

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra obrábění a montáže

# **Vyhodnocení prototypu frézovacího nástroje pro polohrubovací operace**

Prototype Evaluation of Milling Tools for Half-roughing Operations

Student:

Bc. Driml Pavel

Vedoucí diplomové práce:

Ing. Lenka Petřkovská

Ostrava 2009

## Prohlášení studenta

Prohlašuji, že:

- jsem byl seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. - autorský zákon, zejména §35 - užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a §60 - školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB - TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že jeden výtisk diplomové práce bude uložen v Ústřední knihovně VŠB – TUO k prezenčnímu nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že údaje o diplomové práci, obsažené v Záznamu o závěrečné práci, umístěném v příloze mé diplomové práce, budou zveřejněny v informačním systému VŠB - TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB - TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu §12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo - diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB - TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB -TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě .....

.....

Pavel Driml

Adresa trvalého pobytu diplomanta :

**Pavel Driml**

**Třebařov 268**

569 33 Třebařov

### **Prohlášení studenta**

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě .....

.....

podpis studenta

## **ANOTACE DIPLOMOVÉ PRÁCE**

DRIML, P. Vyhodnocení prototypu frézovacího nástroje pro polohrubovací operace.: katedra obrábění a montáže, Fakulta strojní VŠB – Technická univerzita Ostrava, 2007. Diplomová práce, vedoucí Ing.Petřkovská,L.

Diplomová práce popisuje chování a vlastnosti prototypového frézovacího nástroje pro polohrubovací operace. Na úvod je popsána obecná charakteristika technologie frézování a přehled sortimentu polohrubovacích frézovacích nástrojů. Hlavní část se věnuje rozměrovým vlastnostem a popisu funkčních zkoušek tohoto nástroje. Dále jsou popsány řezné vlastnosti a chování při daných řezných podmínkách obrábění. Na závěr práce udává vyhodnocení a porovnání prototypu polohrubovacího nástroje.

## **ANNOTATION TO DIPLOMA THESIS**

DRIML, P. Evaluation of a prototype milling tool for semi-roughing operations.: Machining and Assembly Institute, Faculty of Mechanical Engineering, Technical University of Ostrava, 2007. Diploma thesis, supervised by Ing. Petřkovská, L.

The diploma thesis deal with behavior and properties of a prototype milling tool for semi-roughing operations. The introduction describes the general characteristics of the milling technology and an overview of the assortment of the semi-roughing milling tools. The main part focuses on the dimension features and description of the functional tests of this tool. Furthermore, it describes the cutting features and behavior at the given cutting conditions of machining. At the end, the thesis gives an evaluation and comparison of the prototype of the semi-roughing tool.

**OBSAH:**

ANOTACE DIPLOMOVÉ PRÁCE .....	1
Seznam použitých symbolů a zkratk .....	4
<b>1 Úvod .....</b>	<b>5</b>
<b>2 Obecná charakteristika technologie frézování .....</b>	<b>7</b>
2.1 Geometrie frézovacích nástrojů s VBD destičkami .....	9
2.2 Rozdělení a popis technologických operací frézování .....	11
2.3 Klasifikace obráběcích materiálů dle ISO 513 .....	12
<b>3 Přehled sortimentu polohrubovacích frézovacích nástrojů a VBD .....</b>	<b>14</b>
3.1 Inovace sortimentu – prototyp .....	16
3.2 Volba prototypu .....	17
3.3 Výroba prototypu .....	18
3.3.1 Výroba fréz .....	18
3.3.2 Výroba VBD .....	19
<b>4 Rozměrové vlastnosti prototypového frézovacího nástroje a VBD .....</b>	<b>21</b>
4.1 Měření základních rozměrů nástrojů podle výrobního výkresu .....	21
4.2 Měření základních rozměrů fréz .....	22
4.3 Měření základních rozměrů VBD .....	30
4.3.1 Vepsaná kružnice $d$ .....	30
4.3.2 Výška $s$ .....	32
<b>5 Funkční zkoušky prototypového nástroje .....</b>	<b>33</b>
5.1 Zkoušky obrábění na oceli 12 050.1 .....	35
5.1.1 Utváření třísky v místě řezu .....	37
5.1.2 Charakteristika třísky .....	40
5.1.3 Rozsah posuvů na zub $f_z$ .....	42
5.1.4 Axiální hloubka řezu $a_{p \max}$ .....	43
<b>6 Řezné vlastnosti prototypového frézovacího nástroje .....</b>	<b>45</b>
6.1 Zkoušky u zákazníků .....	45
6.1.1 Zkoušky ve firmě Vítkovice Testing Center, Ostrava .....	46
6.1.2 Zkouška ve firmě Klima, Prachatice .....	50
6.2 Zkoušky na zkušebně Pramet Tools .....	52
6.2.1 Jakost obrobené plochy .....	52
6.2.2 Odebraný objem materiálu $Q$ .....	52



7	<b>Závěrečné vyhodnocení</b> .....	55
	Použitá literatura .....	58
	Seznam příloh .....	60

## Seznam použitých symbolů a zkratek

$a$	- velikost dotahu.....	[mm]
$a_e$	- radiální hloubka řezu .....	[mm]
$a_p$	- axiální hloubka řezu.....	[mm]
$a_{p \max}$	- maximální axiální hloubka řezu .....	[mm]
$A_5$	- tažnost .....	[%]
$d$	- průměr vepsané kružnice .....	[mm]
$D$	- řezný průměr frézy.....	[mm]
$d_1$	- upínací průměr .....	[mm]
$f$	- minutový posuv .....	[mm.min <sup>-1</sup> ]
$f_z$	- posuv na zub .....	[mm]
HB	- tvrdost podle Brinella .....	[-]
HRC	- tvrdost podle Rockwella .....	[-]
HV	- tvrdost podle Vickerse .....	[-]
ISO	- mezinárodní norma .....	[-]
KV	- nárazová práce .....	[J]
$L$	- výška nástroje .....	[mm]
$n$	- otáčky.....	[min <sup>-1</sup> ]
$Q$	- objem odebraného materiálu .....	[cm <sup>3</sup> .min <sup>-1</sup> ]
$R$	- řezný poloměr frézy.....	[mm]
$R_e$	- mez pevnosti v kluzu .....	[MPa]
$R_m$	- mez pevnosti v tahu .....	[MPa]
$s$	- výška VDB .....	[mm]
VBD	- vyměnitelná břitová destička .....	[-]
$v_c$	- řezná rychlost.....	[m.min <sup>-1</sup> ]
$\gamma_0$	- úhel čela.....	[°]
$\chi_r$	- úhel nastavení .....	[°]



# 1 Úvod

Výroba slinutých karbidů ve společnosti Pramet Tools s.r.o. vychází z tradice výroby slinutého karbidu v Československu od 30. let. V roce 1951 byla zahájena v Šumperku výroba součástí ze slinutého karbidu a také zde započala výroba řezných nástrojů osazených slinutým karbidem.

Více než 50-ti letá tradice a zkušenosti ve výrobě slinutého karbidu, stejně jako reprodukovatelná kvalita materiálů a kontinuální výzkum i vývoj umožnily firmě Pramet udržet si vedoucí pozici v daném sortimentu na tuzemském teritoriu a také získávat stále vyšší uplatnění na náročných exportních trzích.

Od roku 1999 započala nová etapa společnosti Pramet Tools s.r.o. Došlo k propojení s finančně silným partnerem, který zaujímá přední světovou pozici mezi výrobci obráběcích nástrojů osazených slinutým karbidem. Byly pořízeny nové technologie pro moderní výrobu vyměnitelných břitových destiček, došlo k přestěhování obchodního oddělení a části výroby do obnovených prostor, rozšířily se výzkumné a vývojové aktivity, proběhly optimalizace informačních systémů a reorganizační změny, vzniklo nové oddělení logistiky a také došlo k posílení technického servisu a poradenství zákazníkům. V neposlední řadě byla rozšířena síť poboček – byly založeny pobočky v Polsku a Itálii. [8]

Současné rychlé tempo výroby a období, kde trh roste velice rychle musí výrobci častěji tvrdě bojovat s konkurenčními výrobci o zákazníka. Vysoká produktivita a minimalizace nákladů při výrobě obráběním si žádá velké nároky na obráběcí nástroje s vyměnitelnými břitovými destičkami ze slinutých karbidů (SK). Tyto řezné nástroje jsou v dnešní technologii obrábění společně s nároky vysokého řezného výkonu důležité a proto výroba vyžaduje rozmanitý sortiment těchto řezných nástrojů. Toto jsou hlavní důvody a proto je důležité neustále vyvíjet a inovovat. Inovace nástroje často zvedá produktivitu obrábění a při dodržování určitých požadavků jsou společně s výkonnými stroji schopny dosahovat vysoké přesnosti a kvality povrchu při neustáleném snižování času obrábění a celkové ceny výrobku.





Cílem této práce je vyhodnocení prototypu frézovacího nástroje, zjištění jeho jak rozměrových tak i řezných vlastností. Při zkušebním obrábění na etalónovém materiálu zjistit chování nástroje za určitých podmínek obrábění a podat srovnání s podobnými staršími nástroji.

## 2 Obecná charakteristika technologie frézování

Mezi velmi rozšířené metody obrábění patří zejména frézování. Jeho velkou předností je poměrně velká výkonnost při velmi dobré kvalitě obrábění. Frézování se využívá pro obrábění hranolovitých (prizmatických) rovinných, tvarových i rotačních ploch, pro obrábění drážek různých profilů i pro obráběními závitů a ozubení.

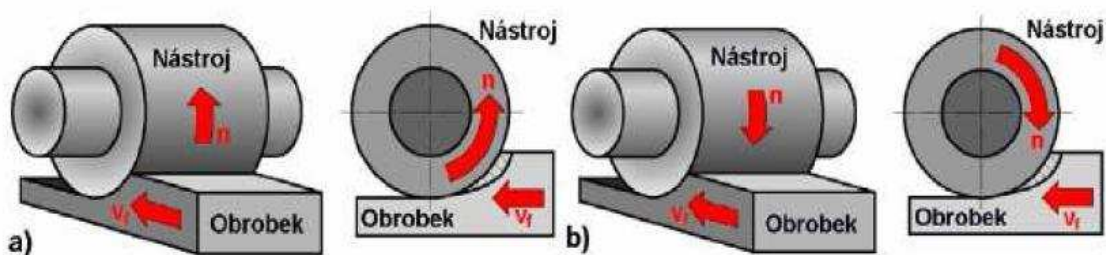
Při frézování je tříška odebrána břity rotujícího nástroje - frézou. Hlavní pohyb při frézování je rotační a vykonává ho nástroj. Vedlejší pohyb je posuv, který je obvykle přímočarý a vykonává ho obrobek. U moderních strojů jsou posuvy plynule měnitelné a mohou se realizovat ve více směrech zároveň (víceosá obráběcí centra). Režný proces je přerušovaný, protože každý zub odřezává krátké třísky většinou proměnlivé tloušťky.

Z technologického hlediska se podle polohy osy nástroje k obráběné ploše rozlišuje frézování:

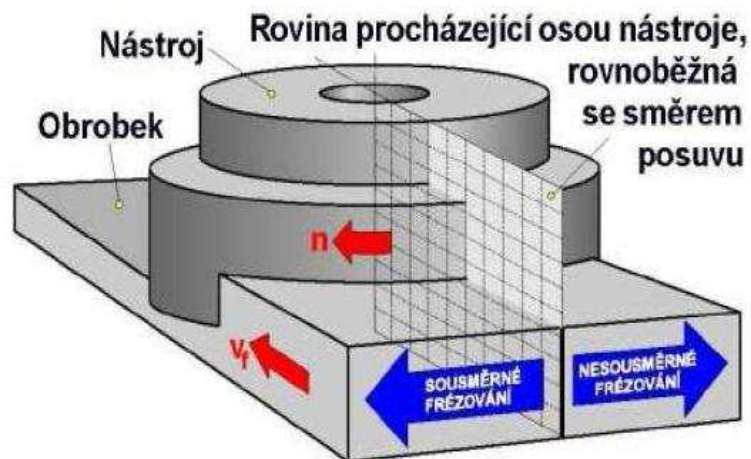
- válcové - obvodem nástroje - osa nástroje je rovnoběžná s obráběnou plochou,
- čelní - čelem nástroje - osa nástroje je kolmá na obráběnou plochu, hloubka řezu se nastavuje ve směru osy nástroje.

Existují některé další způsoby frézování, které se odvozují od těchto základních způsobů:

- okružní - obvodem rotačního nástroje - na obrobku, který je rovněž rotačního tvaru osy nástroje i obrobku jsou obvykle vzájemně skloněné a hloubka řezu se nastavuje ve směru kolmém na osu obrobku. Okružním frézováním lze obrábět vnější i vnitřní válcové plochy,
- planetové - pro obrábění vnějších i vnitřních válcových ploch.



Obr.1 Válcové frézování a) nesousledné, b) sousledné [1]



Obr.2 Čelní frézování [1]

Při válcovém frézování se využívají válcové a tvarové frézy. Zuby jsou pouze po obvodu nástroje, hloubka řezu se nastavuje v rovině kolmé na osu frézy a na směr posuvu. Obrobená plocha je rovnoběžná s osou otáčení nástroje.

V závislosti na smyslu otáčení nástroje rozlišujeme dva druhy válcového frézování:

- nesousledné,
- sousledné,

Při nesousledném (nesousměrném) frézování se ostří rotujícího nástroje v místě styku pohybuje proti směru posuvu obrobku. Obrobená plocha vzniká při vnikání nástroje do obrobku. Proměnlivá tloušťka třísky se mění od minimální („nulové“) hodnoty na hodnotu maximální. Při vnikání nástroje do materiálu z počátku břit materiál pouze stlačuje. K oddělování třísky dochází v okamžiku, kdy tloušťka odřezávané vrstvy dosáhne určité velikosti. Důvodem je skutečnost, že ostří frézy nemůže být ostrá hrana, ale ploška o poloměru cca  $R = 8$  až  $30 \mu\text{m}$ . Silové účinky a deformace, vznikající při nesousledném frézování, způsobují zvýšené opotřebení břitu.

Výhody nesousledného frézování u klasického neboli konvenčního třískového obrábění:

- menší opotřebení stroje (šroubu a matice),
- počáteční záběr zubů nezávisí na hloubce řezu,
- na trvanlivost nástroje nemá až tak významný vliv povrch obrobku.



Nevýhody nesousledného frézování:

- zhoršená jakost obrobené plochy,
- směr síly frézování s ohledem na upnutí.

Smysl rotace nástroje je při sousledném (sousměrném) frézování takový, že ostří se v místě styku pohybuje ve směru posuvu obrobku. Tloušťka třísky se mění z maximální hodnoty do minimální („nulové“). K tomu, abychom mohli na stroji provádět sousledné frézování, musí být konvenční neboli klasická frézka přizpůsobena tak, že se vymezí vůle a předpětí mezi posunovým šroubem a maticí stolu. Pokud není tato podmínka splněna, může dojít k poškození nástroje a dokonce i stroje.

Výhody sousledného frézování:

- vyšší trvanlivost nástrojů,
- použití vyšších řezných rychlostí a posuvů,
- potřebný nižší řezný výkon pro obrábění,
- jednodušší upínání (síla řezání přitlačuje obrobek ke stolu),
- menší sklon ke kmitání,
- obrobená plocha dosahuje vyšší jakost.

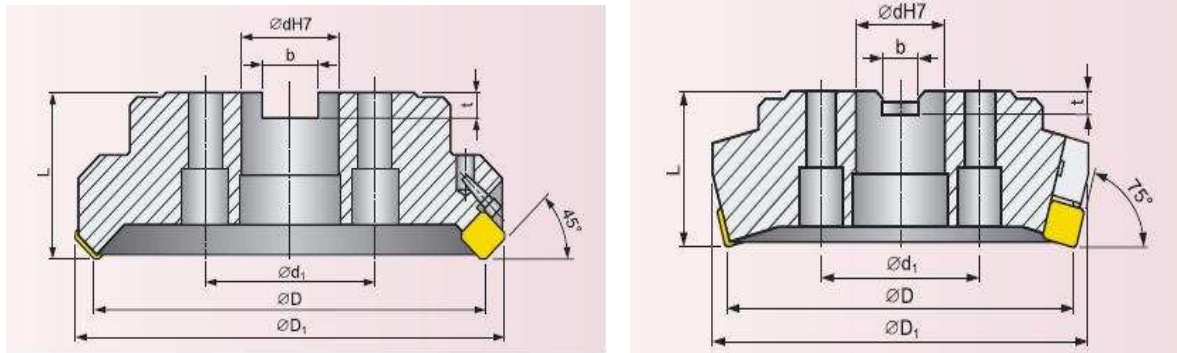
Nevýhody sousledného frézování:

- nevhodné při obrábění polotovarů s tvrdým a znečištěným povrchem,
- silová zátěž každého zubu při záběru.[1, 12]

## 2.1 Geometrie frézovacích nástrojů s VBD destičkami

Geometrie a velikost nástrojových úhlů frézovacích nástrojů má vliv na tvořící se třísky při odvodu z místa řezu, ovlivňuje chvění celého systému stroj – nástroj – obrobek a má vliv na velikosti složek řezných sil. Při správném zvolení geometrie lze dosahovat velké kvality jak obrobeného povrchu, tak i ovlivnění trvanlivosti nástroje osazeným VBD.

**Úhel nastavení  $\chi_r$**  - je úhel mezi ostřím destičky a rovinou kolmou na osu otáčení frézy



Obr.3 Úhel nastavení  $\chi_r$  (vlevo- 45°; vpravo-75°) [3]

**Geometrie nástroje podle úhlu čela  $\gamma_0$ :**

**Negativní geometrie:**

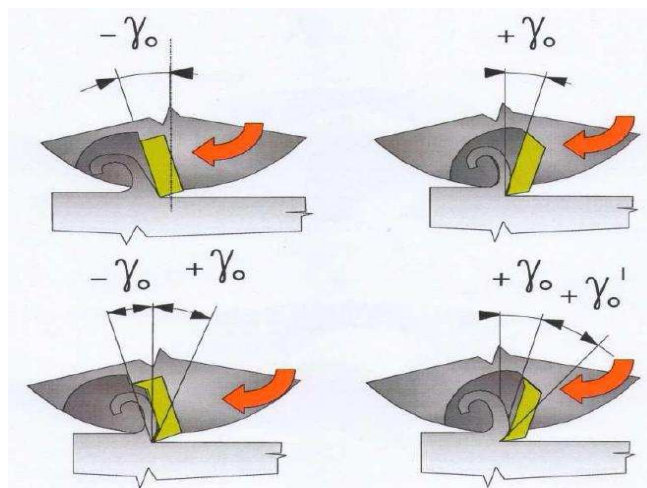
- je vhodná pro frézování litin, ocelí a těžkoobrobitelných materiálů při větším zatížení.

**Pozitivní geometrie:**

- obrábění litinových a ocelových součástek se náchylností ke chvění a pro obrábění slitin hliníku a legovaných ocelí kde se snadno vytváří na čele nástroje nárůstky.

**Pozitivně negativní geometrie:**

- pro frézování korozivzdorných ocelí, litiny mědi a jejich slitin, kde v kombinaci s vhodným úhlem nastavení dochází k plynulému odvodu šroubovitých třísek.



Obr.4 Geometrie nástroje s VBD

(nahore vlevo- negativní; vpravo- pozitivní; dole- kombinace negativně pozitivní) [10]

## 2.2 Rozdělení a popis technologických operací frézování

**Těžké frézování (hrubování)** – Toto frézování pracuje při podmínkách vícenásobného přerušovaného řezu během jedné otáčky nástroje při a za nepříznivých záběrových podmínkách. Hrubá povrchová kůra odlitků s povrchovými vadami, nerovná hrubá kůra výkovků a nerovný povrch výpalku. Nerovnoměrná hloubka řezu  $a_p = 3 \div 10$  mm.



Obr. 5 Hrubovací fréza [3]

**Střední frézování (polohrubování)** – Při obrábění dochází k jednomu až dvou přerušování řezu během jedné otáčky nástroje. Záběrové podmínky nelze volit zcela optimální. Povrch polotovaru obrobku - kůra válcovaného materiálu, licí a kovací kůra s menšími povrchovými vadami. Rozsah hloubky řezu  $a_p = 2 \div 4$  mm.



Obr. 6 Polorubovací fréza [3]

**Lehké frézování (dokončování)** – Maximálně jedno přerušení během otáčky, příznivé záběrové podmínky, předobrobený povrch polotovaru obrobku, nebo povrch výkovků a vývalků bez větších defektů a nerovností. Rozmezí hloubky řezu  $a_p < 2 \text{ mm}$ . [3]



*Obr. 7 Dokončovací fréza [3]*

### 2.3 Klasifikace obráběcích materiálů dle ISO 513

Tato norma stanovuje klasifikaci tvrdých řezných materiálů včetně tvrdokovů (karbidů), keramiky, diamantu a nitridu bóru pro obrábění a určuje jejich používání. Existuje šest skupin použití rozdělených podle různých obráběných materiálů. Rozlišují se velkým písmenem a identifikační barvou. Každá skupina použití se dále dělí na podskupiny použití. Podskupiny použití jsou označeny písmenem skupiny a číslem klasifikace podle relativní odolnosti řezných materiálů proti opotřebení a stupně houževnatosti. [2]

Při volbě nástroje a startovních řezných podmínek je jednou z nejdůležitějších věcí správná identifikace obráběného materiálu. Pro zjednodušení rozdělujeme obráběné materiály v souladu s normou ISO 513 do šesti základních skupin v nichž jsou sdružovány materiály, které vyvolávají kvalitativně stejný typ zatížení (namáhání) břitu a tudíž vyvolávají i podobný typ opotřebení. Proto prvním krokem je zařazení materiálu obrobku do jedné ze skupin - viz následující řazení.



**Skupina P :**

- uhlíkové (nelegované) oceli třídy 10, 11, 12,
- legované oceli tříd 13, 14, 15, 16,
- nástrojové oceli uhlíkové (191..., 192..., 193...),
- nástrojové legované oceli (193... až 198...),
- uhlíková ocelolitina skupiny 26 (4226...),
- nízko a středně legované ocelolitiny skupiny 27 (4227...),
- feritické a martenzitické korozivzdorné oceli (třídy 17., lité 4229).

**Skupina K:**

- šedá litina nelegovaná i legovaná (4224...),
- tvárná litina (4223...),
- temperovaná litina (4225...).

**Skupina M:**

- austenitické a feriticko austenitické oceli,
- korozivzdorné, žáruvzdorné a žárovevné,
- oceli nemagnetické a ořeruvzdorné.

**Skupina N:**

- neželezné kovy, slitiny Al a Cu.

**Skupina S:**

- speciální žárovevné slitiny na bázi Ni, Co, Fe a Ti.

**Skupina H:**

- zušlechtěné oceli s pevností nad 1500 MPa,
- kalené oceli HRC 48 ÷ 60,
- tvrzené kokilové litiny HSh 55 ÷ 58 [3].



### 3 Přehled sortimentu polohrubovacích frézovacích nástrojů a VBD

Firma Pramet Tools s.r.o., Šumperk má ve své nabídce veliký sortiment frézovacích nástrojů a k těmto nástrojům samozřejmě i velký výběr vyměnitelných břitových destiček („VBD“). Tato škála sortimentu výrobků je periodicky prezentována v jednotlivých katalozích. Sortiment frézovacích nástrojů a VBD je uveden v Katalogu frézování, který je členěn podle jednotlivých skupin nástrojů na : [3]

- rovinné frézy,
- stopkové frézy,
- kopírovací frézy (M&D),
- válcové frézy,
- kotoučové frézy,
- VBD.

Rovinné frézování je podle sortimentu v katalogu frézování rozdělen na:

- a) frézy do rohu (úhel nastavení  $\gamma_f = 90^\circ$ ),
- b) čelní frézy velmi pozitivní (úhel nastavení  $\gamma_f = 45^\circ$ ),
- c) čelní frézy negativně pozitivní (úhel nastavení  $\gamma_f = 45^\circ$ ),
- d) čelní frézy (úhel nastavení  $\gamma_f = 45^\circ, 75^\circ$ ),
- e) čelní frézy pozitivní (úhel nastavení  $\gamma_f = 75^\circ$ ),
- f) čelní frézy negativní (úhel nastavení  $\gamma_f = 75^\circ$ ),
- g) čelní frézy pro těžké hrubování (úhel nastavení  $\gamma_f = 60^\circ, 90^\circ$ ),
- h) hrubovací frézy do rohu (úhel nastavení  $\gamma_f = 90^\circ$ ).

Nástroje řazené do skupiny polohrubovacích nástrojů jsou uvedeny v tab.1.

Tab.1 Sortiment polohrubovacích frézovacích nástrojů Pramet

Označení frézy (ISO)	úhel $\gamma_f$ (°)	$a_{p \max}$ (mm)	typ VBD (ISO)	Vyobrazení
<b>W45SE15F</b>	45°	9,0 mm	SEER 1504AFSN SEER 1504AFEN SEEN 1504AFSN	
<b>W45SE123F</b>	45°	6,5 mm	SEER 1203AFEN SEER 1203AFSN SEEN 1203AFFN SEEN 1203AFSN	
<b>S45SE12F</b>	45°	6,5 mm	SEET 1204AFEN SEET 1204AFSN SEET 1204AFFN-FA SEEW 1204AFEN SEEW 1204AFSN	
<b>S45OD05</b>	45°	7,3 mm	ODMT 0504ZZN	
<b>S45OD06</b>	45°	8,6 mm	ODEW 0605ZZN ODMT 0605ZZN RPEW 1505MOS RPET 1505MOS-M ODMX 0605ZZ	

Pokračování Tab.1. Sortiment polohrubovacích frézovacích nástrojů Pramet

Označení frézy (ISO)	úhel $\gamma$ ( $^{\circ}$ )	$a_{p \max}$ (mm)	typ VBD (ISO)	Vyobrazení
<b>S45SE09F</b>	45 $^{\circ}$	4,5 mm	SEMT 09T3AFSN	
<b>W75SP15D</b>	75 $^{\circ}$	13,0 mm	SPGN 150408 SPKN 1504EDER SPKN 1504EDSR SPKR 1504EDSR SPUN 150412 SPKX 1504EDFR	
<b>F60SB22X</b>	60 $^{\circ}$	15,0 mm	SBMR 2207DZSR	

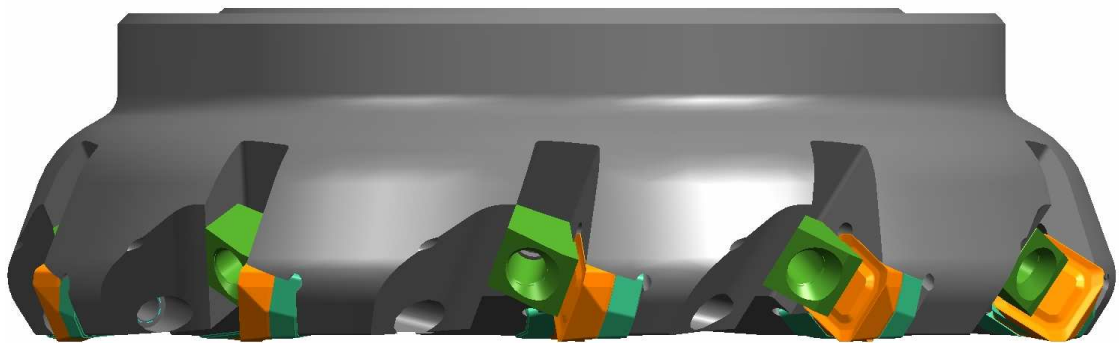
### 3.1 Inovace sortimentu – prototyp

Současná nabídka polohrubovacích frézovacích nástrojů firmy Pramet Tools s.r.o. nabízí zákazníkům velký výběr fréz pro polohrubovací operace frézování. Protože požadavky na produktivní obrábění jdou stále kupředu je nutné tento sortiment postupně nahradit nástroji, které by vyhovovali moderním požadavkům obrábění a nahradit tak starší málo výkonné frézovací nástroje.

V současnosti je cílem nahradit některé nástroje ze sortimentu fréz tab.1 jedním typem frézy, aby pokrýval svými parametry zastaralé typy nástrojů.

### 3.2 Volba prototypu

Navržená konstrukce prototypu nástroje vychází z detailního rozboru technických řešení starších nástrojů uvedených v předchozí kapitole 3.1 tab.1. Prototyp navrhovaného frézovacího nástroje z hlediska ekonomické výroby, nahrazení části sortimentu, a který by splňoval všechny konstrukční požadavky, vedl výběr k určení jednoho návrhového řešení, kde jsou v dalších kapitolách popsány jeho vlastnosti.



Obr.8 Model prototypového řešení frézy

Tab.2 Technické parametry nového řešení prototypu frézy

Parametr	Velikost
Úhel nastavení $\gamma$ (°)	60
Typ VBD (ISO)	SNMR 17
Maximální axiální hloubka řezu $a_{p \max}$ (mm)	10
Průměr frézy $D$ (mm)	200
Počet zubů $z$ na daném průměru (-)	10
Axiální úhel frézy (°)	+ 13
Radiální úhel frézy (°)	- 14
Druh upnutí (-)	klínem

Pro VBD osazenou v prototypové fréze byly použity aplikační oblasti podle požadavků na funkčnost zvýšení produktivity práce a náhradu za současný sortiment.

Tab.3 Technické parametry nového řešení VBD

Označení VBD (ISO)	Rozsah posuvu na zub $f_z$ (mm)	Poznámka
SNMR 1706DZSR-M	0,2 ÷ 0,4	pro polohrubovací operace

### 3.3 Výroba prototypu

#### 3.3.1 Výroba fréz

Výroba nástroje proběhla podle výrobní výkresové dokumentace pro výrobu prototypů frézy (průměru  $D = 160$  mm) a je uvedena v příloze č. 1. Dle zkušeností pro výrobu tělesa nástroje bylo důležité zvolit materiál, který musí odolávat tepelnému ovlivnění v průběhu obrábění, musí zajistit rozměrovou stálost a musí být dostatečně houževnatý a tvrdý, aby zajistil dostatečnou odolnost proti otěru při odcházení vytvořené třísky. Materiál který byl vybrán pro výrobu prototypu fréz je ocel 16 343. Chemické a mechanické vlastnosti tohoto materiálu jsou uvedeny v následujících tabulkách .

Tab. 4 Mechanické vlastnosti oceli 16 343

Název	Velikost
Mez pevnosti v tahu $R_m$ (MPa)	1100 až 1300
Minimální mez kluzu $R_e$ (MPa)	900
Minimální tažnost $A_5$ (%)	10
Minimální nárazová práce $KV$ (J)	64

Tab. 5 Chemické složení oceli 16 343

Chemické složení (%)							
C	Mn	Si	P max	S max	Cr	Ni	Mo
0,32	0,50	0,15	0,035	0,035	1,30	1,30	0,20
až	až	až			až	až	až
0,40	0,80	0,40			1,70	1,70	0,30



Ocel 16 343 je ocel typu Cr-Ni-Mo, kterou lze zušlechtit na vyšší pevnost. Je určena pro použití za vyšších teplot (je žárupevná). Ocel 16 343 je vhodná pro velmi náročné konstrukční prvky a díly, případně i pro práci při snížených teplotách do  $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Její oblast použití je velmi široká. Lze ji použít pro výrobu kompresorových a turbinových kol, kloubových hřídelí, unášeců trakčních motorů, ozubených kol apod. Svařitelnost této oceli je obtížná. [9]

Pro výrobu prototypů byla z dosavadních zkušeností stanovena výroba frézovacích nástrojů ve dvou rozměrových řadách:

- a) prototypová fréza o průměru  $D = 160\text{ mm}$  v počtu 3 kusů,
- b) prototypová fréza o průměru  $D = 200\text{ mm}$  v počtu 3 kusů.

Pro tuto práci byla z časových důvodů vybrána prototypová frézovací hlava o průměru  $D = 160\text{ mm}$ .

### 3.3.2 Výroba VBD

Pro volbu materiálů – slinutých karbidů, která závisí na použití různých druhů obráběných materiálů lze vyrobit podle stávající nabídky sortimentu řezných materiálů firmy Pramet Tools s.r.o. a to jak s povlaky na bázi PVD s označením (8016, 8230, 8240 a 8026T), tak i s povlaky na bázi MT – CVD s označením (2215, 2230, 5026). Výkresová dokumentace pro výrobu prototypů VBD typu SNMR 1706DZSR-M je uvedena v příloze č. 2.

Jelikož je nástroj určen pro aplikaci polohrubovacího frézování, je pro výrobu vyměnitelných břitových destiček použit materiál povlakovaný metodou PVD a to:

- a) frézovací materiál 8016,
- b) frézovací materiál 8026T,
- c) frézovací materiál 8230,
- d) frézovací materiál 8240.



Zkušenosti s výrobou prototypů VBD rozhodly, aby byla stanovena výroba v následujících materiálových řadách a geometriích:

- a) z materiálu 8026T s utvařečem M; tj. SNMR 1706DZSR-M; 8026T,
- b) z materiálu 8230 s utvařečem M; tj. SNMR 1706DZSR-M; 8230.

Pro tuto práci byla vybrán prototyp VBD z materiálu 8230 s utvařečem M; tj. SNMR 1706DZSR-M; 8230 a osazen prototypový nástroj F60SN17X o průměru  $D = 160\text{mm}$ .

Výroba materiálové řady a geometrie byla provedena v minimálních výrobních dávkách. V tomto případě v minimálním počtu 30 až 50 kusů VBD. Podle složitosti prototypů VBD bývá počet navýšen na 100 až 200 kusů, podle toho zda-li je u prototypů bráno na zřetel jejich následná úprava geometrie nebo tvaru a rozměrů utvařeče třísek na čele VBD.

## 4 Rozměrové vlastnosti prototypového frézovacího nástroje a VBD

### 4.1 Měření základních rozměrů nástrojů podle výrobního výkresu

Po výrobě nástroje je nutné změřeni základních rozměrů podle výrobního výkresu, aby bylo možno zjistit reálné hodnoty a hodnoty určené výkresovou dokumentací. Výkres i se základními rozměry je uveden v příloze č.1.

Prototypový frézovací nástroj byl proměřen etalonovou vyměnitelnou břitovou destičkou s označením SNMR 1706DZSR-M; 8230. Tato destička má svoji charakteristickou rozměrovou vlastnost udanou na střed tolerančního pole základních rozměrových parametrů velikostí vepsané kružnice, výška.



Obr. 9 Prototypová fréza řady F60SN17X (průměr  $D = 160$  mm)





Obr. 10 Etalonová destička typu SNMR 1706DZSR-M; 8230

## 4.2 Měření základních rozměrů fréz

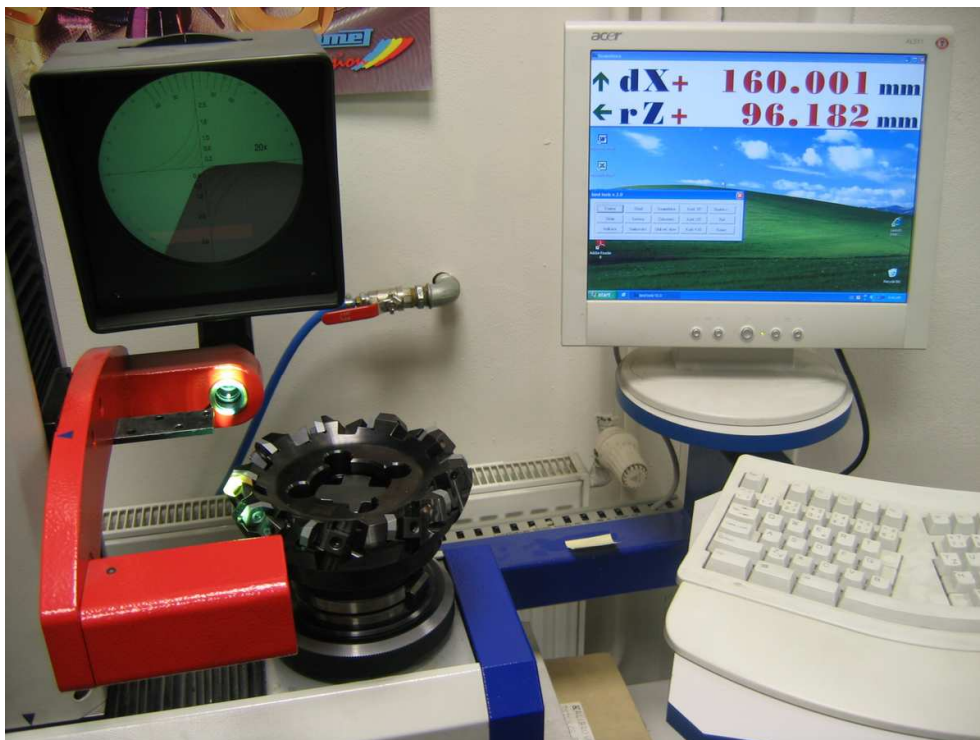
Proměření základních rozměrů fréz bylo provedeno na prototypových frézách s jmenovitým průměrem  $D = 160$  mm s typovým označením 160C10R-F60SN17X. Pro porovnání byly proměřeny 3 kusy tohoto prototypu.

### Základní měřené parametry prototypových fréz:

1. řezný průměr  $D$  (mm),
2. výška nástroje  $L$  (mm),
3. upínací průměr  $d_1$  (mm),
4. dotah  $a$  (mm),
5. tvrdost podle Rockwella (HRC),

## 1. Řezný průměr $D$ :

Měření řezného průměru bylo provedeno na vertikálním seřizovacím přístroji BMD 465v, který používá software BMD TOOLS V2.0. Přístroj pracuje na principu optického zobrazování - projektoru. Hlavní částí přístroje je matnice projektoru průměr 150 mm se zvětšením 20x. Zobrazovací jednotkou naměřených hodnot je zde LCD monitor připojený k počítačové stanici a ke kamerám které vizuálně snímají nástroj a jeho vyhodnocení s pomocí softwaru. Jednoduché nastavování souřadnic se provádí pomocí polohovacích koleček. Přístroj je vybaven kalibračním trnem pro nastavení a kontrolu počátku souřadnic přístroje, dále je vybaven adaptérem pro použití různých druhů upínacích kuželů a vakuového upínacího systému.[2] Základní parametry vertikálního seřizovacího přístroje BMD 465v jsou uvedeny v tab. 6.



Obr. 11 Vertikální seřizovací přístroj BDM 465v

Tab.6 Technické parametry přístroje BMD 465v

Název parametru	Hodnota
Házivost ve vřeteníku	max. 3 $\mu\text{m}$
Házivost na kontrolním trnu L / 300 mm	max. 10 $\mu\text{m}$
Rovnoběžnost trnu k ose Z	max. 7 $\mu\text{m}$
Kolmost osy X k ose Z	max. 15 $\mu\text{m}$
Délková odchylka v ose X (100 mm)	max. 10 $\mu\text{m}$
Délková odchylka v ose Z (400 mm)	max. 10 $\mu\text{m}$
Příslušenství	počítačová stanice, lcd monitor
Upínání	vakuový upínací systém vřetene

Řezné průměry  $D$  na všech prototypových frézách byly proměřeny s použitím etalonové destičky na vertikálním seřizovacím přístroji (obr. 11). Následující tabulka udává naměřené odchylky .

Tab. 7 Naměřené hodnoty řezného průměru  $D$  pro frézy  $D = 160 \text{ mm}$ 

Název parametru	Požadovaný rozměr $D(\text{mm})$	Fréza č.1	Fréza č.2	Fréza č.3
Řezný průměr $D(\text{mm})$	$160 \pm 0,500$ (159,500 až 160,500)	160,213	160,101	160,145

Naměřené hodnoty u prototypových nástrojů v porovnání s výkresovou dokumentací vyhovují povoleným tolerancím.

## 2.Výška nástroje $L$ :

Měření výšky nástroje je provedeno pomocí výškoměru DIGIMAR CX1 s měřící deskou a ovládaným mikropočítačem DX1. Měřená součást je položena na měřící desku, kde přiložením měřícího dotyku výškoměru přístroj sejme naměřenou hodnotu vzdálenosti z měřené součásti. Přístrojový ovládací přístroj je schopen vyhodnotit zpracovaná data a uchovávat ve své paměti například jako histogramy nebo regulační

diagramy. Takto lze rychle a snadno kontrolovat složité geometrie a série obrobků .[4]  
Základní technické parametry jsou uvedeny v tab.8.



Obr. 12. Výškoměr DIGIMAR CX /DX1

Tab. 8. Technické parametry výškoměru DIGIMAR CX1/DX1

Název parametru	Hodnota
Měřicí rozsah	600 mm
Nejistota měření U95 (20°C; deska GK0)	$(2+L/400) \mu\text{m}$ (L v mm)
Odchylka pravoúhlosti	frontálně: $< 8 \mu\text{m}$
Opakovatelnost $\pm 2 \sigma$	na ploše: $0,5 \mu\text{m}$ v otvoru: $1,0 \mu\text{m}$
Měřicí síla (standardní snímač)	$1 \text{ N} \pm 0,2 \text{ N}$
Rychlosti snímání	$(5, 8, 10, 12, 15, 30) \text{ mm}\cdot\text{s}^{-1}$
Pracovní teplota	$20^\circ\text{C} \pm 1^\circ\text{C}$
Provozní teplota	$10^\circ\text{C}$ až $40^\circ\text{C}$
Přípustná relativní vlhkost	max. 65% (nekondenzující)



Obr.13 Měření výšky nástroje  $L$  ( vlevo – měřící dotyk; vpravo – naměřená hodnota)

Výšky nástrojů  $L$  byly změřeny na měřícím výškoměru DIGIMAG CX1/DX1 obr.13. Výsledně naměřené hodnoty jsou zobrazeny v tabulce 9.

Tab. 9. Naměřené hodnoty výšky nástroje  $L$  pro frézy  $D = 160$  mm

Název parametru	Požadovaný rozměr $L$ (mm)	Fréza č.1	Fréza č.2	Fréza č.3
Výška nástroje $L$ (mm)	$63 \pm 0,150$ (62,850 až 63,150)	63,133	63,140	63,121

Naměřené hodnoty u všech prototypových fréz jsou v souladu s výkresovou dokumentací a povolenými tolerancemi.

### 3. Upínací průměr $d_1$ :

Upínací průměr byl měřen pomocí tříbodového dutinoměru MITUTOYO, který se dotýká stěn měřeného průměru ve třech bodech vzájemně uspořádaných pod úhlem  $120^\circ$ . Při měření je dutinoměr v otvoru vystředěn pomocí utahovacího kolečka a na stupnici se odečítá naměřená hodnota průměru otvoru.

Tab. 10. Technické parametry třídotekového dutinoměru HOLTEST MITUTOYO

Název parametru	Hodnota
Přesnost	DIN 863/4 při dosedajících plochách
Dělení stupnice	do 12 mm: 0,001 mm
	nad 12 mm: 0,005 mm
Stupnice	na bubínku, na pouzdře matně chromovaná
	do 12 mm: Ø 17 mm
	nad 12 mm: Ø 23 mm
Vřeteno	stoupání vřetene 0,5 mm
Rozsah měření měřidla ( $D = 160$ mm)	50 až 63 mm

Obr. 14 Měření upínacího otvoru  $d_1$ Tab. 11 Naměřené hodnoty výšky nástroje  $d_1$  pro frézy  $D = 160$  mm

Název parametru	Požadovaný rozměr $d_1$ (mm)	Fréza č.1	Fréza č.2	Fréza č.3
Upínací otvor $d_1$ (mm)	40 G7 (40,009 až 40,034)	40,018	40,015	40,035

Hodnoty naměřené u všech prototypových fréz se vyskytují v povolené toleranci předepsané výkresovou dokumentací.

#### 4. Dotah $a$ :

Dotáhnutí mezi etalonovou břitovou destičkou a dosedací ploškou lůžka v tělese frézy zjistíme pomocí spárových měrek. Toto použití spárových měrek je porovnávací metodika měření.



Obr. 15 Měření dotahu  $a$  (vlevo – spárové měrky; vpravo – detail měření)

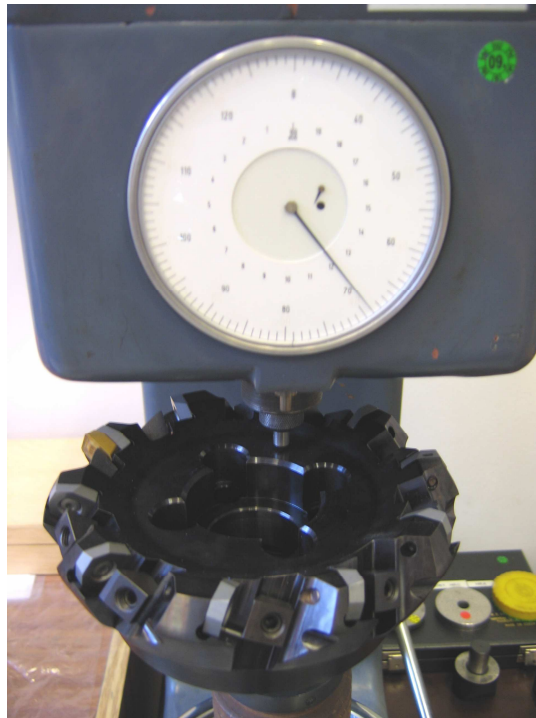
Tab. 12 Naměřené hodnoty dotahu  $a$

Název parametru	Požadovaný rozměr $d_1$ (mm)	Fréza č.1	Fréza č.2	Fréza č.3
Dotah $a$ (mm)	< 0,03	vyhovuje	vyhovuje	vyhovuje

Porovnávacím měřením se ukázalo že dotáhnutí všech destiček v lůžkách na frézách vyhovují předepsané hodnotě (< 0,03 mm).

## 5.) Tvrdost podle Rockwella

Tvrdost těles prototypových fréz byla měřena na tvrdoměru ROCKWELL RB1 a to vždy pouze na jednom místě – na čele tělesa frézy obr. 16. Naměřené hodnoty tvrdosti těles fréz jsou uvedeny v tab. 13.



Obr. 16 Měření tvrdosti u prototypové frézy  $D = 160 \text{ mm}$

Tab. 13 Naměřené hodnoty dotahu a pro frézy  $D = 160 \text{ mm}$

Název parametru	Požadovaná hodnota (HRC)	Fréza č.1	Fréza č.2	Fréza č.3
Tvrdost (HRC)	$38 \div 42$	40,0	41,3	40,8

Naměřené hodnoty tvrdostí u všech fréz vyhovují požadavkům tvrdosti nástroje .



### 4.3 Měření základních rozměrů VBD

Základní rozměry VBD byli měřeny v prototypové výrobní dávce 50 kusů typového označení materiálu SNMR 1706DZSR-M z materiálu 8230.



Obr.17 Výrobní dávka prototypové VBD typu SNMR 1706DZSR-M; 8230

Podle výkresové dokumentace se provádělo měření a zjišťování případných odchylek od předepsaných hodnot u VBD. Tabulka těchto hodnot je uvedena v příloze č.3

Sledovány byli základní parametry VBD :

- vepsaná kružnice  $d$ ; výkresová hodnota:  $\varnothing 17 \pm 0,07$  (mm),
- výška  $s$ ; výkresová hodnota:  $6,35 \pm 0,1$  (mm).

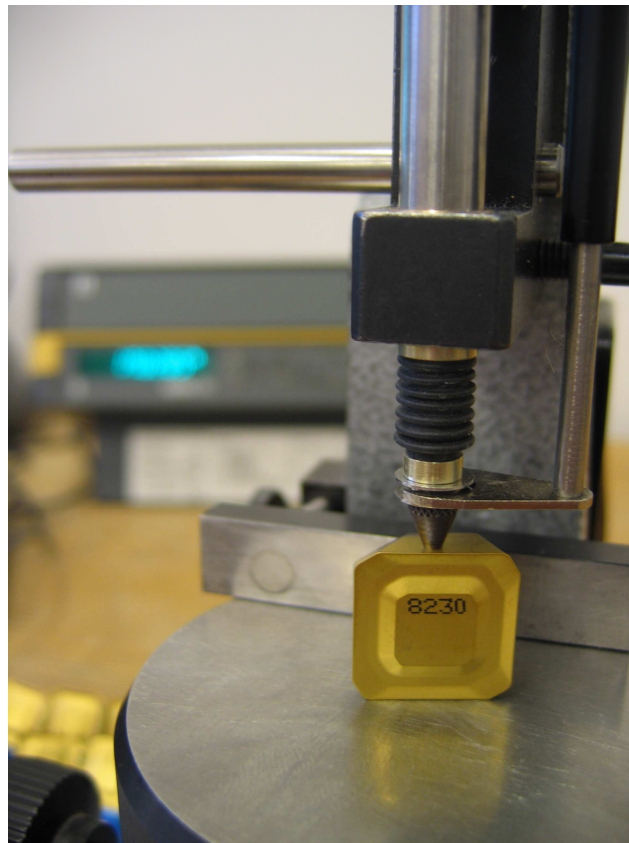
#### 4.3.1 Vepsaná kružnice $d$

Při měření vepsané kružnice jako základního parametru tvaru VBD bylo použito měřicího zařízení SYLVAC 80 s přípravkem a bodovým snímačem s dotekem pro snímání naměřených hodnot, které pak vyhodnocuje připojený počítač s vyhodnovacím softwarem.

Měřené hodnoty se snímaly na dvou na sebe kolmých stran destičky. Vlastnímu měření předcházelo seřízení a nastavení měřených rozměrů pomocí koncových měrek. Technické parametry měřicí stanice jsou uvedeny v tab.14.

Tab. 14 Technické parametry přístroje SYLVAC 80

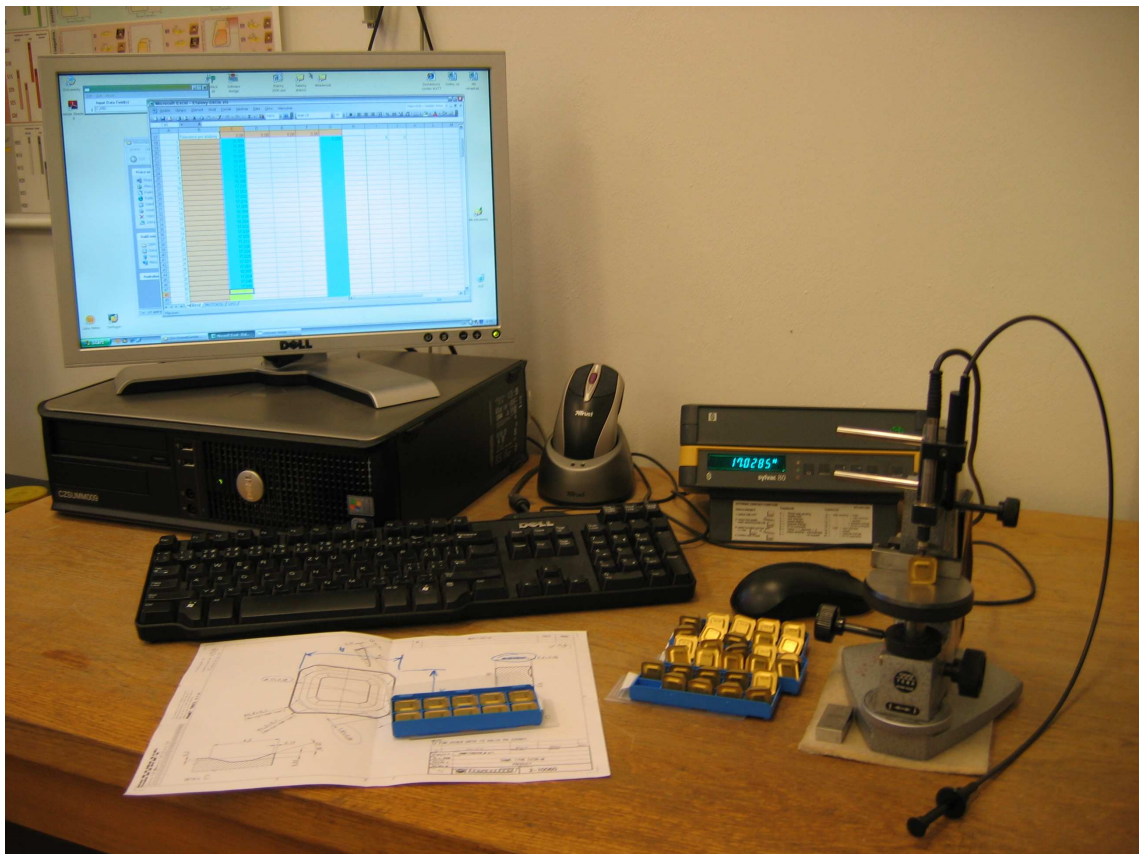
Název parametru	Hodnota
Zobrazovací a vyhodnocovací jednotka	D 80
Rozměry (šířka x hloubka x výška)	227 x 132 x 38 (mm)
Nepřesnost jednotky D80 se snímačem P10	chyba D80 1,2 $\mu\text{m}$ / snímač 1,0 $\mu\text{m}$
Nepřesnost jednotky D80 se snímačem P25	chyba D80 1,5 $\mu\text{m}$ / snímač 1,5 $\mu\text{m}$
Nepřesnost jednotky D80 se snímačem P50	chyba D80 3,0 $\mu\text{m}$ / snímač 4,0 $\mu\text{m}$
Opakovatelnost se snímačem P10	0,0003 mm
Opakovatelnost se snímačem P25	0,0003 mm
Opakovatelnost se snímačem P50	0,0012 mm

Obr.18 Měření vepsané kružnice  $d$  (detail měřícího dotyku)

### 4.3.2 Výška s

Výška VBD s je zjišťována přímou metodou měření opět na přístroji SYLVAC 80, kde před vlastním měřením bylo nutné nastavení jmenovitého rozměru pomocí koncových měrek.

Snímání hodnot probíhalo vkládáním jednotlivých destiček na základní desku měřicího přípravku a měřící dotek. Software v počítači tuto naměřenou hodnotu zaznamenával ihned po změření do tabulky. Hodnoty naměřených jednotlivých hodnot výšek VBD jsou uvedeny v příloze č.3.



*Obr.19 Měřicí stanice s přístrojem SYLVAC 80*

## 5 Funkční zkoušky prototypového nástroje

Zkoušení prototypového nástroje k ověření jeho funkčních vlastností bylo prvotně prováděno na zkušebně Pramet Tools s.r.o.

Zkoušky obrábění měly za cíl odzkoušet a zkontrolovat:

- způsob utváření třísky v místě řezu,
- analýzu trajektorie odchodu třísky z místa řezu (důraz na směr a rychlost),
- vzhled, tvar a velikost třísky odebraného materiálu,
- vlastnosti nástroje při chodu v řezu z hlediska hlučnosti, vibrací a chvění,
- chod nástroje v řezu z hlediska otěru nástroje od odcházející třísky,
- skutečný rozsah posuvů na zub  $f_z$  pro danou geometrii VBD,
- použití nástroje v řezu při axiální hloubce řezu  $a_{p \max}$ .

Zkoušením funkčních vlastností frézovacích nástrojů byly podrobeny prototypy frézy s označením 160C10R-F60SN17X v počtu třech kusů a řezné destičky typu SNMR 1706DZSR-M; 8230 v celkovém počtu 50 kusů.

Po celou dobu řešení projektu jsou prováděny zkoušky obráběním na zkušebně Pramet Tools na všech prototypových nástrojích s VBD. Pro testování je zkušebna vybavena NC stolovou frézou typu FCV 63 SCA od výrobce TOS Kuřim.



*Obr.20 Frézka FCV 63 SCA*

Tab.15 Technické parametry frézky FCV 63 SCA

Název celku	Jednotka	Velikost
<b>Stůl</b>		
Upínací plocha stolu	mm	630 x 2200
Maximální zatížení stolu	kg	2000
<b>Pracovní rozsah</b>		
Osa X-Y-Z	mm	1500-630-630
<b>Stroj</b>		
Délka x šířka x výška	mm	4180 x 3010 x 3225
Jmenovitý výkon	kW	32
Maximální otáčky vřetena	min <sup>-1</sup>	3000
Kužel ve vřeteni	ISO	50

Prototypové frézovací nástroje se při funkčních zkouškách vždy testují na těchto materiálech:

- oceli jakosti 12 050.1,
- korozivzdorné oceli jakosti 17 349.4,
- šedé litině jakosti 42 2425.

Tyto tři materiály jsou pokládány za etalonové materiály a jsou standardně používány pro zkoušení výrobci kovo-obráběcích nástrojů a materiálů.

Námi testované prototypy fréz byly zkoušeny pouze na oceli 12 050. Chemické složení a mechanické vlastnosti oceli 12 050.1 jsou uvedeny v tab.16 až tab.17

Tab. 16 Mechanické vlastnosti oceli 12 050.1

Název	Velikost
Mez pevnosti v tahu $R_m$ (MPa)	640 až 780
Minimální mez kluzu $R_e$ (MPa)	390
Minimální tažnost $A_5$ (%)	20
Minimální nárazová práce $KV$ (J)	-

Tab. 17 Chemické složení oceli 12 050.1

Chemické složení (%)							
<i>C</i>	<i>Mn</i>	<i>Si</i>	<i>P</i> max	<i>S</i> max	<i>Cr</i> max	<i>Ni</i> max	<i>Cu</i> max
0,42	0,50	0,17					
až	až	až	0,04	0,04	0,25	0,30	0,30
0,50	0,80	0,37					

### 5.1 Zkoušky obrábění na oceli 12 050.1

Tyto zkoušky obrábění oceli 12 050.1 jsou řazeny jako prvotní zkoušky obrábění a mají za cíl odzkoušet a zkontrolovat následující vlastnosti:

- způsob utváření třísky v místě řezu,
- vzhled, tvar a velikost třísky odebraného materiálu,
- skutečný rozsah použití posuvů na zub  $f_z$ , pro danou geometrii VBD,
- použití nástroje v řezu při axiální hloubce řezu  $a_{p \max}$ .

Pro tuto zkoušku byl vybrán frézovací prototyp o průměru  $D = 160$  mm, který byl osazen 10-ti kusy VBD typu SNMR 1706DZSR-M; 8230 pro rozsah posuvů  $f_z = (0,2 \text{ až } 0,4)$  mm .

Polotovár určený na obrábění z oceli 12 050.1 o rozměrech ( 200 x 400 x 400 ) byl před vlastním zkoušením proměřen ve třech různých místech povrchu na tvrdost. K tomuto měření byl použit tvrdoměr EUOTIP. Technická data tvrdoměru jsou uvedena v tab.18. Hodnoty naměřené tvrdoměrem jsou pak v tab.19.

Tab.18 Technická data tvrdoměru EQUOTIP

Název celku	Jednotka	Velikost
Rozsahy měření pro oceli	HB	80 až 650
	HV	80 až 940
	HRC	20 až 68
hliníková slévárenská slitina	HB	30 až 160
litina	HB	90 až 380
mosaz	HB	40 až 170
měděné slitiny k tváření	HB	45 až 315



Obr. 21 Tvrdoměr EQUOTIP při měření tvrdosti

Tab. 19 Hodnoty tvrdosti měřené na obrobku (ocel 12 050.1)

Poloha měření (popis)	Tvrdost podle Rockwella (HRC)
Místo č.1 – kraj, střed – zleva	198
Místo č.2 – střed, střed – uprostřed plochy	195
Místo č.3 – kraj, střed – zprava	192
<b>Průměrná hodnota tvrdosti obrobku</b>	<b>195</b>

### 5.1.1 Utváření třísky v místě řezu

Při sledování utváření třísky v místě řezu se jedná o obrábění s předem stanovenými řeznými podmínkami a odběr vzorků třísek při jednotlivých řezných hodnotách parametrů se vyhodnocuje podle následně sestavenému diagramu utváření třísek. Hlavními řeznými parametry jsou dvě hodnoty (axiální hloubka řezu  $a_p$  a posuv na zub  $f_z$ ). Diagram utvořený z výsledných třísek je sestavený na obr. 22.

Zkouška je zaměřena vždy na stejnou velikost radiální hloubky řezu  $a_e$ . Při obrábění zde byly získány hodnoty drsnosti povrchu pro tento typ geometrie VBD.

Řezné podmínky za kterých se utváření třísek prováděly jsou uvedeny v následující tab.20.

Tab. 20 Řezné podmínky zkoušky při frézování oceli jakosti 12 050.1

Název	Hodnota
Řezná rychlost	$v_c = 100 \text{ m.min}^{-1}$
Otáčky vřetene	$n = 199 \text{ min}^{-1}$
Axiální hloubka řezu	$a_p = 1 \text{ mm}, 2 \text{ mm}, 5 \text{ mm}, 7 \text{ mm}$ a $10 \text{ mm}$
Radiální hloubka řezu	$a_e = 100 \text{ mm}$
Posuv	$f_z = 0,15 \text{ mm}; (f = 298 \text{ mm.min}^{-1})$
	$f_z = 0,20 \text{ mm}; (f = 398 \text{ mm.min}^{-1})$
	$f_z = 0,25 \text{ mm}; (f = 497 \text{ mm.min}^{-1})$
	$f_z = 0,30 \text{ mm}; (f = 597 \text{ mm.min}^{-1})$
	$f_z = 0,35 \text{ mm}; (f = 696 \text{ mm.min}^{-1})$
	$f_z = 0,40 \text{ mm}; (f = 796 \text{ mm.min}^{-1})$
	$f_z = 0,45 \text{ mm}; (f = 895 \text{ mm.min}^{-1})$
	$f_z = 0,50 \text{ mm}; (f = 995 \text{ mm.min}^{-1})$





Výsledky řezné zkoušky utváření třísky jsou stručně popsány v následujících bodech.

- Při daných řezných podmínkách byl vytvořen utvářecí diagram pro VBD typu SNMR 1706DZSR-M; 8230.
- Na utvářecím diagramu lze spatřit, jak se třísky utvářejí do pravidelných spirálovitých tvarů a jejich tloušťka a šířka je dána parametry axiální hloubky řezu  $a_p$  a posuvem na zub  $f_z$ .
- Na zkoušené konstrukci geometrie prototypu VBD bylo testování provedeno pro stanovený rozsah posuvů na zub  $f_z = 0,2$  až  $0,4$  mm a rozšířeno o rozsah posuvů na zub  $f_z = 0,15$  až  $0,50$  mm.
- Geometrie VBD se při předepsaném rozsahu posuvů na zub  $f_z$  chovala spolehlivě a stabilně, proto jsou tyto hodnoty dále také doporučovány jako průvodní rozsah parametrů.
- Při zvyšování produktivní práce polohrubování se nedoporučuje volit posuvy na zub menší než  $f_z < 0,2$  mm.

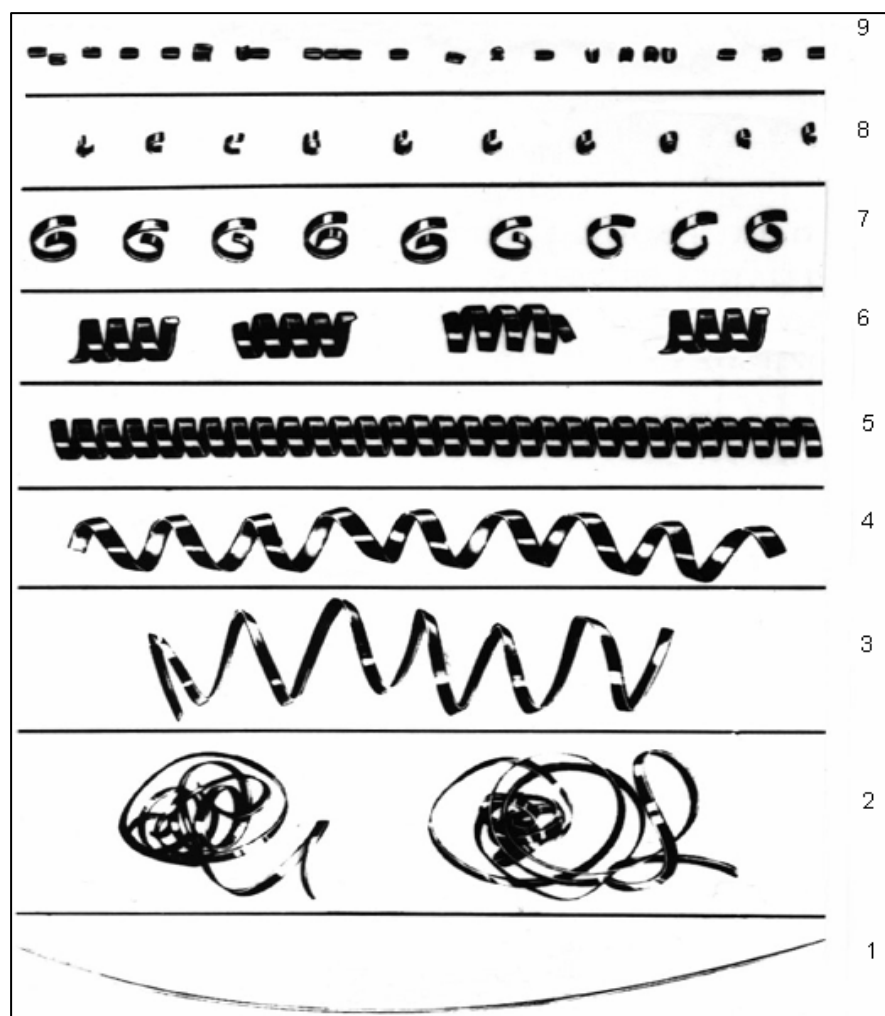
$a_p$ (mm), $a_e = 100$ mm	Insert : SNMR 1706DZSR-M; 8230 Milling cutter: 160C10R-F60SN17X	Mat.: 12 050.1 (SS 1650, Ck 45); HB 195 $v_c = 100$ m . min <sup>-1</sup>	Date: 19.01.2009 - 21.01.2009	Machine: FCV 63
1				
$R_a$ ( $\mu$ m)	1,12	1,98	2,40	2,10
2				
$R_a$ ( $\mu$ m)	2,30	2,80	1,80	1,72
5				
$R_a$ ( $\mu$ m)	0,86	1,18	1,14	1,20
7				
$R_a$ ( $\mu$ m)	1,42	1,02	1,52	1,60
10				
$R_a$ ( $\mu$ m)	1,00	1,90	1,40	1,80
Feed $f_z$ [mm.tooth <sup>-1</sup> ]	0,15	0,25	0,35	0,45
		0,30	0,40	0,50

Obr. 22 Utváření diagram třísek na oceli 12 050.1

### 5.1.2 Charakteristika třísky

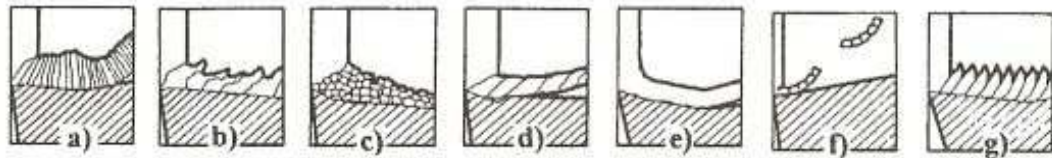
Posuzování a hodnocení charakteristiky třísky spočívá ve vizuální kontrole třísky jejího tvaru a velikosti popř. barvě. Při frézování je důležité, aby se vzniklé teplo nehromadilo na obráběném materiálu nebo nepřecházelo do frézovacího nástroje, proto je nutné odvézt co největší část tepla v odebrané tříse. Vhodnou volbou řezných podmínek je možné toto teplo odvést z místa řezu mimo pracovní proces obrábění a to především řeznou rychlostí  $v_c$  a posunovou rychlostí  $v_f$ .

Podle tvaru, vzhledu a velikosti třísky ji lze rozdělit do několika skupin. Toto porovnání v našem případě je provedeno pomocí tabulky rozdělení třísek od společnosti SECO Tools A.B., která třídí vzniklé třísky do devíti skupin obr.23. První až pátá skupina je brána jako nevyhovující svým tvarem, skupiny 6 až 9 jsou tvarem vyhovující tvary třísek.



Obr. 23 Zatřídění třísek podle společnosti SECO Tools A.B. [11]

Při jiném rozdělení můžeme třísky dělit také charakteristiku třísky a posuzovat její tvar, vzhled podle obr.24.[5]



Obr. 24 Základní druhy tvářených třísek při obrábění [5]

- a) plynulá článkovitá soudržná tříska;
- b) plynulá soudržná lamelová tříska;
- c) tvářená elementární tříska;
- d) nepravidelně článkovitá plynulá tříska;
- e) tvářená plynulá soudržná tříska;
- f) dělená segmentová tříska;
- g) plynulá segmentová tříska

Výsledky řezné zkoušky z pohledu charakteristiky třísky lze shrnout do následujících bodů.

- Tvary utvořených třísek uvedené v utvářecím diagramu obr.22, které vznikly obráběním prototypovou frézou osazenou VBD typem SNMR 1706DZSR-M, můžeme podle tabulky společnosti SECO Tools A.B., začlenit do skupiny číslo 6.
- Podle rozdělení základního druhu třísky obr.24 můžeme vzniklé třísky přiřadit písmeno a), tedy třísku plynulou článkovitou soudržnou.
- Podle pozorování třísky při pohybu odchodu z místa řezu lze konstatovat, že třísky vyhovují požadavkům pro plynulý odchod.

### 5.1.3 Rozsah posuvů na zub $f_z$

Velikostí, tvarem geometrií VBD je především dán interval rozsahů posuvů na zub  $f_z$ . Výchozím předpokladem se však vychází z geometrie a velikosti fazetky na hlavním ostří destičky. Funkcí fazetky je především zpevnit řeznou hranu – ostří. Její velikost z hlediska šířky, je rovněž parametr pro použití minimálního posuvu na zub  $f_{z \min}$ . Proto je důležité dodržovat minimální hodnoty posuvů na zub  $f_{z \min}$ , aby se ostří které je namáháno se hodnotami nižšími než jsou doporučované následně nepoškodilo.

Jako omezení horní hranice použití maximálního posuvu na zub  $f_{z \max}$  mohou být následující faktory:

- charakteristika třísky – její tvar (např. přetvářená tříska), velikost, barva, aj.,
- drsnost povrchu  $R_a$  – požadovaná, případně dosahovaná,
- velikost a tvar zubové mezery – množství třísek, průběh vyprazdňování aj.,
- výkon stroje – maximální proudová zátěž,
- tuhost soustavy – stroj – nástroj - obrobek s důrazem na upnutí obrobku,
- opotřebení ostří VBD – životnost, trvanlivost (rychlost a průběh opotřebení).

Vyhodnocení řezné zkoušky z hlediska rozsahu posuvů na zub  $f_z$  můžeme shrnout do následujících bodů.

- Při zkouškách u kterých se fréza s prototypovými destičkami SNMR 1706DZSR-M probíhala, můžeme po ozkoušení rozsahu doporučených posuvů na zub  $f_z = 0,20$  až  $0,40$  mm říci, že je možné tento rozsah dále rozšířit.
- Velikost hodnoty maximálního posuvu na zub  $f_{z \max}$ , lze zvýšit na  $f_{z \max} = 0,50$  mm, kde zkouška neprokazovala žádné důvody a jiné průvodní znaky že by se tento maximální posuv na zub nemohl používat.
- Hodnotu minimálního posuvu na zub pod  $f_z = 0,20$  mm je možné snížit krátkodobě na posuv na zub  $f_z = 0,15$  mm, tohoto posuvu však bylo nutné snížit i axiální hloubku řezu  $a_p$ . Tyto řezné podmínky jsou pak méně intenzivní a neohrožují tak při dlouhodobém použití poškození ostří řezných destiček.

### 5.1.4 Axiální hloubka řezu $a_{p \max}$

U řezného procesu frézování dochází k velkým silovým namáháním, a to jak nástroje tak i různých částí stroje a jeho zařízení. Maximální hloubku řezu přitom ovlivňuje nejvíce způsob upnutí obrobku a vyložení pinoly vřetene.

Nástroje v řezu při axiální hloubce řezu  $a_{p \max}$  předpokládáme splnění důležitých podmínek :

- dostatečný výkon vřetena stroje,
- délka vyložení vřetene, pinoly ze stroje,
- tuhost a způsob upnutí,
- jakost obráběného materiálu,
- stav a kvalita povrchu obráběného materiálu (okuje, svary, kůra, aj.),
- charakter a typ operace frézování (hrubování, polohrubování, dokončování),
- záběrové podmínky (poměr  $a_e/D$ ; sousledné a nesousledné frézování).

Výsledky řezné zkoušky z hlediska axiální hloubky řezu  $a_{p \max}$  jsou shromážděny do následujících bodů.

- Při obrábění prototypovou frézou s prototypovou geometrií VBD při doporučeném rozsahu posuvů  $f_z = 0,20$  až  $0,40$  mm, je možné obrábět materiál (ocel jakosti 12 050.1) až do axiální hloubky řezu  $a_{p \max} = 10$  mm,
- Nejdůležitější podmínkou při obrábění s maximální hloubkou třísky  $a_{p \max} = 10$  mm je tuhost upnutí obrobku.
- Záběrové podmínky vhodně zvolené k poměru radiální hloubce řezu  $a_e$  a použitého průměru nástroje  $D$  je důležité volit tak, aby tento průměr ovlivnil co nejméně použití nástroje při obrábění s maximální hloubkou řezu  $a_{p \max} = 10$  mm.
- Nevhodně zvolené záběrové podmínky (poměr  $a_e/D$  a poloha obrobku vůči ose nástroje) se projevují zvláště při vnikání a výjezdu nástroje z obrobku. Projevem těchto nevhodně zvolených podmínek bývají často vibrace a ty zhoršují jakost obrobené plochy  $R_a$ .



- Dobré záběrové podmínky s dostatečnou tuhostí upnutí obrobku ovlivňují výslednou jakost obrobené plochy  $R_a$ .
- Výkon na vřetení frézky není rozhodujícím faktorem pro použití frézy při obrábění s maximální hloubkou třísky  $a_{p \max} = 10 \text{ mm}$ .

## 6 Řezné vlastnosti prototypového frézovacího nástroje

### 6.1 Zkoušky u zákazníků

Řezné vlastnosti prototypového frézovacího nástroje byly ověřeny u vybraných zákazníků.

Tyto zkoušky obráběním u vybraných zákazníků mají za cíl ověřit a porovnat dosažené výsledky při předchozím obrábění na zkušebně ve firmě Pramet Tools s.r.o.

Hodnotí se chování tohoto prototypového nástroje v reálných podmínkách strojírenské výroby, kde je oproti zkušební nástroj nasazen na jiné úrovni strojního vybavení, a s tím souvisejí i jiné volby řezných podmínek v závislosti na jakosti obráběného materiálu.

Skupina vybraných zákazníků je vždy představuje vzorek konečného portfolia potenciálních zákazníků pro použití této prototypové konstrukce frézovacího nástroje.

Vybraný zákazník je volen podle kritérií, kterými jsou:

- vybavení strojního parku (typ, stav a velikost strojního parku),
- druhová skladba polotovarů (odlitky, výkovky, svařence, formy),
- materiálová skladba polotovarů (ocel, ocelolitina, litina, korozivzdorné oceli),
- frézovací operace (dokončování, polohrubování, hrubování),
- způsoby obrábění (rovinné frézování, tvarové frézování, frézování kapes).

Ověření funkčnosti prototypového nástroje není změřeno jen na řezných vlastnostech prototypu, ale zároveň i porovnávání obrábění s nástroji stávajícího sortimentu, starších případně používání konkurenčních nástrojů u zákazníka. Porovnávání je zaměřeno na získání výsledných hodnot zkoušek z hlediska produktivity práce, na snížení strojích časů, poměru velikosti odebraného množství materiálu za jednotku času a zvýšení nebo snížení trvanlivosti, životnosti VBD.



### 6.1.1 Zkoušky ve firmě Vítkovice Testing Center, Ostrava

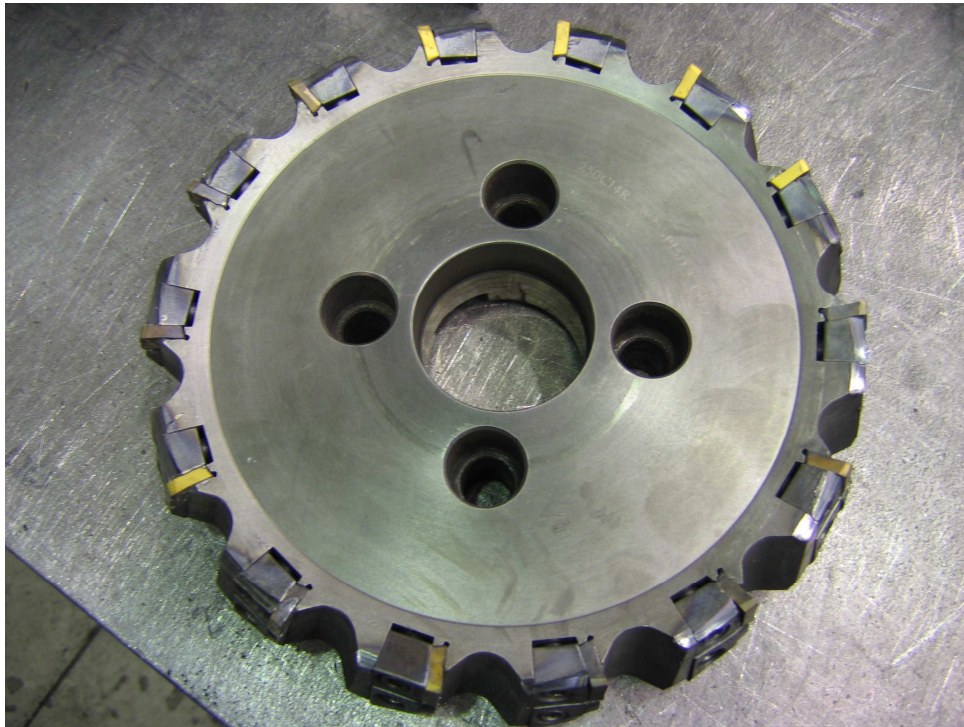
Zkoušky s prototypovou frézou typu F60SN17X se prováděly u zákazníka Vítkovice Testing Center, Ostrava, kde se především nástroj testoval na obráběných dílech: zkušebních vzorcích taveb, odlitků, vývalků, polotovarů, které jsou podrobovány následujícím kontrolám na jakost, na stanovení mechanických vlastností a chemickém složení těchto materiálů.

#### Současný stav

V současnosti používá obrobna ve Vítkovice Testing Center obráběcí frézovací centrum typu FCV 63 SCA obr.25, od výrobce TOS Kuřim s obráběcím nástrojem Pramet typu 250C14R-W75SP15D osazenou VBD SPKR 1504EDSR z materiálu 8240 obr.26 s použitými řeznými podmínkami v tab.21.



*Obr. 25 Frézovací centrum FCV 63 SCA*



Obr. 26 Současný frézovací nástroj typ 250C14R-W75SP15D

Tab. 21 Stávající řezné podmínky

Parametr	Označení	Jednotka	Hodnota
Axiální hloubka řezu	$a_p$	mm	8
Radiální hloubka řezu	$a_e$	mm	200
Řezná rychlost	$v_c$	$\text{m}\cdot\text{min}^{-1}$	176
Otáčky	$n$	$\text{min}^{-1}$	224
Posuv	$f_{\text{min}}$	$\text{mm}\cdot\text{min}^{-1}$	400
Posuv na zub	$f_z$	mm.	0,128

Nejčastěji vyskytujícími se materiály k obrábění jsou:

- ocelolitiny s vyšší obsahem uhlíku (označení GS-60;  $R_m = 600 \text{ MPa}$ ),
- konstrukční oceli jakosti 11 523 a 11 503,
- vysoko-pevnostní kalená ocel (označení S690QL;  $R_m = 930 \text{ MPa}$ ).

Obrábění je prováděno bez použití procesní kapaliny. Se stávajícím nástrojem 250C14R-W75SP15D a VBD SPKR 1504EDSR; 8240 nedokážou obrobít vysoko-pevnostní kalenou ocel s označením S690QL ( $R_m = 930 \text{ MPa}$ )

**Zkoušky obrábění s prototypem Pramet**

Při obrábění na použité frézovací centrum FCV 63 SCA byl aplikován nástroj Pramet typ 160C10R-F60SN17X osazený VBD typ SNMR 1706DZSR-M z materiálu 8230 obr.27.



*Obr. 27 Prototypová fréza při obrábění na frézovacím centru FCV 63 SCA*

*Tab.22 Skladba polotovarů funkčních zkoušek*

Číslo zkoušky	Rozměr polotovaru	Jakost polotovaru	Mechanické vlastnosti
1.	250 x 200 mm (1.vzorek)	ocel 11 523	$R_m = 700$ MPa
2.	250 x 200 mm (2.vzorek)	ocel 11 523	$R_m = 700$ MPa
3.	110 x 300 mm	ocelolitina GS-60	$R_m = 600$ MPa
4.	80 x 200 mm	ocel S690QL	$R_m = 930$ MPa
5.	110 x 390 mm	ocel S690QL	$R_m = 930$ MPa



Výsledky funkčních řezných zkoušek na obrobně Vítkovice Testing Center, Ostrava jsou shrnuty do následujících bodů.

- Cílem funkčních zkoušek bylo zkoušení prototypového frézovacího nástroje Pramet s označením 160C10R-F60SN17X, který je osazen VBD typu SNMR 1706DZSR. Tento nástroj nahradil stávající nástroj typu 250C14R-W75SP15D osazen VBD typu SPKR 1504EDSR; 8240. Testovalo se jeho chování při obrábění na zkušebních vzorcích z konstrukční oceli 11 523, 11 503, dále ocelolitiny GS-60 a vysoko-pevnostní kalená ocel označení S690QL, která prakticky nelze stávajícím nástrojem 250C14R-W75SP15D ekonomicky obrobit (vysoká spotřeba VBD, nízká produktivita práce, vysoké zatížení stroje).
- Nástroj Pramet s označením 160C10R-F60SN17X-2 osazený VBD typu SNMR 1706DZSR-M, překvapil očekávání obsluhy stroje i technologa výroby z hlediska chování nástroje ve spolehlivosti chodu v řezu, kde se bez vibrací, chvění a s možností rozšíření posuvů na zub nástroj zvýšil produktivitu práce.
- Tento prototypový nástroj byl rovněž schopen obrobit i vysoko-pevnostní kalenou ocel, označení S690QL jenž současným používaným nástrojem nebylo možné obrábět a řešit toto obrábění materiálu v kooperaci.

### 6.1.2 Zkouška ve firmě Klima, Prachatice

Zkouška ve firmě Klima Prachatice si kladla za cíl provést porovnání řezných vlastností prototypu frézovacího nástroje Pramet (označení 160C10R-F60SN17X) se stávajícím (zastaralým) typem nástroje typ W75SP15D osazeným VBD typu SPKN 1504 (označení nástroje 160C08R-W75SP15D).

Tato zkouška proběhla bez použití procesní kapaliny a parametry zkoušky obrábění jsou uvedeny v následující tab 23.

Tab.23 Parametry zkoušky obrábění ve firmě Klima

	Parametr	Prototypový nástroj	Stávající nástroj
<b>Stroj</b>	Typ	WHN 13	WHN 13
	Výkon [kW]	24	24
<b>Obrobek</b>	Obr.materiál	12 050	12 050
<b>Nástroj</b>	Výrobce nástroje	Pramet	Pramet
	Označení nástroje	160C10R- F60SN17X	160C08R-W75SP15D
	VBD	SNMR 1706DZSR – M	SPKN 1504 EDER
	Jakost Sk	8230	8040
<b>Pracovní podmínky</b>	Řezná rychlost $v_c$ [m . min <sup>-1</sup> ]	160	130
	Otáčky $n$ [min <sup>-1</sup> ]	320	260
	Posuv $f_z$ [mm]	0,35	0,20
	Posuv $f$ [mm . min <sup>-1</sup> ]	1120	420
	Axiální hloubka řezu $a_p$ [mm]	8	8
	Radiální Hloubka řezu $a_e$ [mm]	145	145
	Obráběná délka [mm]	2400	2400

*Pokračování Tab.23 Parametry zkoušky obrábění ve firmě Klima*

<b>Výsledky</b>	Drsnost $R_z$	100	100
	Trvanlivost břítu $T_{\min}$ [min]	40	50
	Objem odebraného mat. za 1 minutu $Q$ [cm <sup>3</sup> . min <sup>-1</sup> ]	1299,2	487,2

Výsledky porovnávací zkoušky na obrobně Klima, Prachatice můžeme shrnout do následujících bodů.

- Testování prototypového nástroje 160C10R-F60SN17X a porovnání se zastaralým typem nástroje W75SP15D osazeným VBD typu SPKN 1504 ve firmě Klima Prachatice bylo provedeno za použití shodného stroje a obráběného materiálu.
- Při obrábění bylo možné u prototypového frézovacího nástroje zvýšit parametry obrábění oproti porovnávanému nástroji, ale na úkor trvanlivosti břítu která byla při zvýšených podmínkách menší než u staršího nástroje.
- Oba testované nástroje vykazovali stejnou požadovanou drsnost povrchu.
- Prototypový nástroj byl v porovnání objemu odebraného materiálu za minutu daleko výkonnější než porovnávaný starší nástroj.

## 6.2 Zkoušky na zkušebně Pramet Tools

### 6.2.1 Jakost obrobeneé plochy

Zkoumání výsledného tvaru a povrchu obráběného materiálu utváří konečné parametry výsledné kvality obráběných ploch.

Drsnost obrobeneé plochy byla při zkouškách obrábění měřena po obrobení každé z předepsaných řezných podmínek prototypového nástroje na oceli 12 050.1, až na hodnoty při posuvu na zub  $f_z = 0,45$  a  $0,50$  mm a při maximální hloubce třísky  $a_{p \max} = 10$  mm. Tyto podmínky se stávaly pro zkušební stroj na zkušebně Pramet Tools s.r.o. nepřijatelné z důvodu nebezpečí poškození stroje nebo nástroje.

Drsnost byla měřena mobilním dotykovým profilometrem MITUTOYO SURFTEST SJ 201. Z naměřených hodnot je sestavený výsledný graf a tabulka a ty jsou uvedeny v příloze č.4 .

Výsledky ze zkoušky na ověření jakosti plochy lze vyjádřit:

- Z grafu v příloze č.4 lze názorně vidět, že nejlepší drsnost povrchu byla dosažena při použití podmínek obrábění při hloubce řezu  $a_p = 5$  mm v rozsahu posuvů na zub  $f_z = 0,15$  a  $0,40$  mm, a dále při hloubce řezu  $a_p = 7$  mm mezi rozsahem  $f_z = 0,2$  a  $0,30$  mm.
- Hodnoty požadovaných drsností u zákazníka lze podle požadavků kombinovat různými velikostmi posuvů na zub a hloubkami řezu. Musíme ale věnovat pozornost jak dostatečnému upnutí obrobku tak i kontrole nástroje v průběhu obrábění a tak následnému poškození z důvodů chvění a vibrací což má za následek horší drsnost povrchu.

### 6.2.2 Odebraný objem materiálu $Q$

Výpočet objemu odebraného materiálu za minutu  $Q$  byl proveden za pomocí hodnot určených k obrábění zkušební vzorku oceli 12 050.1.

Objem odebraného materiálu lze snadno vypočítat z hodnot posuvů (posuvů na zub  $f_z = [\text{mm}]$  nebo minutového posuvu  $f_{\text{min}} = [\text{mm} \cdot \text{min}^{-1}]$ ) použitých při zkoušení prototypového nástroje a hodnot axiální hloubky řezu  $a_p$ , radiální hloubky řezu  $a_e$ .

Hodnoty získané tímto výpočtem lze užít v praxi z hlediska určení produktivity práce, na snížení strojích časů a velikosti odebraného množství materiálu.

$$Q = \frac{a_p \cdot a_e \cdot f_{\text{min}}}{1000} \quad [\text{cm}^3 \cdot \text{min}^{-1}]$$

(6.2.2) Vzorec použitý pro výpočet odebraného objemu

( $Q$  - odebraný objem materiálu za 1 minutu  $[\text{cm}^3 \cdot \text{min}^{-1}]$ ;  $a_p$  - axiální hloubka řezu  $[\text{mm}]$ ;  
 $a_e$  - radiální hloubka řezu  $[\text{mm}]$ ;  $f_{\text{min}}$  - minutový posuv  $[\text{mm} \cdot \text{min}^{-1}]$ ). [3]

Tab.24 Vypočtené objemy odebraného materiálu za 1 minutu ( $Q = [\text{cm}^3 \cdot \text{min}^{-1}]$ )

$a_p$ [mm]	$f_{\text{min}}$ [mm.min <sup>-1</sup> ]							
	298	398	497	597	696	796	895	995
1	29,8	39,8	49,7	59,7	9,6	79,6	89,5	99,5
2	59,6	79,6	99,4	119,4	139,2	159,2	179	199
5	149	199	248,5	298,5	348	398	447,5	497,5
7	208,6	278,6	347,9	417,9	487,2	557,2	626,5	696,5
10	298	398	497	597	696	796	895	995

Výsledky výpočtů objemu odebraného materiálu lze popsat:

- Minutový objem odebraného materiálu je určující hodnota pro produktivní práci a jeho výpočet je důležitý k rychlému a často potřebnému výpočtu strojních časů, avšak záleží na řezných podmínkách při kterých je nástroj používán.
- Námí testovaný prototyp byl testován pouze při určitém rozsahu pracovních otáček a posuvů. Z důvodů tuhosti upnutí obrobku nebyli posuvy na zub  $f_z = 0,45$  a  $0,50$  mm na zkušebně použity při maximální hloubce řezu





$a_p = 10$  mm. Při použití těchto podmínek na stroji, kde by parametry posuvů na zub  $f_z = 0,45$  a  $0,50$  mm bylo možno použít, by se největší minutový odebraný objem pohyboval při maximální hloubce řezu  $a_p = 10$  mm, radiální hloubce řezu  $a_e = 100$  mm, otáčkách  $n = 199 \text{ min}^{-1}$  a posuvu  $f = 995 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$ . Tento objem by činil  $995 \text{ cm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$ .

## 7 Závěrečné vyhodnocení

Dosažené výsledky frézovacího nástroje můžeme shrnout do následujících bodů:

1. Výroba prototypového frézovacího nástroje s příslušnými prototypovými břitovými destičkami proběhla podle výrobní dokumentace. Zde se sledovalo dodržování důležitých rozměrových vlastností pro funkčnost jak nástroje tak i VBD.
2. Základní rozměrové vlastnosti byli prováděny na třech vyrobených prototypových frézách 160C10R-F60SN17X , u kterých se sledovaly měřením předepsané rozměry a parametry jako : řezný průměr  $D$ , výška nástroje  $L$ , upínací průměr  $d_1$ , dotah  $a$ , a tvrdost podle Rockwella.
3. Všechny měřené parametry u prototypových fréz se vešly do povolených tolerancí výkresově předepsanou dokumentací.
4. Pro ověření výrobní dávky VBD se podle výkresové dokumentace sledovali tyto základní parametry: průměr vepsané kružnice  $d$ , výška  $s$ .
5. Parametry měřené na VBD byly podle výkresové dokumentace opět shodné s tolerancí předepsané na dokumentaci.
6. Prvotní zkoušky obráběním, které se prováděli k ověření prvotních funkčních vlastností byly provedeny na zkušební firmě Pramet Tools s.r.o. Cílem těchto zkoušek bylo ověřit chování nástroje v řezu. Kontrolovat způsob utváření třísky a její chování při odchodu z místa řezu, její vzhled, tvar a velikost. Dále vlastnosti nástroje při chodu v řezu z hlediska hlučnosti, vibrací, chvění a zároveň i použití nástroje při daných parametrech rozsahů posuvů na zub  $f_z$  a aplikace maximální axiální hloubky řezu  $a_{p \max}$ . Posuzování a hodnocení zkoušek se provádělo na použitém testovaném materiálu oceli 12 050.1 který je pokládán za etalonový materiál.
7. Podle daných řezných podmínek byl vytvořen utvářecí diagram obr.22 pro daný typ VBD. Na tomto diagramu lze spatřit třísky, které byly odebrány při každé změně parametrů frézování, a tím bylo možno hodnotit chování nástroje při předepsaných popřípadě i rozšířených rozsahů parametrů pro tento nástroj. Dále se hodnotila drsnost povrchu po obrábění.



8. Řezné vlastnosti prototypového nástroje byly ověřeny u vybraných zákazníků. U těchto zkoušek bylo cílem porovnat výsledky předchozího zkoušení na zkušebně Pramet Tools s.r.o. s podmínkami uvedení nástroje do reálné praxe s jiným strojním vybavením a jinými volbami řezných podmínek v závislosti na obráběném materiálu popřípadě porovnat vlastnosti prototypového nástroje se stávajícími používanými nástroji u zákazníka.
9. Výsledkem obráběním u zákazníka na obrobně Vítkovice Testing Center, Ostrava se nástroj při srovnání s dosavadně používaným nástrojem porovnávalo jeho chování při obrábění na zkušebních vzorcích z konstrukční oceli 11 523, 11 503, ocelolitiny GS-60 a vysoko-pevnostní kalené oceli s označením S690QL. Prototypový nástroj se vyznačoval velkou spolehlivostí chodu v řezu bez vibrací a chvění. Zde bylo možné při vlastním testování rozšířit velikost posuvů na zub  $f_z$  a tím zvýšit produktivitu práce. Nástroj dokázal obrobit vysoko-pevnostní kalenou ocel S690QL, kterou dosavadní nástroj nedokázal obrobit.
10. Další zkouška obrábění u zákazníka probíhala ve firmě Klima, Prachatice kde cílem zkoušení bylo porovnání nástroje stávajícího s prototypovým na stejném materiálu obrobku. Zde bylo zjištěno, že získané hodnoty prototypového nástroje jsou mnohem lepší při zvolených řezných parametrech, ale na úkor menší trvanlivosti bříty prototypového nástroje. Při porovnání objemu odebraného materiálu za minutu byl prototypový nástroj výkonnější než doposud používaný.

Prototypový frézovací nástroj při vyhodnocení všech uvedených zkoušek měření a testování je ve výsledku připraven k použití do praxe jako polohrubovací nástroj s označením 160C10R-F60SN17X s osazením prototypových VBD typu SNMR 1706DZSR-M; 8230.

Jelikož byl nástroj podroben jen některým metodám zkoušení mohlo by být v dalším období provedeno podrobné testování nástroje při obrábění například na korozivzdorné oceli a litině a podrobení zkouškám na určení řezných sil, dále pokračovat na porovnávacích trvanlivostních zkouškách. Další test nástroje by mohl spočívat a ukázat chování nástroje v případě, že by byla při obrábění použita procesní kapalina. Pro lepší kvalitu povrchu navrhnout konstrukci VBD s hladíci úkosy, kde by bylo možno nástroj použít i při dokončovacích operacích. Věnovat se nadále



zkouškám životnosti a trvanlivosti VBD při daných řezných podmínkách na různém druhu materiálu a rozšířit porovnání prototypu se současným sortimentem polohrubovacích nástrojů konkurence jako je (Iscar, Sandvik, Seco, Walter..).



## Použitá literatura

- [1] BRYCHTA, J.; ČEP, R.; NOVÁKOVÁ, J.; PETŘKOVSKÁ, L. *Technologie II-2. díl.* VŠB - TU Ostrava, 2008. 141 s. ISBN 978-809248-1822-1.
- [2] Návod k obsluze pro vertikální seřizovací přístroje BMD 410v, 415v, 440v, 445v, 460v, 465v, vydal: BMD a.s., Modlanská 1, 415 01 Teplice.
- [3] PRAMET. *Frézování: katalog 2009.* PRAMET TOOLS, s. r. o., 2009., 296 s.
- [4] Návod k obsluze č. 3754315, Výškoměr Digimar CX1/DX1, vydal: Mahr GmbH, Brauweg 38, D-37073, Göttingen, Německo
- [5] KOČMAN, K. A PROKOP, J. *Technologie obrábění. 1. vyd.* Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2001. 270 s. ISBN 80-214-1996-2.
- [6] VASILKO, K. *Analytická teória trieskového obrábania.* Fakulta výrobných technológií TU v Košiciach, so sídlom v Prešove, 2007. 338 s. ISBN 978-80-8073-759-7.
- [7] VASILKO, K.; HAVRILA, M.; MARCINČIN-NOVÁK, J.; MÁDL, J.; ZAJAC, J. *Top trendy v obrábání, III. část – Technologie obrábění.* Žilina : Media/ST, s.r.o Žilina, 2006. 214 s. ISBN 80-968954-2-7.
- [8] Internetové stránky firmy Pramet Tools s.r.o. dostupné na adrese: <<http://pramet.com/indexad49.html?menu=firma1>> dne 3.3 2009, 19:16
- [9] VALOŠEK, F., *Manuál ocelí.* Ostrava: Dům techniky Ostrava, spol. s r.o., 1993.



- [10] ANTONÍN VAŇÁK, *Technologie frézování pracovní listy*. Střena odborná škola a Střední odborné učiliště, Šumperk, Gen. Krátkého 30, 2007. dostupné na <[http://www.sossou-spk.cz/esf/Tec\\_fr.pdf](http://www.sossou-spk.cz/esf/Tec_fr.pdf) > dne 12.4.2009, 19:20.
- [11] Interní materiál společnosti SECO Tools A.B.
- [12] DAVID A. STEPHENSON; JOHN S. AGAPIOU. *Metal cutting theory and practice*. New York: Nakladatelství Marcel Dekker, Madison Avenue New York 10016, 1996



## Seznam příloh

- Příloha č.1 Výkres Prototypového frézovacího nástroje  
Příloha č.2 Výkres prototypové VBD  
Příloha č.3 Tabulka naměřených hodnot VBD  
Příloha č.4 Výsledky naměřených hodnot drsností povrchu



## Poděkování

Poděkování bych chtěl vyjádřit zejména pracovníkovi vývojového oddělení firmy Pramet Tools s.r.o. Ing. Martinu Binderovi za odbornou konzultaci, materiální a technickou pomoc při řešení praktické části této práce.

Za odborné vedení, teoretické připomínky dále patří poděkování Ing. Lence Petřkovské při tvorbě této diplomové práce.