiální síly potřebné k posunutí hřebínku ze SK při suchém spojení tělesa, klínu a šroubu pro dělené upínací klíny

V neděleném upínacím klínu jsou zašroubovány všechny tři šrouby s levým závitem a v tělese mají šrouby pravý závit. Při utahování a povolování šroubů se musí postupovat tak, že šroub 1 se utáhne o 1/4 otáčky, stejně se musí pootočit šroub 2 a potom šroub 3. Takto se musí postupovat až do úplného dotažení, či povolení všech třech šroubů, neboť nelze nejdříve dotáhnout úplně šroub 1, pak šroub 2 a šroub 3, neboť by došlo k přičení a průhybu upínacího klínu až do té míry, že by mohl upínací klín prasknout.

Jelikož toto utahování, či povolování všech 12 klínů trvá moc dlouho, bylo pracovníky katedry OE - VŠST Liberec navrženo n.p. SMZ Dubnica n. Váh. to, aby upínací klín byl rozdělen na tři části a tím bylo odstraněno vzájemné ovlivňování šroubů při utahování či povolování. Toto bylo v n.p. SMZ Dubnica n. Váh. realizováno, takže lze každý šroub utahovat nezávisle na druhém.

Otázkou je, zda nedojde při rozdělení upínacího klínu na tři části k poklesu upínací síly a tím k vysouvání ozubeného hřebene při obrábění. Z tohoto důvodu se v této kap. zabývám velikostí axiální síly potřebné k posunutí hřebínku ze SK, je-li upínací klín rozdělen na tři části.

- 1/ Šrouby 1, 2 a 3 byly (každý samostatně) utaženy utahovacím momentem  $M_u = 2 \text{ Nm}$  při suchém spojení šroubu, klínu a tělesa. Po utažení všech 36 šroubů byla fréza upnuta pomocí šroubu na stůl stojanové vrtačky a každý z 12 hřebenů byl přes siloměr zatěžován axiální silou až do té doby, kdy došlo k posunutí hřebene. Toto bylo provedeno třikrát a hodnoty sil  $F_1$ ,  $F_2$ ,  $F_3$  byly zaznamenány do tab. 6. U sil  $F_1$ ,  $F_2$ ,  $F_3$  došlo opět k dost velkému rozptylu v jednotlivých klínech, i když ne k tak velkému jako tomu bylo u nedělených klínů.

- 2/ Šrouby 1, 2 a 3 byly (každý samostatně) utaženy utahovacím momentem  $M_u = 3 \text{ Nm}$  při suchém spojení šroubu, klínu a tělesa. Po utažení byly hřebeny opět zatěžovány tím samým způsobem, jako v předchozím případě. Naměřené hodnoty sil  $F_1$ ,  $F_2$ ,  $F_3$  byly pro všechny šrouby zaznamenány do tab. 7. Při utažení utahovacím momentem  $M_u = 3 \text{ Nm}$  došlo k viditelnému nárůstu síly  $F$  oproti předchozímu utažení momentem  $M_u = 2 \text{ Nm}$ .
- 3/ Šrouby 1, 2 a 3 byly (každý samostatně) utaženy utahovacím momentem  $M_u = 4 \text{ Nm}$  při suchém spojení šroubu, klínu a tělesa. Již dříve popsany postup utahování a zatěžování všech 12 hřebenů byl znovu zopakován a naměřené hodnoty sil  $F_1$ ,  $F_2$ ,  $F_3$  byly zaznamenány do tab. 8. Průměrná síla  $F$  v závislosti na utahovacích momentech  $M_u = 2, 3, 4 \text{ Nm}$  se zvětšuje u jednotlivých hřebenů resp. klínů se zvětšujícím se utahovacím momentem, což je vidět z grafu 2. uvedeného na str. 64.

tab. 6

Číslo klinu		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Číslo šroubu		utahovací moment $M_{u1} = 2 \text{ Nm}$ (1 dílek $\approx 32,94 \text{ N}$ )											
1		2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
2		2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
3		2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
	[N]	1317,6	1647,0	1811,7	2635,2	1647,0	2141,1	1811,7	2470,5	1877,6	3294,0	3129,3	2470,5
	dílky	40	50	55	80	50	65	55	75	57	100	95	75
	[N]	1647,0	2964,6	2964,6	3623,4	2470,5	2635,2	2470,5	4776,3	2470,5	3129,3	3689,3	3129,3
	dílky	50	90	90	110	75	80	75	145	75	95	112	95
	[N]	1647,0	2470,5	3129,3	4446,9	2141,1	2141,1	1811,7	2964,6	2141,1	3458,7	4282,2	3294,0
	dílky	50	75	95	135	65	65	55	90	65	105	130	100
	Průměrná síla F	1537,2	2360,7	2635,2	3568,5	2086,2	2305,8	2031,3	3403,8	2163,1	3294,0	3700,3	2964,6
	Poznámka	vadné šrouby				vadné šrouby		vadné šrouby		vadné šrouby			

tab. 7

Číslo klínu		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Číslo šroubu		utahovací moment $M_{u1} = 3 \text{ Nm}$ (1 dílek $\approx 32,94 \text{ N}$ )											
1		3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
		3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
		3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
F <sub>1</sub>	[N]	2470,5	3623,4	3788,1	4776,3	3129,3	3623,4	2635,4	2635,4	2635,2	4117,5	5435,1	4446,9
	dílky	75	110	115	145	95	110	80	135	80	125	165	135
F <sub>2</sub>	[N]	2635,2	3952,8	4446,9	5105,7	3623,4	3952,8	2964,6	4282,2	2964,6	4446,9	5764,5	4941,0
	dílky	80	120	135	155	110	120	90	130	90	135	175	150
F <sub>3</sub>	[N]	2964,6	5105,7	5435,1	6258,6	4941,0	4611,6	3294,0	5270,4	3294,0	5599,8	6423,3	4941,0
	dílky	90	155	165	190	150	140	100	160	100	170	195	150
Průměrná síla F		2690,1	4227,3	4556,7	5380,2	3897,9	4062,6	2964,6	4666,5	2964,6	4721,4	5874,3	4776,3
Poznámka		vadné šrouby						vadné šrouby		vadné šrouby			

tab. 8

Číslo klinu		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Číslo šroubu		utahovací moment $M_u = 4 \text{ Nm}$ (1 dílek $\approx 32,94 \text{ N}$ )											
1		4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
2		4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
3		4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
	$F_1$	3129,3	4776,3	5764,5	6588,0	5105,7	5270,4	3294,0	5599,8	3952,8	5599,8	6917,4	5599,8
	dílký	95	145	175	200	155	160	100	170	120	170	210	170
	$F_2$	3623,4	4611,6	5599,8	6423,3	5599,8	5270,4	43458,7	5929,2	3952,8	5764,5	6423,3	5435,1
	dílký	110	140	170	195	170	160	105	180	120	175	195	165
	$F_3$	4282,2	5599,8	6588,0	7246,8	5599,8	5599,8	3623,4	6093,9	4941,0	6588,0	7905,5	5929,2
	dílký	130	170	200	220	170	170	110	185	150	200	240	180
	Průměrná síla F	3678,3	4995,9	5984,1	6752,7	5435,1	5380,2	3458,7	5874,3	4282,2	5984,1	7082,1	5654,7
	Poznámka	vadné šrouby						vadné šrouby		vadné šrouby			

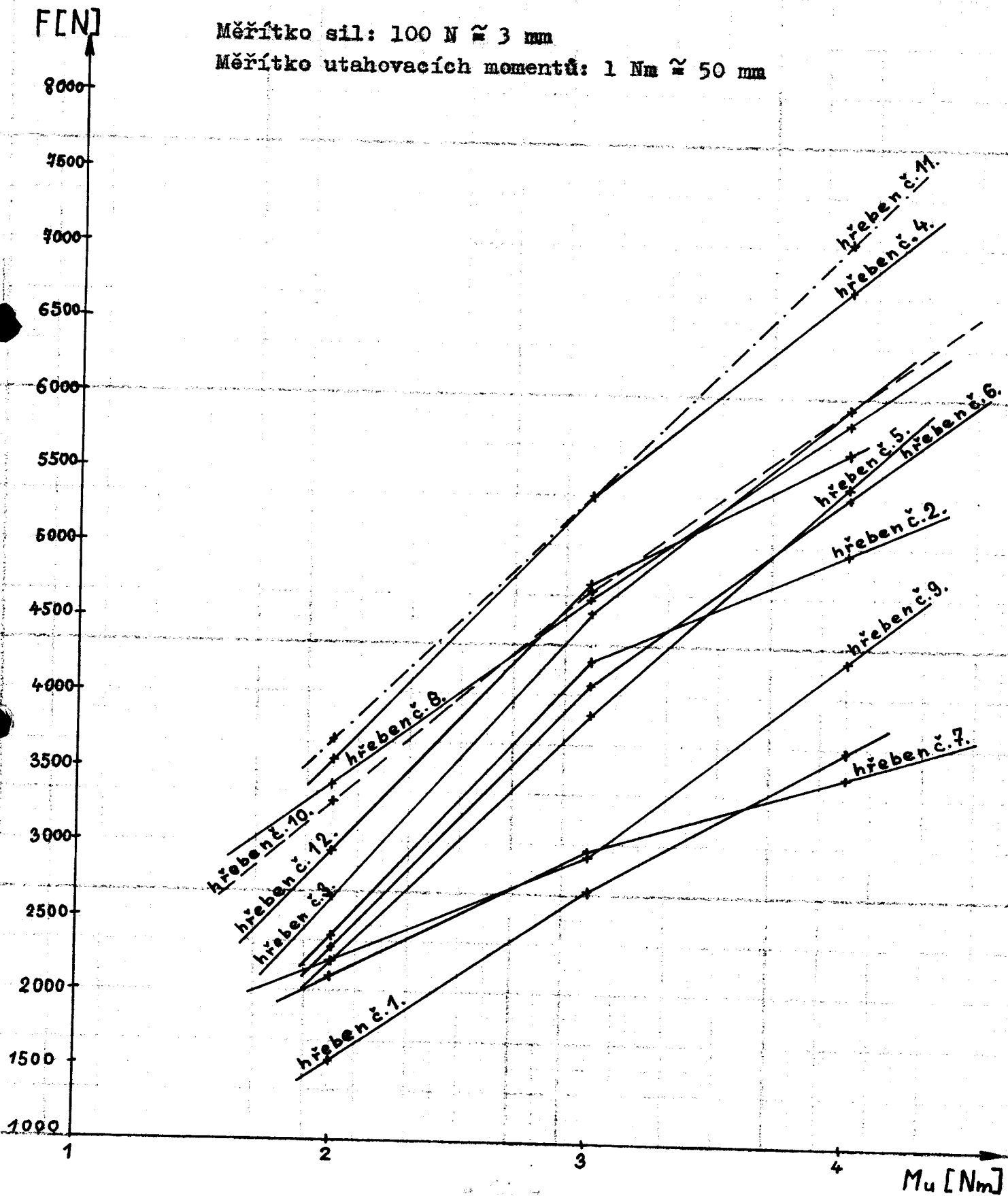


## GRAF 2.

Závislost síly  $F$  na utahovacím momentu  $M_u$  při suchém spojení šroubu, klínu a tělesa pro rozdělený klín na tři části a pro hřebeny 1 - 12.

Měřítko sil: 100 N  $\approx$  3 mm

Měřítko utahovacích momentů: 1 Nm  $\approx$  50 mm



### 6.3 Velikost axiální síly potřebné k posunutí hřebínku ze SK při promazání jednotlivých částí upínacího mechanismu odvalovací frézy pro dělené upínací klíny

Jelikož při obrábění hřídele s jemným evolventním drážkováním je fréza i obrobek chlazen řezným olejem, byla skládaná odvalovací fréza s břity ze SK resp. části upínacího mechanismu promazány tímto olejem a potom bylo zopakováno měření axiální síly, jako v případě frézy dokonale odmaštěné. Předpokládám, že při obrábění dojde k tomu, že řezný olej vnikne alespoň částečně do mezer mezi klínem a tělesem, jakožto vnikne mezi upínací klín a ozubený hřeben. Též předpokládám, že před smontováním frézy bude každý šroub promazán tímto řezným olejem.

Šrouby v klínech 1, 2 ... 12 opět utáhnu utahovacími momenty  $M_u = 2, 3, 4$  Nm a budu sledovat velikost potřebné síly k posunutí hřebínku, jako v případě suchého spojení šroubu, klínu a tělesa. Naměřené hodnoty axiální síly  $F_1, F_2, F_3$  jsou uvedeny v tab. 9.

1/ Při prvním měření síly  $F_1$  byly zjištěny menší hodnoty této síly, než při následujících měřeních síly  $F_2$  a  $F_3$ , což pravděpodobně vyplývá z toho, že při prvním měření došlo k vytlačení přebytečného řezného oleje a tím byla zkreslena hodnota síly  $F_1$ .

2/ Celá odvalovací fréza byla nejdříve odmaštěna a pak byly jednotlivé části upínacího mechanismu frézy opět promazány. Šrouby byly dotaženy utahovacím momentem  $M_u = 3$  Nm a byly opět naměřeny hodnoty sil  $F_1, F_2, F_3$ , které jsou uvedeny v tab. 10.

Jak vyplývá z uvedené tab. 10, došlo již při tomto utažení k velkému nárůstu síly  $F$ , i když mezi jednotlivými měřeními byl opět zaznamenán určitý rozptyl v jejich velikostech.

3/ Fréza byla opět odmaštěna a jednotlivé části upínacího mechanismu frézy byly znovu promazány. Po tomto utažení byl opět zopakován předchozí postup a velikost sil  $F_1$ ,  $F_2$ ,  $F_3$  byla zaznamenána do tab. 11.

Při tomto měření byla zjištěna maximální hodnota síly  $F = 7\,795,8$  N z celého dosavadního měření. Velikost síly  $F$  v závislosti na utahovacích momentech  $M_u = 2, 3, 4$  Nm pro jednotlivé hřebeny byla zanesena do grafu 3. uvedeného na str. 70.



tab. 10

Číslo klínu		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Číslo šroubu		utahovací moment $M_u = 3 \text{ Nm}$ (1 dílek $\approx 32,94 \text{ N}$ )											
F1	1	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
	[N]	3294,0	3952,8	4282,2	4446,9	3623,4	4282,2	3623,4	3952,8	3294,0	4776,3	4282,2	4941,0
	délky	100	120	130	135	110	130	110	120	100	145	130	150
F2		3294,0	4941,0	5270,4	5599,8	4611,6	5270,4	4611,6	4611,6	3623,4	5270,4	4611,6	5270,4
		100	150	160	170	140	160	140	140	110	160	140	160
	[N]	3952,8	4941,0	5599,8	5929,2	4941,0	5270,4	44941,0	5270,4	4282,2	5270,4	4282,2	5270,4
	délky	120	150	170	180	150	160	150	160	130	160	130	160
Průměrná síla F		3513,6	4611,6	5050,8	5325,3	4392,0	4941,0	4392,0	4611,6	3733,2	5105,7	4392,0	5160,6
	Poznámka	vadný klín								vadné šrouby			

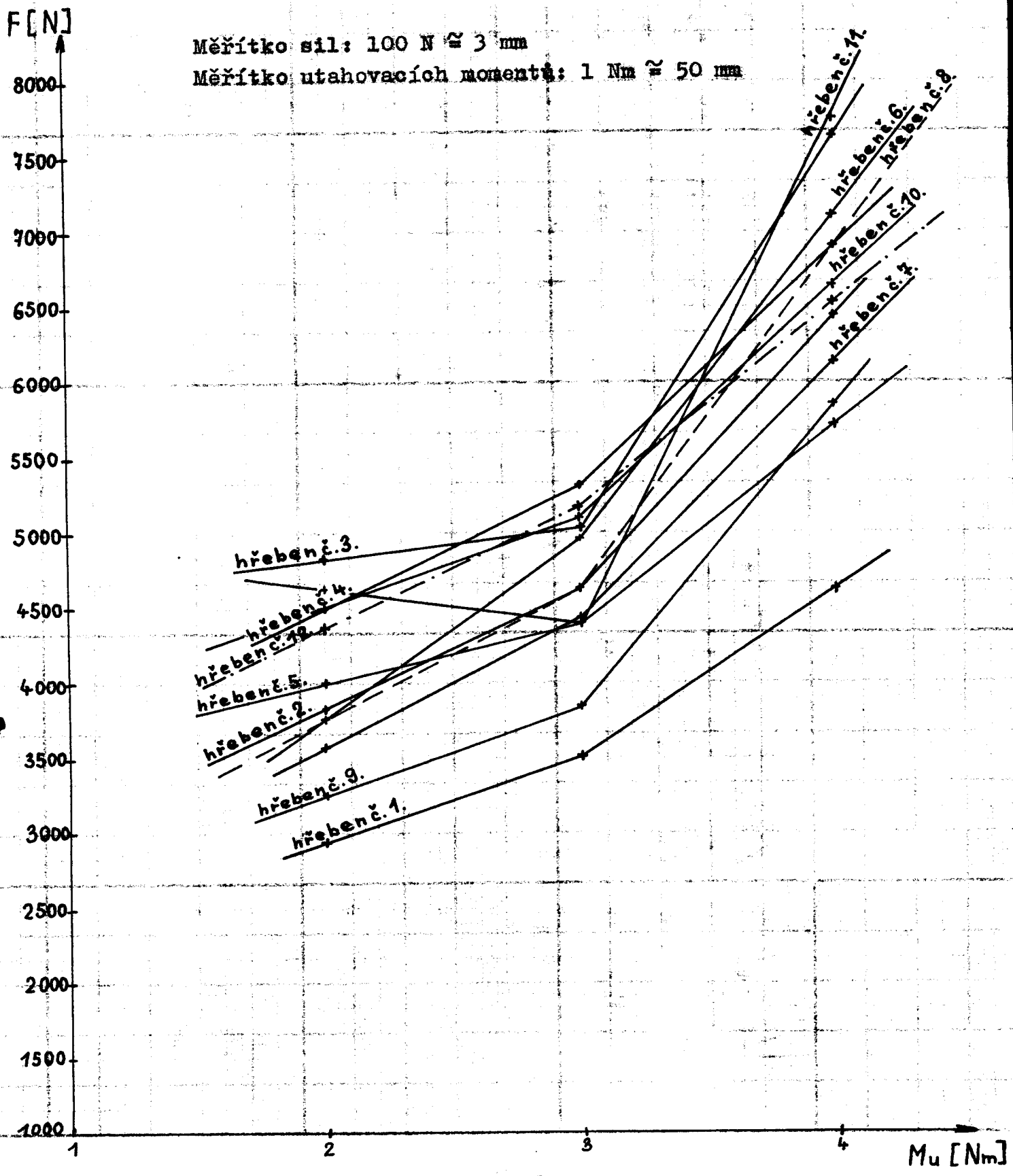
tab. 11

Číslo klínu	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Číslo šroubu	utahovací moment $M_u = 4 \text{ Nm}$ (1 dílek $\cong 32,94 \text{ N}$ )											
1	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
2	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
[N]	3952,8	5929,2	8235,0	7246,8	5270,4	7905,6	5929,2	7246,8	55599,8	6258,6	7246,8	6588,0
$F_1$ sílký	120	180	250	220	160	240	180	220	170	190	220	200
[N]	4611,6	6588,0	6917,4	6588,0	5929,2	6588,0	6258,6	6588,0	5929,2	6588,0	8235,0	5929,2
$F_2$ sílký	140	200	210	200	180	200	190	200	180	200	250	180
[N]	5270,4	6917,4	7905,6	6917,4	5929,2	6917,4	6258,6	6917,4	46093,9	7246,8	7905,6	7082,1
$F_3$ sílký	160	210	240	210	180	210	190	210	185	220	240	215
Průměrná síla F	4611,6	6478,2	7685,9	6917,4	5709,6	7136,9	6148,8	6917,4	45874,3	6697,8	7795,8	6533,1
Poznámka	vadný klín											

Závislost síly  $F$  na utahovacím momentu  $M_u$  při promazaném spojení šroubu, klínu a tělesa pro rozdělený klín na tři části a pro hřebeny 1 - 12

Měřitko sil: 100 N  $\approx$  3 mm

Měřitko utahovacích momentů: 1 Nm  $\approx$  50 mm



#### 6.4 Proměření tělesa, nedělených upínacích klínů a ozubených hřebínků ze SK

##### Zdůvodnění měření

Při měření axiálních sil  $F_1$ ,  $F_2$ ,  $F_3$  potřebných k posunutí ozubeného hřebene docházelo k tomu, že při stejném utahovacím momentu na všech třech šroubech v jednom klínu byl naměřen rozdíl mezi silou  $F_1$  při prvním měření a silou  $F_2$  při druhém měření maximálně až 1 054 N. Jedním z vlivů, který by mohl tento velký rozptyl ve velikosti sil způsobovat, je nepřesnost výroby os závitů vzhledem k tělesu frézy.

Z tohoto důvodu bylo proměřeno, jak těleso, tak i upínací klín a ozubený hřeben ze SK. Dalším vlivem, který by mohl tak velký rozptyl způsobovat, je to, že docházelo k postupnému odírání hran šestihranu ve šroubu a tudíž šroub nebyl dotažen na stanovený moment, ale na moment o něco nižší. To však ovlivňovalo další průběh měření. Mohlo též dojít k částečnému zkroucení nástavce viz obr. 6.2, jakožto i k tomu, že jeden šroub byl přetažen a druhý byl poněkud volněji utažen, čímž mohlo dojít k ovlivnění měření sil  $F_1$ ,  $F_2$ ,  $F_3$

v jednotlivých klínech. Proto je třeba při utahování šroubů v celém klínu velmi pozorně dbát na utahování a šrouby v každém klínu utahovat postupně za sebou a systematicky, aby nemohlo dojít k tomu, že jeden šroub je utažen více a druhý méně. Toto utahování je však velmi náročné na čas. Proto je velkou výhodou to, že klín je rozdělen na tři části, neboť v tom případě lze každý šroub utahovat nezávisle na druhém a každý šroub lze utáhnout stanoveným utahovacím momentem.

##### Metodika měření

Velký a možno říci rozhodující vliv na velký rozptyl naměřených sil, bude zřejmě mít rozhození os závitů v tělese i v klínu mezi sebou, neboť bude-li osa závitu jednoho šroubu více vzdálena od hřebene, než osa závitu 2 a 3 šroubu, pak nebude stanoveným utahovacím momentem, který je u všech šroubů stejný, vyvozena tak velká upínací síla, jako u šroubů, které jsou blíže k ozubenému hřebenu.

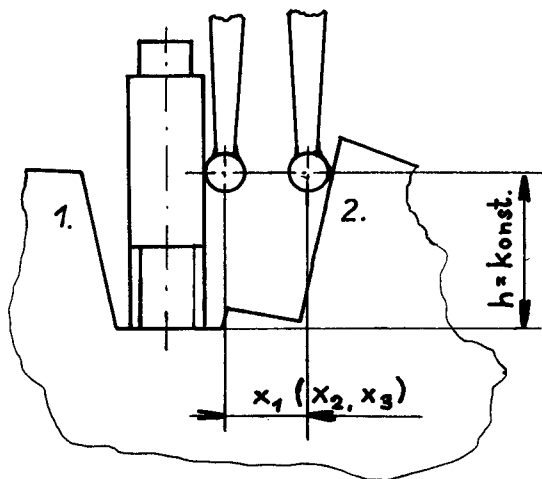


Z tohoto důvodu bylo jak u tělesa, tak i u klínu proměřeno rozhození os jednotlivých závitů v každém nerozděleném klínu.

Další vliv na velký rozptyl naměřených sil může mít i rovinnost upínacích ploch klínů a rovinnost hřebíků, stejně tak, jako tloušťka hřebíků. Proto byla změřena tloušťka všech 12 hřebíků, jejich rovinnost, stejně tak i rovinnost upínacích ploch klínů.

#### 6.4.1 Proměření tělesa frézy

Pro měření rozhození os závitů v tělese frézy byly vyrobeny tři čepy s pravým závitem, které byly zašroubovány do tělesa frézy, jak to ukazuje obr. 6.4. Pak byly proměřeny vzdálenosti  $x_1$ ,  $x_2$  a  $x_3$  u všech 12 drážek na universálním optickém mikroskopu Carl Zeiss - Jena, ve stejné výšce  $h$  u všech tří čepů. Naměřené hodnoty byly zaneseny do tab. 12. Číslo drážky souhlasí s číslem klínu a hřebíku, které jsou do této drážky zasunuty viz obr. 6.1.



obr. 6.4 - Měření rozhození os závitů v tělese frézy

Dále byly spočítány úchytky  $\Delta x_{12}$ ,  $\Delta x_{23}$ ,  $\Delta x_{13}$  viz obr. 6.5 mezi osami jednotlivých čepů resp. závitů u všech 12 drážek a byly zaneseny do tab. 13.

tab. 12

Číslo drážky

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
$x_1$	3,337	3,437	3,386	3,331	3,279	3,468	3,236	3,024	3,358	3,198	3,189	3,162
$x_2$	3,251	3,168	3,179	2,997	3,176	3,214	3,157	3,167	3,297	3,230	3,204	3,019
$x_3$	3,172	3,242	3,275	2,984	3,077	3,267	3,200	3,152	3,218	3,020	3,195	3,059

Rožměr x

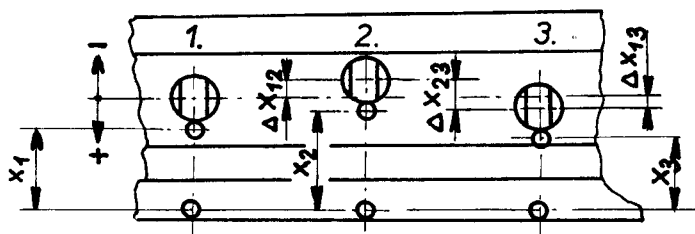
35

tab. 13

Číslo drážky

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
$\Delta x_{12}$	0,086	0,269	0,207	0,334	0,103	0,254	0,079	-0,143	0,061	-0,032	0,015	0,143
$\Delta x_{23}$	0,079	-0,074	-0,096	0,013	0,099	-0,053	-0,043	0,015	0,079	0,210	0,009	-0,040
$\Delta x_{13}$	0,165	0,195	0,111	0,347	0,202	0,201	0,036	-0,128	0,140	0,178	-0,006	0,103

Úchylka



$$\Delta x_{12} = x_1 - x_2$$

$$\Delta x_{23} = x_2 - x_3$$

$$\Delta x_{13} = x_1 - x_3$$

obr. 6.5 - Úchyvky mezi osami jednotlivých závitů v tělese frézy

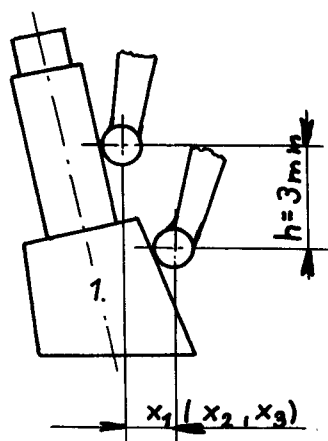
Pro větší názornost byly osy závitů v jednotlivých drážkách zakresleny ve skutečné vzdálenosti mezi sebou v podélném směru, t.j. 23 mm a úchyvky mezi osami závitů v příčném směru byly zakresleny tak, že úchyłka 0,01 mm ve skutečnosti odpovídá 1 mm na papíře. Toto ukazuje tab. 14.

Jak je vidět z uvedené tab. 14, jsou mezi osami závitů v převážné většině drážek dost velké úchyvky např. v drážce č.4 byla naměřena maximální odchylka osy šroubu 1 od osy šroubu 3  $\Delta x_{13} = 0,347$  mm. To je již dost velká odchylka, která bude mít vliv na velikost naměřených sil  $F_1$ ,  $F_2$ ,  $F_3$ . Oproti tomu byla v drážce č.11 naměřena minimální odchylka  $\Delta x_{13} = 0,006$  mm, což se např. odrazilo při měření sil  $F_1$ ,  $F_2$ ,  $F_3$  při utažení utahovacím momentem  $M_u = 3$  Nm při nerozděleném klínu viz tab. 4. V tomto případě byla naměřena stejná hodnota axiální síly  $F_1 = F_2 = F_3 = 4\ 117,5$  N.



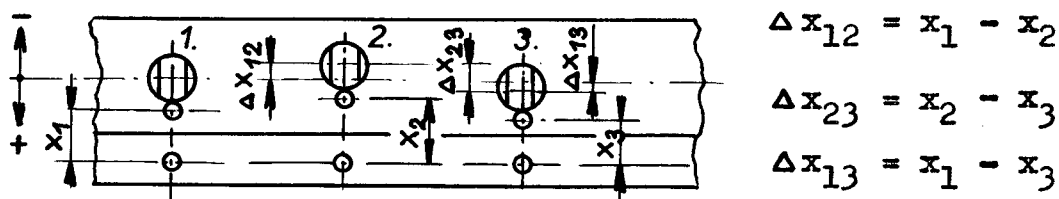
#### 6.4.2 Proměření nedělených upínacích klínů

Pro měření rozhození os závitů v upínacím klínu byly opět zhotoveny tři čepy s levým závitem, které byly zašroubovány do každého z 11 klínů viz obr. 6.6, neboť při povolování a vytažení klínu z drážky došlo k prasknutí jednoho klínu a hřebínku 10, neboť šroub 2 v klínu 1 nešel vyšroubovat. Pak byly opět proměřeny vzdálenosti  $x_1$ ,  $x_2$ ,  $x_3$  u všech klínů na universálním optickém mikroskopu Carl Zeiss - Jena a to mezi dvěma myšlenými rovinami v konstantní vzdálenosti  $h = 3 \text{ mm}$ . Klíny jsou očíslovány dle obr. 6.1 a čep 1 je umístěn v klínu nejbližší k vyznačenému číslu na čele každého klínu. Naměřené hodnoty byly zaneseny do tab. 15.



obr. 6.6 - Měření rozhození os závitů u upínacího klínu

Dále byly spočítány úchytky  $\Delta x_{12}$ ,  $\Delta x_{23}$ ,  $\Delta x_{13}$  viz obr. 6.7 mezi osami jednotlivých čepů resp. závitů u všech 11 klínů a byly zaneseny do tab. 16.



obr. 6.7 - Úchytky mezi osami jednotlivých závitů u klínu

tab. 15  
Číslo klínu

Rožměr x	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
x <sub>1</sub>		1,422	1,385	1,314	1,180	1,301	1,176	1,166	1,186	1,408	1,364	1,232
x <sub>2</sub>		1,337	1,331	1,297	1,119	1,135	1,149	1,305	1,196	1,428	1,446	1,289
x <sub>3</sub>		1,447	1,191	1,335	1,236	1,319	1,162	1,192	1,429	1,407	1,367	1,142

tab. 16  
Číslo klínu

Úchylka	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
$\Delta x_{12}$		0,085	0,054	0,017	0,061	0,166	0,027	0,139	0,010	0,020	0,082	0,057
$\Delta x_{23}$		0,110	0,140	0,038	0,117	0,184	0,013	0,113	0,233	0,021	0,079	0,147
$\Delta x_{13}$		0,025	0,194	0,021	0,056	0,018	0,014	0,026	0,243	0,001	0,003	0,090

tab. 18  
Číslo hřebínku

Rožměr x	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
x <sub>1</sub>	5,225	5,195	5,199	5,210	5,148	5,150	5,159	5,200	5,239	5,225	5,151	5,151
x <sub>2</sub>	5,225	5,192	5,200	5,195	5,145	5,150	5,160	5,210	5,229	5,215	5,150	5,150
x <sub>3</sub>	5,220	5,210	5,220	5,195	5,151	5,150	5,159	5,200	5,235	5,225	5,161	5,150

Pro větší názornost byly osy závitů v jednotlivých klínech zakresleny ve skutečné vzdálenosti mezi sebou v podélném směru t.j. 23 mm a úchyly mezi osami závitů v příčném směru byly zakresleny tak, že úchylnka 0,01 mm ve skutečnosti odpovídá 1 mm na papíře. Toto ukazuje tab.17.

Jak je vidět z tab. 17, jsou mezi osami jednotlivých závitů opět určité odchylky, i když ne tak velké, jako tomu bylo u tělesa frézy. Když se porovná tab. 14 a tab.17, pak je možno usoudit, že při sešroubování klínů s tělesem, dochází k deformacím šroubů a tím i klínů, neboť osa závitů v tělese frézy není totožná s osou závitů v klínu. Z tohoto důvodu klíny nedoléhají stejnoměrně na ozubený hřeben a tudíž není ani stejně velká upínací síla od jednotlivých šroubů. Pak axiální síla, kterou vytlačujeme ozubený hřeben není stejně velká při třech po sobě následujících měřeních.

#### Proměření rovinnosti upínací plochy upínacích klínů

Jelikož proměření rovinnosti u těchto klínů je velmi náročné a těžko proveditelné, byla rovinnost klínů měřena nožovým pravítkem na průsvit.

Klíny 2, 6, 7, a 11 byly v upínací ploše ideálně rovinné to zn. nebyly prohnuté ani nevykazovaly žádnou vlnitost. U klínů 3, 4, 5, 8, 9, 10 a 12 bylo průsvitem zjištěno prohnutí klínů, i když někdy jen nepatrné. Toto ukazuje na to, že při sešroubování klínů s tělesem frézy došlo vlivem netotožných os závitů v tělese a v klínu, k deformaci šroubů a tím také k prohnutí upínacích klínů. To má za následek výše uvedený důvod nestejnoměrného doléhání klínů na ozubený hřeben a tedy i nestejně velkých upínacích sil a nestejně velkých axiálních sil potřebných k posunutí ozubeného hřebene.

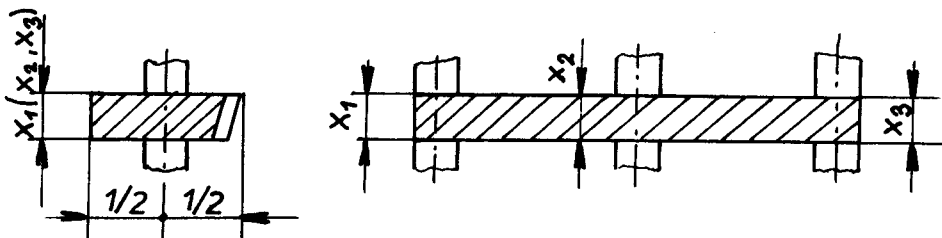
Klín č. 1	Klín č. 2	Klín č. 3
Klín je prasklý		
Klín č. 4	Klín č. 5	Klín č. 6
Klín č. 7	Klín č. 8	Klín č. 9
Klín č. 10	Klín č. 11	Klín č. 12



### 6.4.3 Proměření ozubených hřebíků ze SK

#### Měření tloušťky hřebíků ze SK

U všech 12 hřebíků byla proměřena jejich tloušťka a to v jedné rovině přibližně uprostřed hřebíků a ve třech místech, tak jak to ukazuje obr. 6.8. Naměřené hodnoty tloušťek  $x_1$ ,  $x_2$  a  $x_3$  byly zaznamenány do tab. 18. Hřebíky jsou očíslovány dle obr. 6.1.



obr. 6.8 - Měření tloušťky hřebíků ze SK

Z tab. 18 uvedené na str. 77 je vidět, že hřebíky ze SK jsou přesně vyrobeny, takže vliv tloušťky hřebíků na rozptyl velikostí axiálních sil při třech po sobě následujících měřeních můžeme zanedbat.

#### Proměření rovinnosti ploch hřebíků ze SK

Proměření rovinnosti u všech 12 hřebíků bylo provedeno opět měřením na průsvit pomocí nožového pravítka. U hřebíků 1, 3, 4, 6 a 11 nebylo průsvitem zjištěno prohnutí ani žádné vlnitosti, hřebíky byly ideálně rovinné. U hřebíků 2, 5, 7, 8, 9, 10 a 12 bylo průsvitem zjištěno nepatrné prohnutí nebo vlnitost, avšak tak malé, že vliv rovinnosti na rozptyl velikostí axiálních sil při třech po sobě následujících měřeních můžeme zanedbat.

### 6.5 Zhodnocení provedených měření, závěr a doporučení

Z provedených měření vyplývá, že nejlepší výsledky naměřených sil dává odvalovací fréza s dělenými klíny a s promazáním tělesa frézy, klínů a šroubů, jak je to vidět z grafu 3. Pro všechny tři utahovací momenty je síla potřebná k vysunutí hřebene dostatečně velká, takže lze zaručit, že při obrábění nedojde k posunutí ozubeného hřebene. Dá se tedy říci, že upínací mechanismus frézy je v tomto případě spolehlivý a bezpečný.

Lze též doporučit utahování šroubů utahovacím momentem  $M_u = 2 \text{ Nm}$  a lépe  $M_u = 3 \text{ Nm}$ , s tím, že bude upínací mechanismus před smontováním frézy alespoň částečně promazán rezným olejem.

Pro odvalovací frézu s dělenými klíny při suchém spojení šroubu, klínu a tělesa byly též zjištěny dost velké hodnoty síly  $F$ , jak je vidět z grafu 2, avšak jen pro utahovací moment  $M_u = 3 \text{ Nm}$ . Jak je vidět z grafu 2 pro utahovací moment  $M_u = 2 \text{ Nm}$  je síla  $F$  v průměru nižší než při promazaném spojení šroubu, klínu a tělesa a je též nižší než síla  $F$  pro nedělený klín.

Pro odvalovací frézu s nedělenými klíny byly též naměřeny vyhovující velikosti síly  $F$ , avšak kromě hřebenů 5, 7 a 9. Protože však je toto upnutí a tedy smontování frézy časově náročné, nedoporučuji tento způsob používat.

Jak je vidět z tab. 14 a tab. 17 je síla potřebná k posunutí hřebene závislá na poloze os závitů v tělese frézy a v klínu. Vyhovující poloha os závitů byla v tělese frézy naměřena v drážkách č. 11 případně č. 7 a č. 8 a u klínů č. 4, 7, 10 a 11. Jak již bylo zdůvodněno v kap. 6.4, má rozhození os závitů velký vliv na utahovací sílu a tím i na sílu potřebnou k posunutí hřebene.

Aby byl upínací mechanismus spolehlivý a bezpečný, je tedy třeba, aby závity v tělese frézy a v upínacím klínu byly co nejpřesněji vyrobeny, vzhledem k poloze os těchto závitů. Též je třeba dbát na to, aby všech 36 šroubů bylo utaženo pokud možno stejným utahovacím momentem a též dbát na včasnou výměnu opotřebovaných šroubů. Při dodržení všech těchto podmínek bude upínací mechanismus této odvalovací frézy s břitzy ze SK dostatečně spolehlivý a bezpečný i po mnohonásobném utažení či povolání všech 36 šroubů.

Závěrem bych chtěl uvést doporučené utahovací momenty a velikost minimální axiální síly  $F$ , kterou by měl upínací mechanismus frézy při dodržení všech podmínek udržet a velikost maximální síly  $F$ , kterou by neměla axiální síla  $F_p$  vznikající při procesu obrábění překročit. Doporučené utahovací momenty a velikosti osových sil jsou uvedeny v tab. 19.

tab. 19

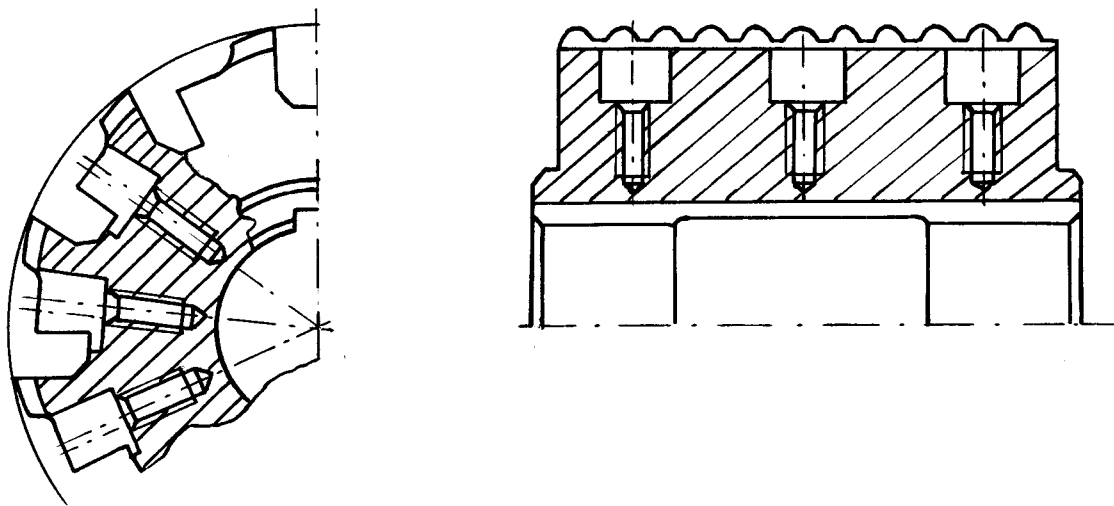
	Utahovací moment $M_u$ [Nm]	Osová síla $F$ [N]
Odvalovací fréza s nedělenými klíny	3 Nm	3200 ÷ 4750
Odvalovací fréza s dělenými klíny při suchém spojení tělesa klínu a šroubu	3 ÷ ÷ 4 Nm	3900 ÷ 5400 5000 ÷ 7100
Odvalovací fréza s dělenými klíny při promazaném spojení tělesa, klínu a šroubu	2 ÷ ÷ 3 Nm	3500 ÷ 4800 4450 ÷ 5400

## 7.0 Návrh nové konstrukce odvalovací frézy s břity ze SK

Protože uvedená odvalovací fréza s břity ze SK má dosti malou tuhost, zvláště má minimální průřez jen  $b_{\min.} = 3,5 \text{ mm}$ , je naší snahou pokud možno tento průřez co nejvíce zvětšit. Též je snaha o to, aby upínací mechanismus odvalovací frézy byl co možná nejvíce tuhý a spolehlivý i pro větší řezné rychlosti a posuvy, než které se dosud pro tuto odvalovací frézu používaly.

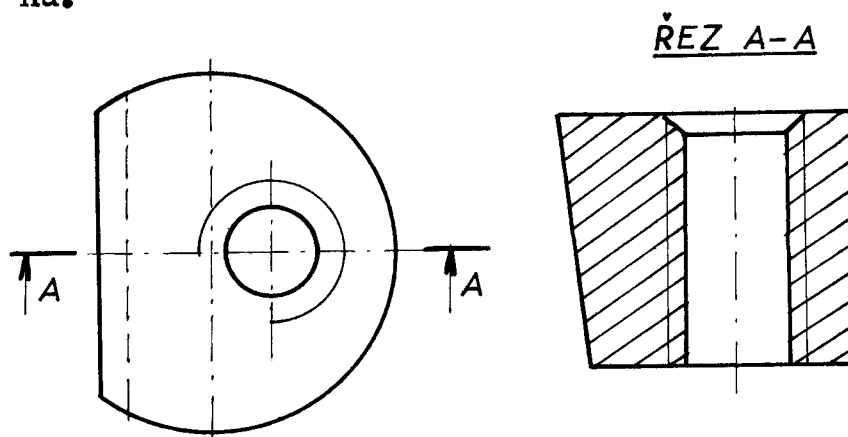
Z těchto důvodů byla na katedře OE - VŠST Liberec tato problematika zkoumána. Jednu z navrhovaných alternativ bych chtěl zde uvést. Při návrhu nové konstrukce odvalovací frézy s břity ze SK se již vycházelo z některých poznatků, které jsou uvedeny v této diplomové práci. Hlavový průměr frézy, jakožto i průměr upínacího otvoru zůstal zachován. Též se při návrhu vycházelo z toho, aby uvedená úprava frézy byla pokud možno co nejjednodušší, co nejméně nákladná a snadno a rychle proveditelná.

Navrhovaná úprava tělesa odvalovací frézy s břity ze SK je vidět na obr. 7.1.



obr. 7.1 - Nová konstrukce tělesa SK odvalovací frézy

Místo podélné přímé drážky vyfrézované pro upínací klíny jsou zde do tělesa frézy vyrobeny tři kruhové otvory, do kterých jsou vsazeny válcové upínací klíny, které upínají zbroušené ozubené hřebeny viz obr. 7.2, čímž se zvětší průřez  $b_{\min.}$  i v místech upínacích klínů.



obr. 7.2 - Upínací klín válcového tvaru

Touto úpravou se zvětšil průřez  $b_{\min.}$  a celá fréza bude tudíž mít větší tuhost, než u stávající konstrukce odvalovací frézy s břity ze SK. Též upínací klíny budou do tělesa frézy zalícovány, čímž se dosáhne větší spolehlivosti upínacího mechanismu frézy.

To, zda-li tato odvalovací fréza bude v provozu vyhovovat, bude možno ověřit až po jejím vyrobení a provedení nezbytných ověřovacích zkoušek. Je však nesporné, že tato odvalovací fréza bude mít výhody oproti stávající odvalovací fréze s břity ze SK, hlavně z důvodů zvětšené tuhosti, což umožní větší rezné rychlosti a posuvy a tím i větší produktivitu práce, při výrobě jemného evolventního drážkování na hlavách torzních tyčí odvalovacím frézováním.

## 8.0 Závěr a ekonomický přínos řešení

Ve vývoji a výzkumu nástrojů pro odvalovací frézování se v současné době přechází na skládané konstrukce odvalovacích fréz s břity ze SK, které mají nesporné výhody oproti frézám monolitním z rychlořezné oceli.

Po návrhu každé nové konstrukce odvalovací frézy, by se měl vyrobit prototyp frézy a provést na něm ověřovací zkoušky, k čemuž vedlo i vypracování této diplomové práce. Byl proveden pevnostní výpočet upínacího mechanismu této frézy, dále pak ověřovací zkoušky upínacího mechanismu frézy a též návrh zařízení pro funkční ověření této odvalovací frézy s břity ze SK. Každá nová konstrukce odvalovací frézy by se měla před zavedením do provozu funkčně ověřit, aby se předešlo havariím a též, aby byla odvalovací fréza co možná nejvýhodněji navržena a aby byla ekonomicky výhodná, ještě před samotným používáním v provozu. Tím se dosáhne určitých úspor již dříve, než se tato odvalovací fréza začne seriově vyrábět a používat v provozu.

Provedené praktické zkoušky ukázaly, že tato odvalovací fréza resp. její upínací mechanismus, je spolehlivý a bezpečný při dodržení všech podmínek, které jsem uvedl v kap. 6.5. Při každém novém návrhu odvalovací frézy s břity ze SK by se měla tato nová konstrukce ještě před započatím seriové výroby funkčně ověřit, k čemuž vedl návrh zařízení pro funkční ověření této odvalovací frézy a též návrh jejího statického a dynamického zkoušení, po př. zkoušení pomocí laserového paprsku.

Protože výroba této odvalovací frézy je dosti nákladná, je proto každé zlepšení a úspora ve výrobních nákladech značným ekonomickým přínosem. Teprve po dokonalém ověření a vyzkoušení této frézy, je možné zavést ji do výrobního procesu bez obav, že tato odvalovací fréza bude při vlastním obrábění nevyhovující a ekonomicky nevýhodná.

Při vypracování této diplomové práce jsem se setkal s některými problémy, které pro svoji obsáhlost a náročnost nemohly být řešeny v rámci této diplomové práce.

I přesto by však tato diplomová práce mohla nemalou měrou přispět k osvětlení problematiky kolem skládaných odvalovacích fréz s břity ze SK a přispět tak k jejich plnému zavedení a používání v našich strojírenských závodech.

Závěrem bych chtěl poděkovat za praktické připomínky a podklady poskytnuté mi národním podnikem SMZ Dubnica nad Váhom, především pak

s. ing. J. Paškovi

a s. M. Šipošovi.

Zvláště bych pak chtěl poděkovat za odborné vedení a za velmi cenné rady a připomínky vedoucímu diplomové práce a konzultantovi

s. ing. R. Kvapilovi

a pracovníkům mechanických dílen s. Růžičkovi a s. Čihulovi za pomoc při provádění praktických zkoušek.

V Liberci dne 26. května 1978

*Revel. Kadeřávek...*

## Seznam literatury

- /1/ KLEPAL, V. : Výroba ozubených kol, 1.vydání, SNTL Praha 1967
- /2/ GABRIEL, V. : Pevnostní namáhání upínacích elementů jednobřítých nástrojů nové konstrukce, výzkumná zpráva VŠST Liberec 1974
- /3/ GABRIEL, V. : Teplotní zatížení a pevnostní namáhání nožů nové konstrukce a frézovacích hlav, výzkumná zpráva VŠST Liberec 1973
- /4/ CERHA, J. : Elektrohydraulický vibrátor pro výzkum dynamických vlastností obráběcích strojů, výzkumná zpráva VŠST Liberec 1973
- /5/ SEIDL, O. : Výzkum statického, dynamického a tepelného namáhání obráběcích nástrojů, výzkumná zpráva ČVUT Praha - fakulta strojní 1977
- /6/ ŠVEC, S. : Konstrukce nástrojů pro výrobu čelních ozubených kol, SNTL Praha 1965
- /7/ SCHMIDT, E. : Příručka řezných nástrojů, 2.vydání SNTL Praha 1974
- /8/ HUŠEK, J. : Zhodnocení procesu výroby ozubených kol, DP ST-347/65, KOE VŠST Liberec 1965
- /9/ ŠEDIVÝ, O. : Konstrukce dynamometru pro odvalovací frézování a obrážení, DP ST-1260/77, KOE VŠST Liberec 1977
- /10/ KVAPIL, R. - NOVÁK, J. : Řezné síly při frézování ozubených kol automobilu Škoda, výzkumná zpráva VŠST Liberec 1966
- /11/ PAŠKA, J. - ŠIPOŠ, M. : Skládaná odvalovací fréza z SK, Strojírenská výroba, č.3/1977



- /12/ BARTOŠ, J. : Strojnické tabulky, SNTL Praha 1970
- /13/ FETTE, W. : Technische Nachrichten, prospekt fy  
Fette, Hamburg, Dez. 1965

Seznam příloh

Příloha č. 1 : Sestava zařízení pro funkční ověření  
odvalovací frézy s břity ze slinutého  
karbidu ..... 2 výkresy

Příloha č. 2 : Detaily zařízení pro funkční ověření  
odvalovací frézy s břity ze slinutého  
karbidu ..... 12 výkresů



1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	Svařenec	Svařeno z	nos. 1.1, 1.2, 1.3					01/01-C.0	1
1	Základ. deska	ČSN425310	11 375.2	11 375.0	001			01/01-1.1	1.1
1	Čelo pravé	ČSN425310	11 523.2	11 523.0	001			01/01-1.2	1.2
2	Vzpěra	ČSN425310	11 375.2	11 375.0	001			01/01-1.3	1.3
1	Čelo levé	ČSN425310	11 500	11 500	001			ZOF-01/02	2
1	Kotouč	ČSN425510	11 500	11 500	001			ZOF-01/03	3
1	Upínací trn	ČSN425510	12 050.6	12 050.0	002			ZOF-01/04	4
1	Páka	ČSN425310	11 600.5	11 600.0	001			ZOF-01/05	5
1	Vidlice	ČSN425310	11 600	11 600	001			ZOF-01/06	6
1	Čep	ČSN425510	11 600	11 600	001			ZOF-01/07	7
2	Upínací kroužek	ČSN425510	12 060.5	12 060.0	002			ZOF-01/08	8
2	Podložka	ČSN425510	11 600	11 600	001			ZOF-01/09	9
1	EH vibrátor							OP-VS-28/7	10
1	Odvalov. fréza							6.DxEfs0265	11
1	Šroub M20x110	ČSN021111							12
2	Šroub M20x64	ČSN021101							13
4	Šroub M16x80	ČSN021343							14
4	Šroub M16x62	ČSN021101							15
4	Šroub M10x55	ČSN021101							16
8	Šroub M8x26	ČSN0211 1							17
1	Matice M20x1,5	ČSN021401							18
1	Matice M24x1	ČSN021401							19
4	Matice M16x1,5	ČSN021401							20
1	Pero 7x7x112	ČSN022562							21
1	Pero 8x7x35	ČSN022562							22
3	Podložka 21	ČSN021702.11							23
8	Podložka 17	ČSN021702.11							24
4	Podložka 10,5	ČSN021702.11							25
8	Podložka 8,4	ČSN021702.11							26
2	Kroužek 20	ČSN022930							27
10	E 44.83	ČSN055027							

*Kadeřávek*

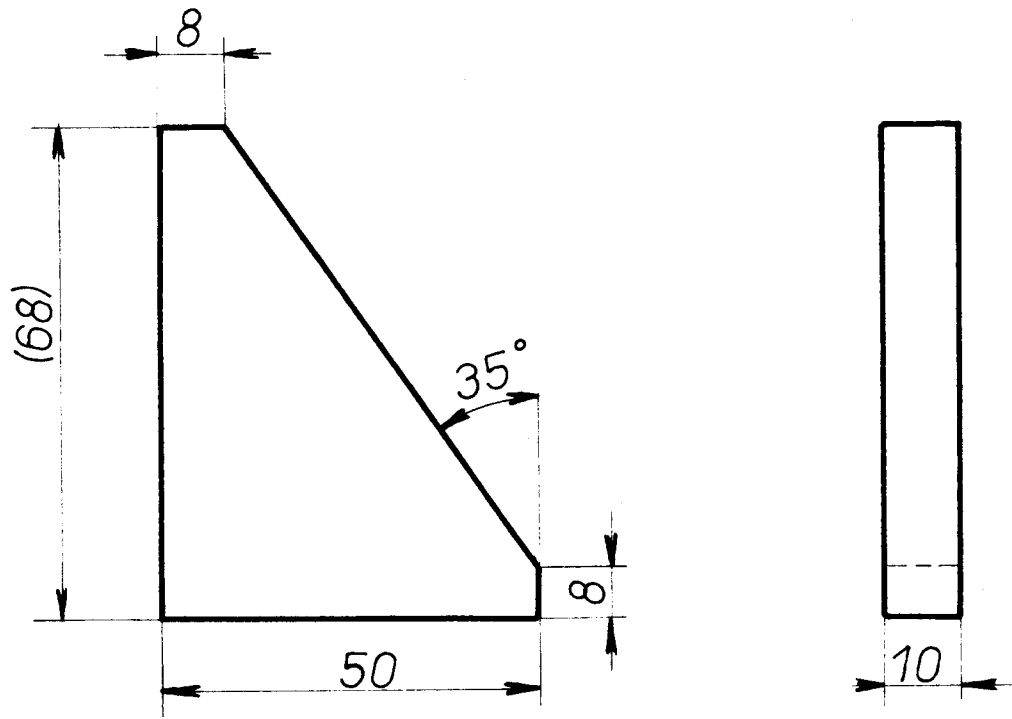
NENÍ

17.11.77

VŠST ZAŘÍZENÍ PRO FUNKČNÍ  
LIBEREC OVĚŘENÍ ODVALOVACÍ  
FRÉZY S BRÍTY ZE SK

0-516-ZOF-01 2

3,2  
✓



PO SVAŘENÍ S POS. 1.1 A 1.2 ŽÍHAT K ODSTR. VNITŘNÍHO PNUTÍ PŘI TEPLOTĚ 520-580  
2 PLECH 12x55x70 ČSN 425310 11 375.2 11 375.0 001 01/01-0.0 1.3

*Kodováno*

1:1

17.11.77

VŠST  
LIBEREC

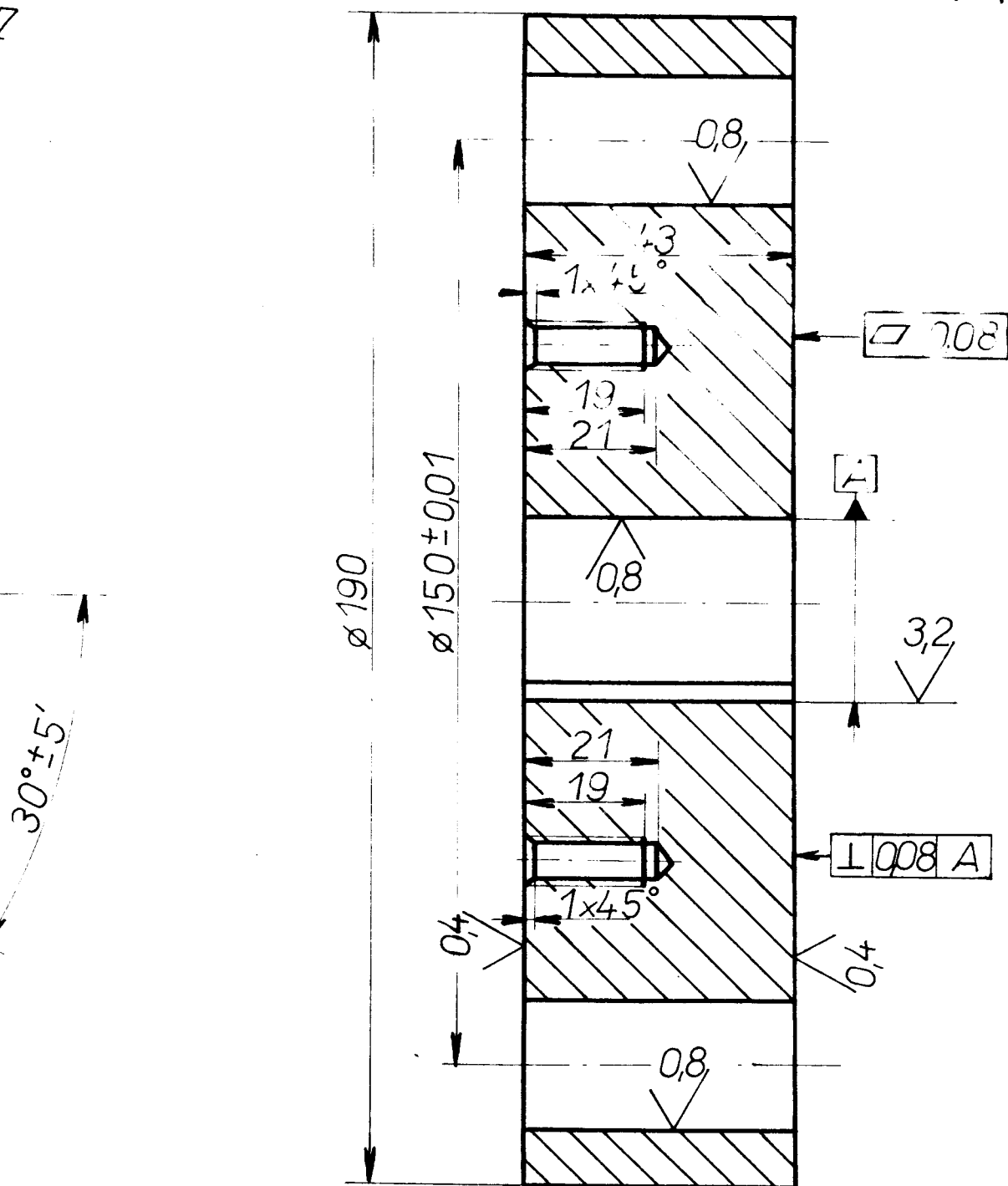
VZPĚRA

4-516-ZOF-01/01-1.3



ŘEZ A-A

1,6 (0,4, 0,8, 3,2)



OTVORY PRO ZÁVITY M8x1 VRTAT SPOLEČNĚ S POS. 8

1 Ø 200-45 ČSN 425510 11 500 11 500 001

0-516-ZOF-01 3

*Kadavský*

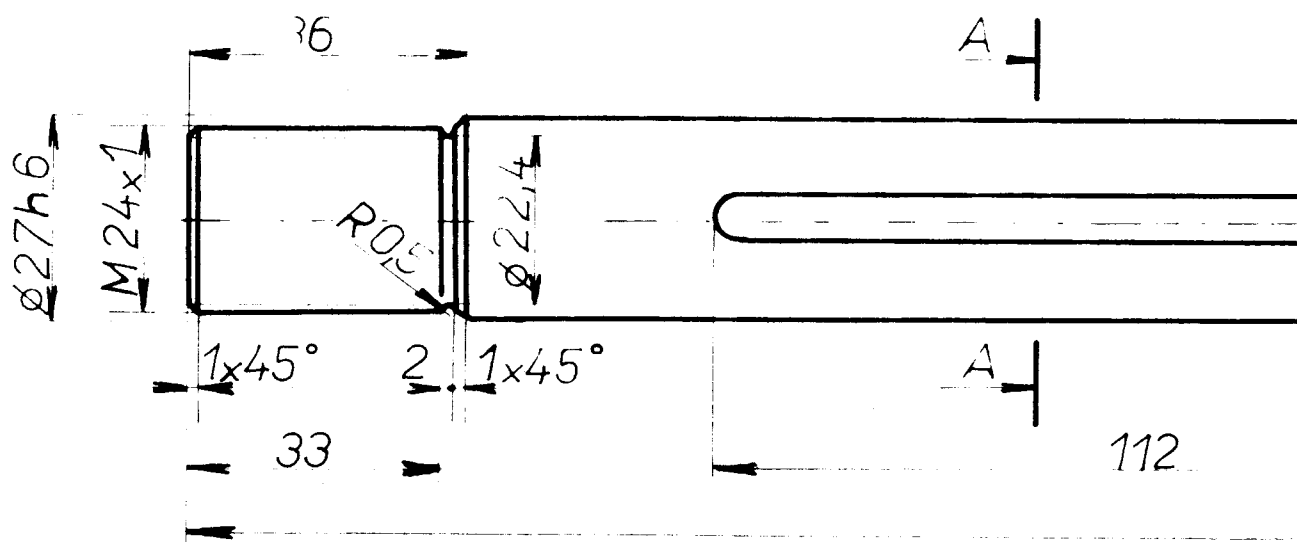
1:1

17.11.77

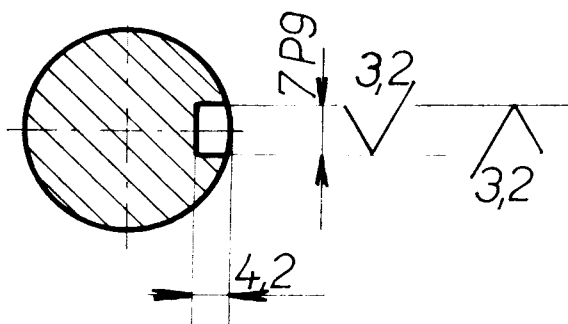
VŠST  
LIBEREC

KOTOUČ

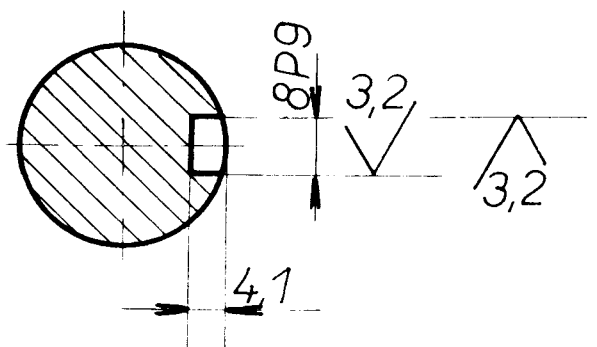
3-516-ZOF-01/03



ŘEZ A-A

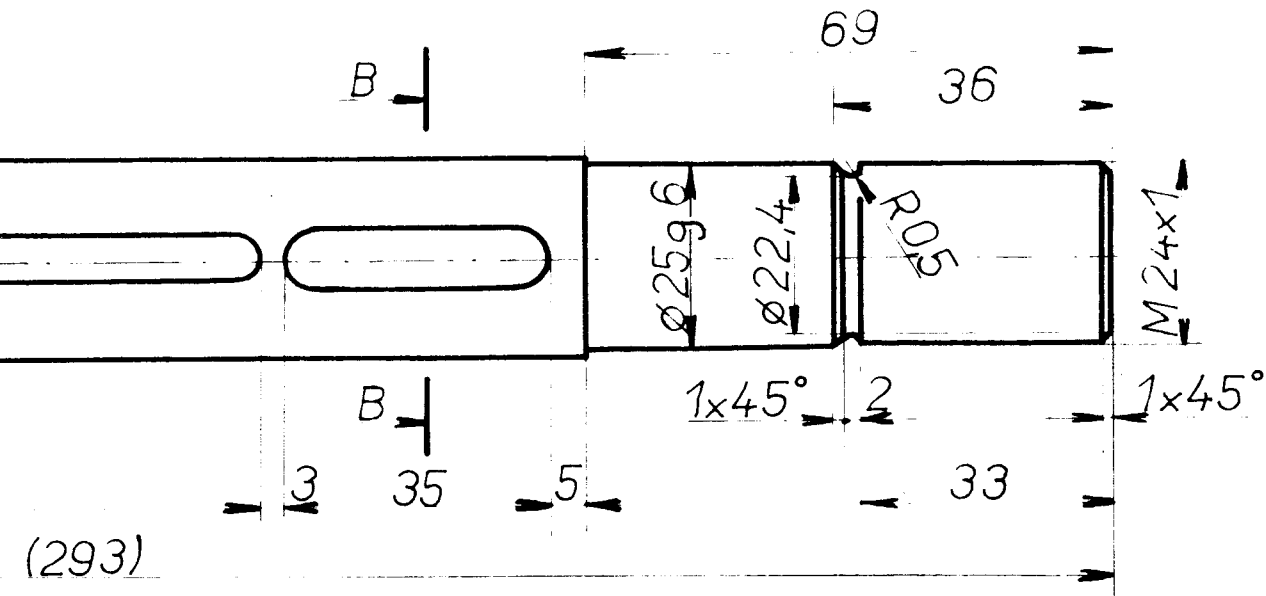


ŘEZ A-A





1,6 (3,2)  
√ (√)



(293)

ZUŠLECHTIT NA 800 MP<sub>a</sub>

1  $\varnothing$  30-300

CSN 426510 12 050.6

12 050.0

002

0-516-ZOF-01 4

*Kadeřáček*

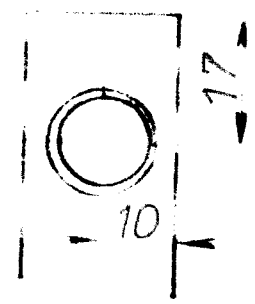
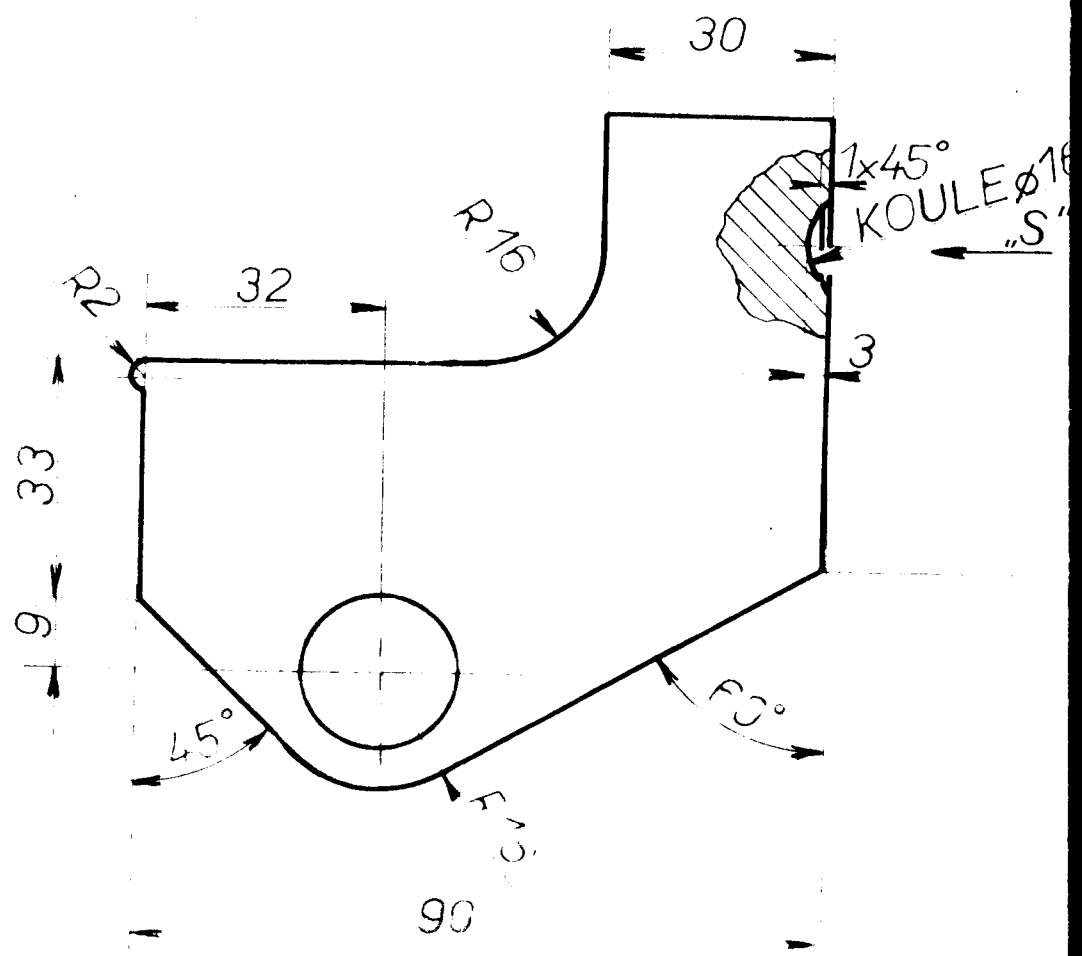
1:1

17.11.77

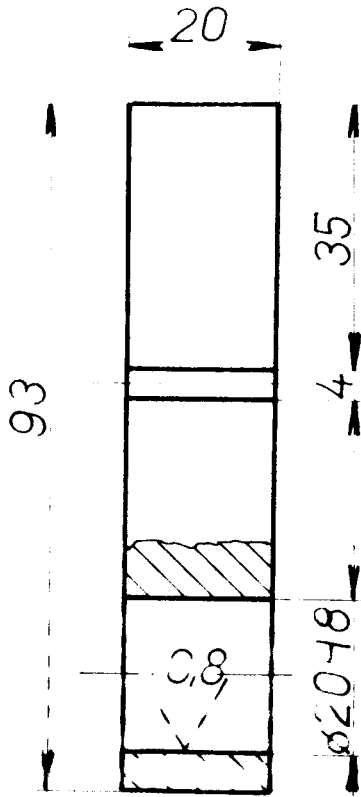
VŠST

LIBEREC UPÍNACÍ TRN

3-516-ZOF-01/04



3,2 ( 0,8 )  
√ ( √ )



POV... K... H... 0,8-1... 60 HRC...  
... 11 600,5 11 600 ... 3-516 ZOF-01 5

Kanár...

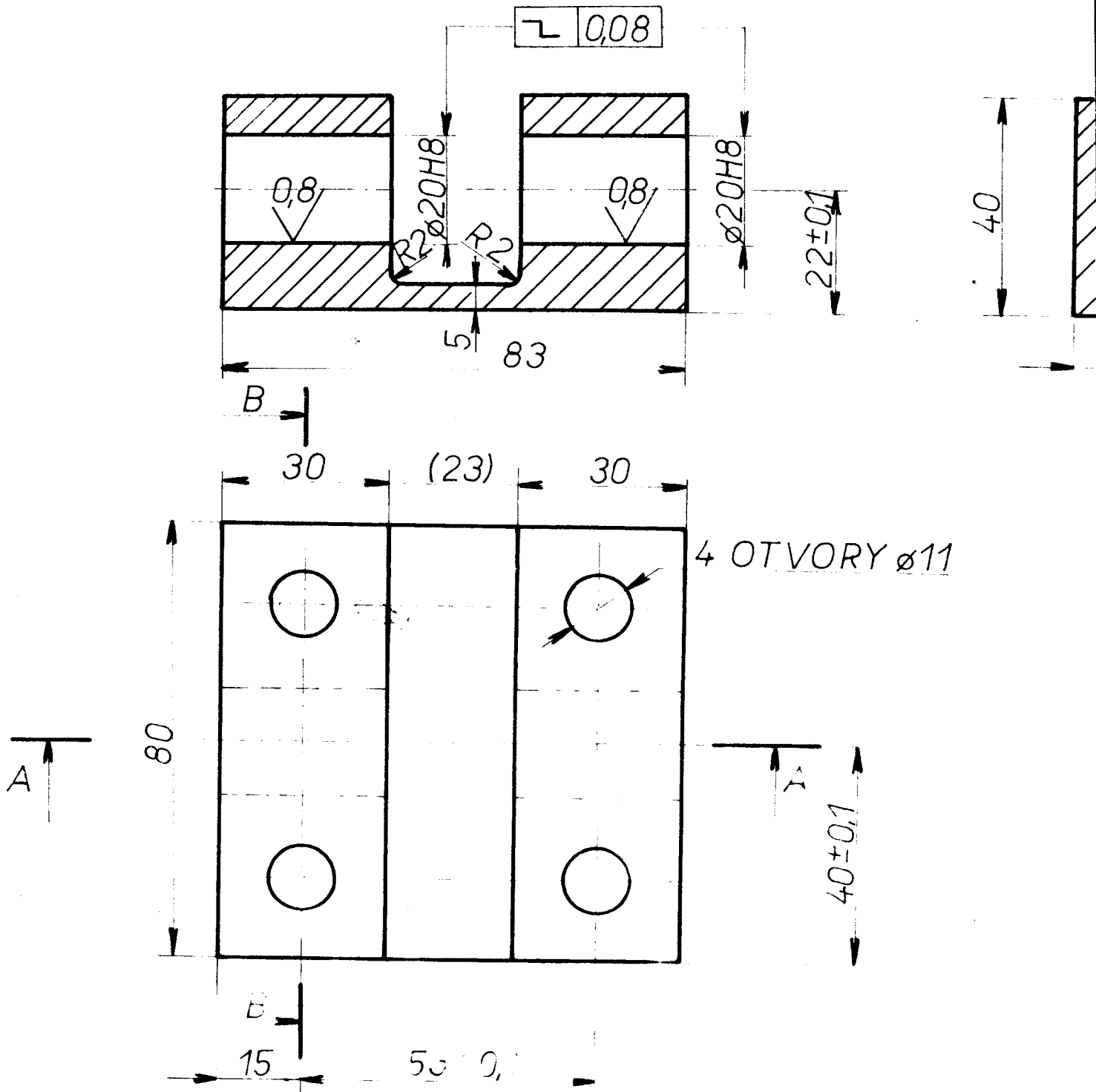
12.11.77

VŠST  
LIBEREC

PÁKA

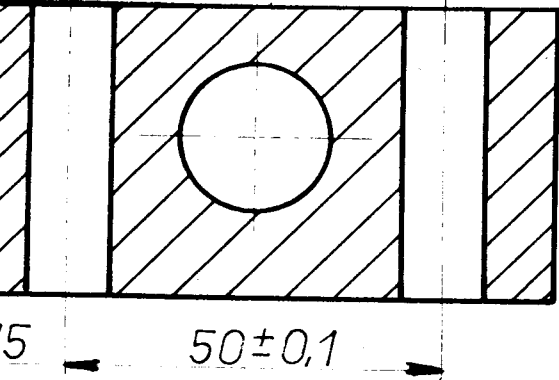
3-516-ZOF-01/05

ŘEZ A-A



3,2 / 0,8 )

ŘEZ B-B



1 F ECH 45 - 95.00 Č. N 4. 5310 11 600 11 500 001 0-516-ZOF-01 6

*Kudrna ved*

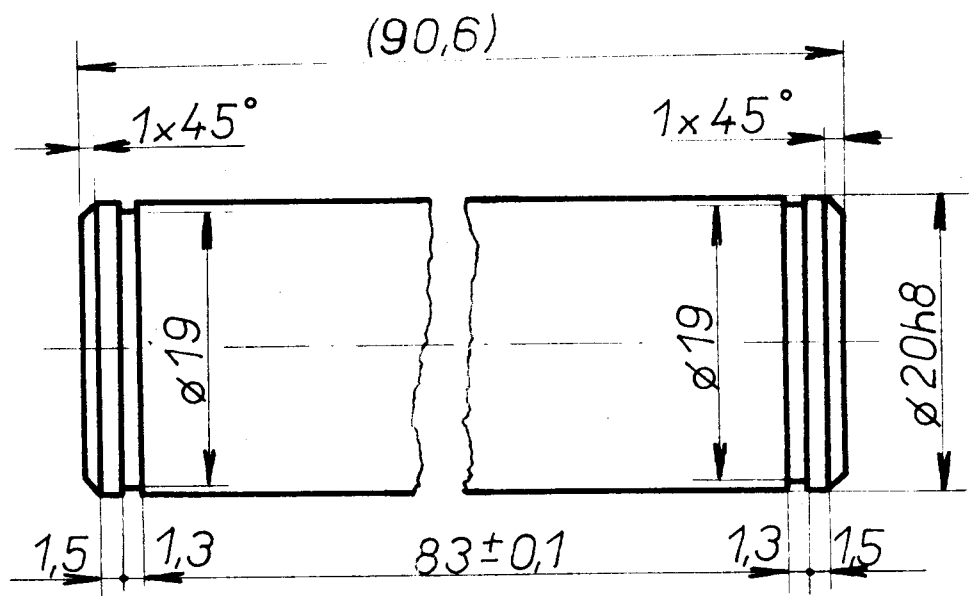
1:1

17.11.77

VŠST  
LIBEREC

VIDLICE

3-516-ZOF-01/06



1  $\varnothing 22-95$  ČSN 425510 11 500 11 600 001 0-516-ZOF-01 7

*Kaderník*

2:1

17.11.77

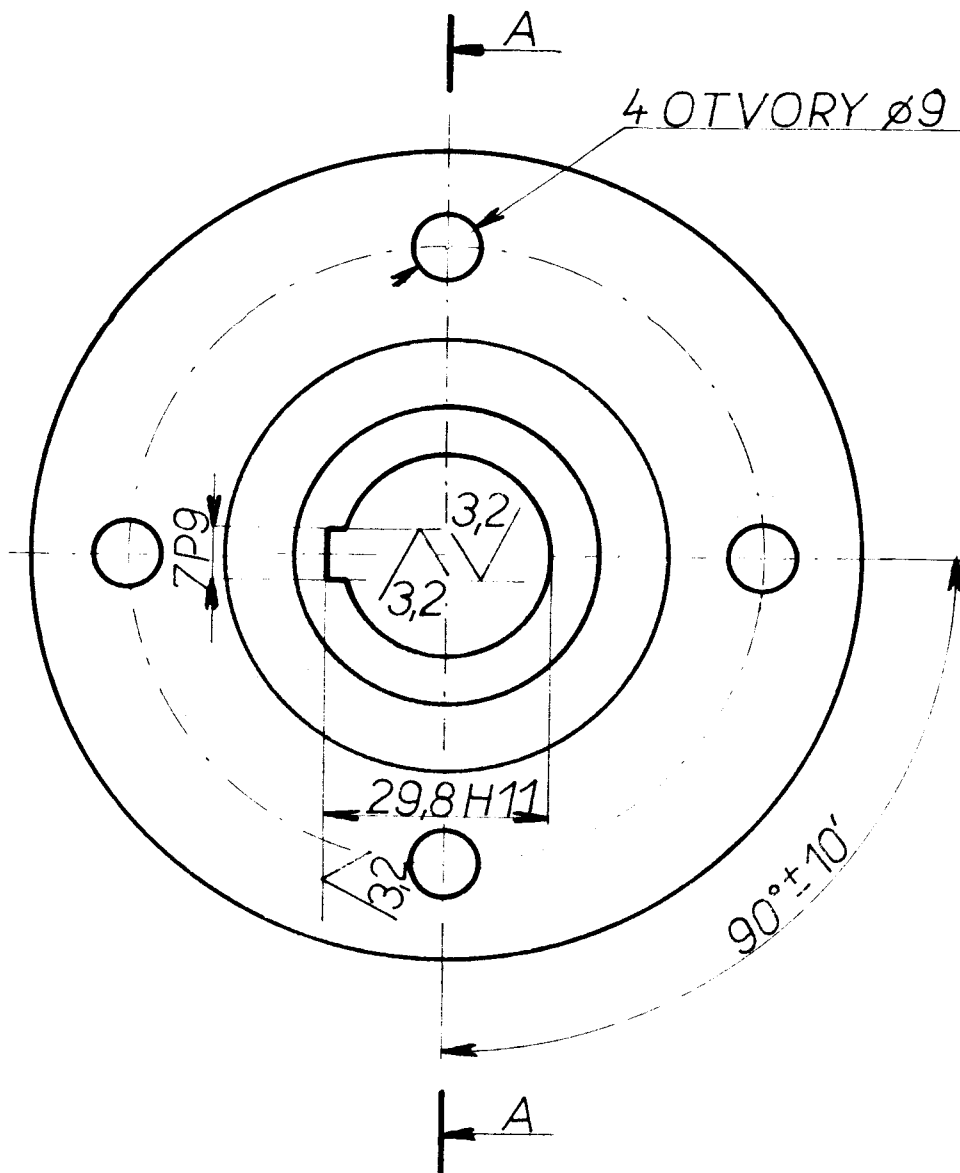
VŠST  
LIBEREC

ČEP

4-516-ZOF-01/07



1,6 / (0,8, 3,2) )  
√ (√, √)



POVRCHOVĚ KALIT DO HLoubKY 2 mm NA 60 HRC A POUŠTIT  
OTVORY Ø9 VRTAT SPOLEČNĚ S POS. 2 A S POS. 3

2 115-30 ČSN 426510 12 063.5 12 060. 002 0-516-ZOF-01 8

*Kadeřánek*

1:

17.11.77

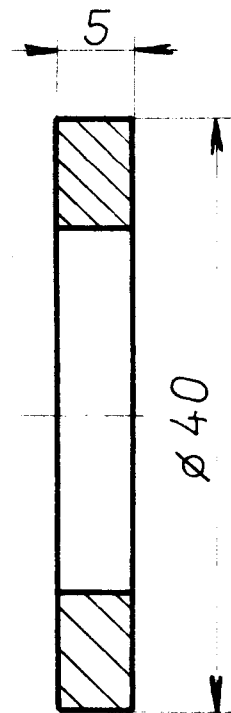
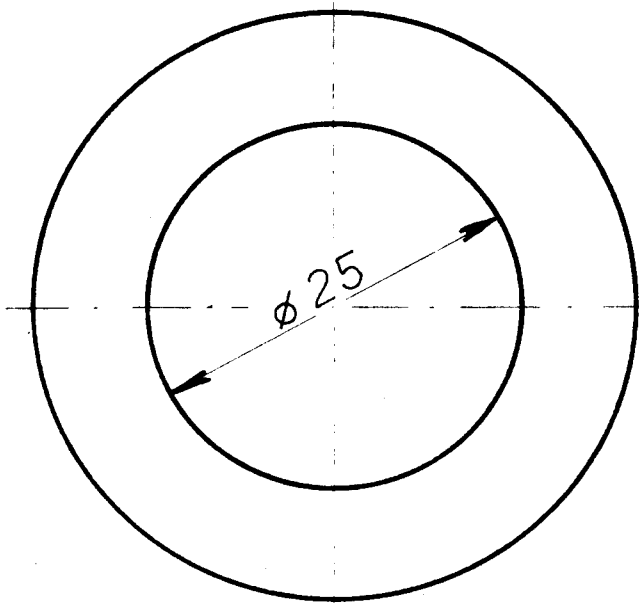
VŠST  
LIBEREC

UPÍNACÍ  
KROUŽEK

3-516-ZOF-01/08



1,6  
√



2 Ø42-10

ČSN425510 11 600

11 600 001

0-516-ZOF01 9

*Kaderiček*

2:1

17.11.77

VŠST  
LIBEREC

PODLOŽKA

4-516-ZOF-01/09