

# **Vývoj podmínek testování číslicově řízených strojů**

## **Development of conditions applicable to the testing of numeric control machines**

Bc. Jiří Moučka

Diplomová práce  
2011

 Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta technologická  
Ústav výrobního inženýrství  
akademický rok: 2010/2011

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Jiří MOUČKA**  
Osobní číslo: **T090563**  
Studijní program: **N 3909 Procesní inženýrství**  
Studijní obor: **Řízení jakosti**

Téma práce: **Vývoj podmínek testování číslíkově řízených strojů**

Zásady pro vypracování:

1. Hodnoťte teorii a technologii frézování.
2. Uveďte základy programování číslíkově řízených strojů.
3. Popište metody testování číslíkově řízených strojů.
4. Uveďte technologii výroby vzorového dílu.

Rozsah diplomové práce:

Rozsah příloh:

Forma zpracování diplomové práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

- 1.Kocman,K.:Speciální technologie.Obrábění.CERM Brno.2004
- 2.Lukovics,I.:Konstrukční materiály a technologie.V VUT Brno.1990
- 3.Marek,J. aj.:Konstrukce CNC obráběcích strojů.MM publishing, s.r.o.Praha.2010
- 4.Štulpa,M.:CNC obráběcí stroje a jejich programování.BEN Praha,2008

Vedoucí diplomové práce: **prof. Ing. Imrich Lukovics, CSc.**

Ústav výrobního inženýrství

Datum zadání diplomové práce: **14. února 2011**

Termín odevzdání diplomové práce: **13. května 2011**

Ve Zlíně dne 5. ledna 2011



doc. Ing. Petr Hlaváček, CSc.  
*děkan*



doc. Ing. Miroslav Maňas, CSc.  
*ředitel ústavu*

## PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že

- beru na vědomí, že odevzdáním diplomové/bakalářské 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 právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby <sup>1)</sup>;
- beru na vědomí, že diplomová/bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k nahlédnutí, že jeden výtisk diplomové/bakalářské práce bude uložen na příslušném ústavu Fakulty technologické UTB ve Zlíně a jeden výtisk bude uložen u vedoucího práce;
- byl/a jsem seznámen/a s tím, že na moji diplomovou/bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3 <sup>2)</sup>;
- beru na vědomí, že podle § 60 <sup>3)</sup> odst. 1 autorského zákona má UTB ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- beru na vědomí, že podle § 60 <sup>3)</sup> odst. 2 a 3 mohu užít své dílo – diplomovou/bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování diplomové/bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tedy pouze k nekomerčnímu využití), nelze výsledky diplomové/bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem diplomové/bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Ve Zlíně 26. 4. 2011



.....

---

<sup>1)</sup> zákon č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, § 47 Zveřejňování závěrečných prací:

(1) Vysoká škola nevýdělečně zveřejňuje disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce, u kterých proběhla obhajoba, včetně posudků oponentů a výsledku obhajoby prostřednictvím databáze kvalifikačních prací, kterou spravuje. Způsob zveřejnění stanoví vnitřní předpis vysoké školy.

(2) Disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce odevzdané uchazečem k obhajobě musí být též nejméně pět pracovních dnů před konáním obhajoby zveřejněny k nahlížení veřejnosti v místě určeném vnitřním předpisem vysoké školy nebo není-li tak určeno, v místě pracoviště vysoké školy, kde se má konat obhajoba práce. Každý si může ze zveřejněné práce pořizovat na své náklady výpisy, opisy nebo rozmnoženiny.

(3) Platí, že odevzdáním práce autor souhlasí se zveřejněním své práce podle tohoto zákona, bez ohledu na výsledek obhajoby.

<sup>2)</sup> zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 35 odst. 3:

(3) Do práva autorského také nezasahuje škola nebo školské či vzdělávací zařízení, užije-li nikoli za účelem přímého nebo nepřímého hospodářského nebo obchodního prospěchu k výuce nebo k vlastní potřebě dílo vytvořené žákem nebo studentem ke splnění školních nebo studijních povinností vyplývajících z jeho právního vztahu ke škole nebo školskému či vzdělávacímu zařízení (školní dílo).

<sup>3)</sup> zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 60 Školní dílo:

(1) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení mají za obvyklých podmínek právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla (§ 35 odst. 3). Odpírá-li autor takového díla udělit svolení bez vážného důvodu, mohou se tyto osoby domáhat nahrazení chybějícího projevu jeho vůle u soudu. Ustanovení § 35 odst. 3 zůstává nedotčeno.

(2) Není-li sjednáno jinak, může autor školního díla své dílo užít či poskytnout jinému licenci, není-li to v rozporu s oprávněnými zájmy školy nebo školského či vzdělávacího zařízení.

(3) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení jsou oprávněny požadovat, aby jim autor školního díla z výdělků jím dosaženého v souvislosti s užitím díla či poskytnutím licence podle odstavce 2 přiměřeně přispěl na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložily, a to podle okolností až do jejich skutečné výše; přitom se přihlídně k výši výdělků dosaženého školou nebo školským či vzdělávacím zařízením z užití školního díla podle odstavce 1.

## **ABSTRAKT**

Téma diplomové práce je zaměřeno na vytvoření komplexního řešení v postupu výběru nejvhodnějšího pětistého obráběcího centra pro strojní výrobu zaměřenou na obrábění obecných tvarových ploch. Důvod vytvoření uceleného souboru jednotlivých testů je, že na trhu existují pouze dílčí řešení, v kterých se neodrazí všechny skutečnosti nastávající při obrábění.

Teoretická část pojednává o základních pojmech v procesu obrábění. Praktická část řeší jednotlivé kroky při výběru obráběcího stroje.

Klíčová slova: frézování, test na obráběcím stroji, vyhodnocení

## **ABSTRACT**

The subject of the diploma thesis is focused on the creation whole solution in method of the selection of five axis milling machine for the engineering workshop with focus on the machining surface in shape. The reason why the set of compact data of practical test was originated is missing complex solution for common and easy evaluation of machine's parameter in real life.

The theoretic part will be pursued in general term of milling process. The practical part will be pursued each step in selection of the five axis milling machine.

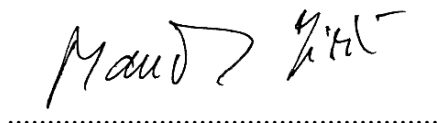
Keywords: milling, testing on the milling machine, evaluation

## PODĚKOVÁNÍ

Touto cestou bych chtěl poděkovat mému vedoucímu diplomové práce Prof. Ing. Imrichu Lukovicsovi, CSc. za ochotu, pomoc a cenné rady při vedení v průběhu realizace této diplomové práce.

Prohlašuji, že jsem na bakalářské/diplomové práci pracoval samostatně a použitou literaturu jsem citoval. V případě publikace výsledků, je-li to uvedeno na základě licenční smlouvy, budu uveden jako spoluautor.

Ve Zlíně 21.4.2011



Podpis studenta

# OBSAH

<b>ÚVOD</b> .....	<b>10</b>
<b>I TEORETICKÁ ČÁST</b> .....	<b>11</b>
<b>1 FRÉZOVÁNÍ</b> .....	<b>12</b>
1.1 ZPŮSOBY FRÉZOVÁNÍ .....	13
1.1.1 Frézování obvodem nástroje .....	13
1.1.2 Čelní frézování .....	15
1.1.3 Jiné druhy frézování .....	16
1.2 ZÁKLADNÍ POJMY A VÝPOČTY .....	17
1.3 VZNIK TRÍSKY .....	20
1.3.1 Plastická deformace v oblasti tvoření třísky při ortogonálním řezání .....	22
1.4 FRÉZOVACÍ NÁSTROJE .....	24
1.4.1 Válcové frézy .....	25
1.4.2 Úhlové frézy .....	26
1.4.3 Tvarové frézy .....	26
1.5 ZÁKLADNÍ ÚHLY NA ZUBU NÁSTROJE Z NÁSTROJOVÝCH OCELÍ.....	27
<b>2 FRÉZOVACÍ STROJE</b> .....	<b>30</b>
2.1 ZÁKLADNÍ POŽADAVKY KLADENÉ NA OBRÁBĚCÍ (FRÉZOVACÍ) STROJE .....	31
2.2 ZÁKLADNÍ DEFINICE A TRÍDĚNÍ OBRÁBĚCÍCH STROJŮ .....	32
2.2.1 Konzolové frézky .....	32
2.2.2 Speciální frézky .....	33
2.3 ČÍSLICOVĚ ŘÍZENÉ FRÉZKY .....	33
2.3.1 CNC stroje dle specializace: .....	34
2.3.2 CNC stroje dle konstrukce rámu: .....	34
2.4 VÝKONNOST OBRÁBĚCÍHO STROJE (OS).....	38
<b>3 SYSTÉMY ČÍSLICOVÉHO ŘÍZENÍ</b> .....	<b>40</b>
3.1 NC ŘÍDÍCÍ SYSTÉM.....	40
3.2 CNC ŘÍDÍCÍ SYSTÉM .....	41
3.3 DRUHY ŘÍZENÍ ČÍSLICOVÝCH SYSTÉMŮ .....	43
<b>II PRAKTICKÁ ČÁST</b> .....	<b>48</b>
<b>4 ÚVOD DO PRAKTICKÉHO TESTU OBRÁBĚNÍ NA 5 OSÉM STROJI</b> .....	<b>49</b>
<b>5 VYHODNOCENÍ KVALITY OBRÁBĚCÍCH STROJŮ</b> .....	<b>51</b>
5.1 INDEX KVALITY $I_k$ .....	51
5.1.1 Stanovení a výpočet indexu kvality jednotlivých skupin stroje .....	52
<b>6 VÝROBA TESTOVACÍCH DÍLŮ</b> .....	<b>61</b>



6.1	CHARAKTERISTIKA STROJNÍ VÝROBY DEFINICE VZOROVÉHO DÍLU.....	62
6.2	TEST Č. 1 – NCG DÍL .....	64
6.3	TEST Č. 2 – MĚKKÝ DÍL .....	68
6.3.1	Technologický postup přípravy polotovaru pro pěti osí stroj .....	69
6.3.2	Vyhrubování tvaru.....	70
6.3.3	Dohrubování tvaru.....	74
6.3.4	Frézování prvků na hotovo.....	75
6.4	TEST Č. 3 – TVRDÝ DÍL.....	78
6.4.1	Technologický postup přípravy tvrdého dílu .....	80
6.5	TEST Č. 4 – POLOHOVACÍ DÍL .....	82
6.5.1	Technologický postup přípravy polohovacího dílu.....	83
6.5.2	Technologický postup výroby na pětiosém stroji.....	83
	<b>ZÁVĚR .....</b>	<b>86</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....</b>	<b>88</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK .....</b>	<b>90</b>
	<b>SEZNAM OBRÁZKŮ .....</b>	<b>92</b>
	<b>SEZNAM TABULEK.....</b>	<b>94</b>
	<b>SEZNAM PŘÍLOH.....</b>	<b>95</b>

## ÚVOD

Evropský trh klade vysoké nároky na přesnost, kvalitu, produktivitu a termínovou spolehlivost. Aby výrobní podnik mohl zaručit nejen evropskému zákazníkovi uvedené požadavky, musí při nákupu nových obráběcích strojů velmi důkladně zvažovat, co bude obrábět a jakou technologií. Špatně zvolená výrobní technologie při nákupu nových technologií, vede k umělému navýšení hodinové sazby stroje, potažmo ceny konečného produktu.

Vysoké pracovní tempo a neustálé změny ve všech odvětvích výrobního podniku, znemožňuje zodpovědným pracovníkům provést důkladné analýzy všech nabízených a vybíraných obráběcích strojů. Významnou roli hraje rovněž technická zdatnost odpovědných pracovníků, kteří musí vzdorovat neustále rostoucímu, někdy až agresivnímu, tlaku prodejců. Z uvedených skutečností vyplývá, že při nákupu obráběcího stroje bez důkladné znalosti celého trhu, moderními konstrukčními trendy a fyzikální podstatou výkonových parametrů, má nejčastěji na konečné rozhodnutí kupujícího vliv agresivita prodávajícího.

Proto, aby zmiňovaná skupina pracovníků mohla aktivně čelit prodejním strategiím a zároveň efektivně a správně rozhodnout, je zapotřebí uceleného souboru jednotlivých testů, které odhalí maximum praktických skutečností, které obsluha stroje musí denně řešit.

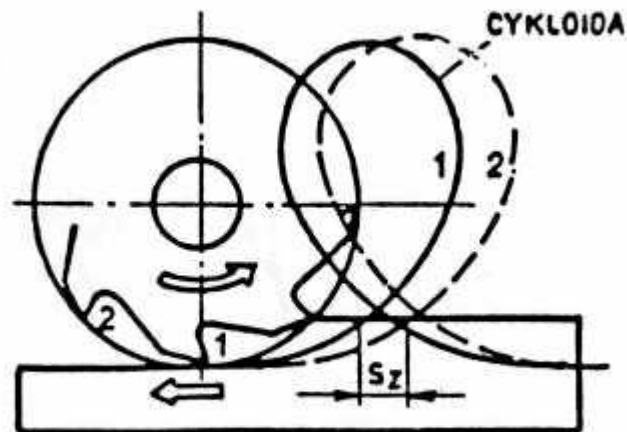
## **I. TEORETICKÁ ČÁST**

## 1 FRÉZOVÁNÍ

Frézování je operace třískového obrábění, při které je z obrobku odebrána vrstva materiálu ve formě jednotlivých třísek rotačním vícezubým nástrojem – frézou. Fréza se při práci otáčí kolem své osy a svými zuby po obvodě se postupně zařezává do obrobku, který se proti nástroji současně posouvá. Každý zub frézy postupně odřezává z obráběného materiálu krátké třísky nestejně tloušťky, takže proces řezání je přerušovaný. Touto metodou, použitím různých druhů frézovacích nástrojů, je možné obrábět na obrobcích především plochy rovinné, ale také plochy tvarové, šikmé, nepravidelné, rotační, dále drážky a vybrání různých tvarů, závitové drážky na rotačních plochách, různé druhy ozubení na ozubených kolech a hřebenech, rozdělování materiálu na různé délky apod. Toto široké uplatnění a možnost přesné výroby zařadily frézování na významné místo ve strojírenské výrobě. Frézování velkými řeznými rychlostmi ve většině případů umožňuje produktivnější a hospodárnější odebrání materiálu než při obrábění jednobřítými nástroji jako například hoblováním nebo obrážením. V některých zvláště složitých případech je frézování jediným možným způsobem obrábění.

### **Podstata frézování:**

Obrobek pevně upnutý na pracovním stole frézky vykonává směrem k nástroji plynulý pohyb – pracovní posuv – pohyb vedlejší. V některých případech (např. při výrobě ozubení odvalovacím způsobem) se místo obrobku posouvá otáčející se nástroj. Každý břit frézy vykonává během řezání kromě otáčivého pohybu ve vztahu k obrobku relativně také pohyb posuvný. Z toho plyne, že záběrová dráha každého zubu není kruhová, ale ve skutečnosti tato dráha má tvar cykloidy. Jde o řezný pohyb zubu – pohyb hlavní. [1]



Obr. 1 Dráha ostří zuby

## 1.1 Způsoby frézování

Nástroj může materiál obrábět buď jeho obvodem, nebo čelem.

### 1.1.1 Frézování obvodem nástroje

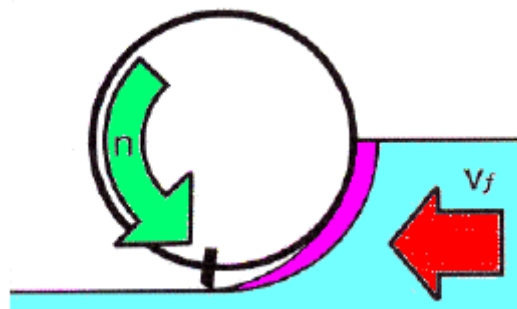
Používá se převážně při práci s válcovými a tvarovými frézami. Zuby jsou vytvořeny jen na válcovém obvodu nástroje. Hloubka řezu se nastavuje kolmo na osu frézy a směr posuvu. Obrobená plocha je rovnoběžná s osou otáčení frézy. Způsob vytváření takové plochy a průběh vytváření třísky závisí na smyslu otáčení frézy ke směru posuvu obrobku.

Pro obvodové frézování platí, že se snažíme použít frézu o největším průměru (s přihlédnutím na optimální hodnotu náběhu a přeběhu vzhledem k obrobku). S rostoucím průměrem nástroje se zmenšuje jeho maximální úhel záběru a zvětšuje se délka třísky na úkor její tloušťky, ale také se zvětšuje měrný řezný odpor a hodnoty pružných deformací. Protože u silnější třísky se pružné deformace snižují a také klesají měrný řezný odpor i teplota při řezání, dovoluje nám větší průměr frézy pracovat s větším pracovním posuvem obrobku. K výhodám většího průměru nástroje patří také klidnější chod a větší počet zubů v záběru, umožňující zvýšení posuvu na jeden zub.

Podle toho rozeznáváme dva způsoby frézování:

### 1. Nesousledné frézování:

Fréza se otáčí proti směru posuvu, průřez třísky se postupně zvětšuje od 0 do maximální hodnoty. Výsledná řezná síla směřuje ven z obrobku z čehož plynou vyšší nároky na upnutí součástí. Při záběru třísky od nulové hodnoty se břit nástroje "sklouzne" po obráběné ploše což zapříčiňuje horší drsnost obrobku. Výhodou tohoto způsobu je, že práce frézy je klidná, bez rázů. Je výhodný pro frézování obrobků s tvrdou povrchovou vrstvou (výkovků, odlitků) – břity do tvrdé vrstvy vnikají zespodu a potom ji odlamují, což se projeví v tom, že se břity tak rychle neotupují.



Obr. 2 Nesousledné frézování

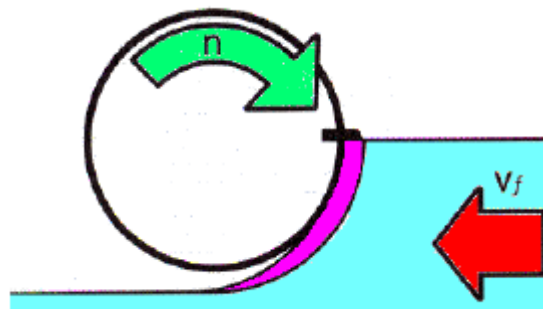
### 2. Sousledné frézování:

Fréza se otáčí ve směru posuvu, průřez třísky se mění od maximální hodnoty do 0. Při tomto způsobu záběru třísky dosáhneme lepší drsnost obrobku. Výsledná řezná síla směřuje do obrobku. Tento způsob obrábění zajišťuje menší nároky na upnutí. Výkon při sousledném frézování je o 30 až 50 % vyšší než při nesousledném frézování při stejné trvanlivosti nástroje. Nevýhodou sousledného frézování jsou rázy, které vznikají při záběru každého zubu do materiálu v místě největší tloušťky třísky. Tyto rázy můžeme odstranit použitím fréz s šikmými zuby. Tloušťka třísky se při řezání zmenšuje a odděluje se od materiálu v nejslabším místě, kdy břit vychází ze záběru. Při záběru frézy do obráběného materiálu může vlivem vůle dojít ke vtahování obrobku pod frézu, což by mělo za následek poškození břitu frézy. Proto tento způsob není vhodný pro frézování materiálů s nečistým povrchem a s tvrdou povrchovou vrstvou.

Výhodou tohoto způsobu frézování je, že řezná síla tlačí obrobek do upínače, což dovoluje práci při vyšší řezné rychlosti a hloubce řezu. Břity frézy se s již obrobekou plochou nestý-

kají, nedochází k jejich zahřívání a otupování, obrobená plocha je kvalitnější. Je vhodné pro obrábění houževnatých a měkkých materiálů.

Frézky pro sousledné frézování musí mít zařízení pro vymezení vůlí mezi posuvovým šroubem stolu a jeho maticí nebo mají pohon řešen pomocí kuličkových šroubů (bezvůlové uložení).



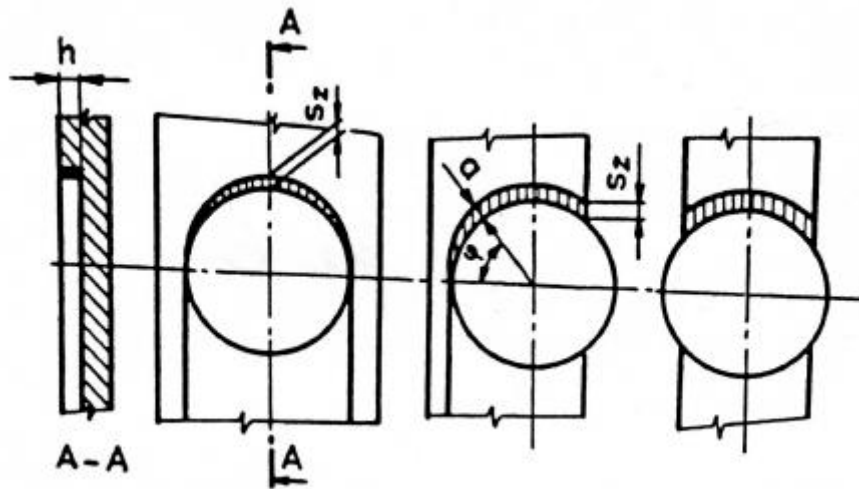
Obr. 3 Sousledné frézování

### 1.1.2 Čelní frézování

Osa frézy je kolmá k obráběné ploše. Materiál je odřezáván nejen břity na obvodu, ale také břity na čelní ploše frézy. Tloušťka třísky se mění od minima do maxima podle velikosti průměru frézy a šířky obráběné plochy. Pro obvodové frézování platí, že se snažíme použít frézu o největším průměru (s přihlédnutím na optimální hodnotu náběhu a přeběhu vzhledem k obrobku). S rostoucím průměrem nástroje se zmenšuje jeho maximální úhel záběru a zvětšuje se délka třísky na úkor její tloušťky, ale také se zvětšuje měrný řezný odpor a hodnoty pružných deformací. Protože u silnější třísky se pružné deformace snižují a také klesají měrný řezný odpor i teplota při řezání, dovoluje nám větší průměr frézy pracovat s větším pracovním posuvem obrobku. K výhodám většího průměru nástroje patří také klidnější chod a větší počet

zubů v záběru, umožňující zvýšení posuvu na jeden zub.

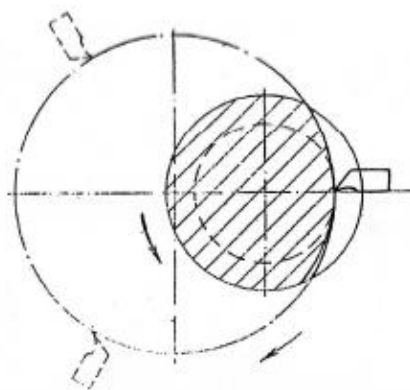
Tento způsob frézování je výkonnější, protože při něm zabírá více zubů současně, díky čemuž se může volit větší posuv stolu.



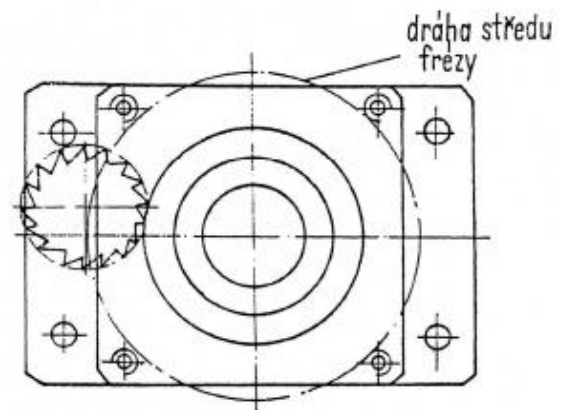
Obr. 4 Čelní frézování – varianty

### 1.1.3 Jiné druhy frézování

Do kategorie jiného druhů frézování můžeme zahrnout např., okružní, planetové atd. u konvenčních strojů se vždy jedná o jednoúčelové speciální stroje. CNC stroje nám umožňují pružnou změnu frézovacího cyklu, který je definovaný operačním systémem. [1]



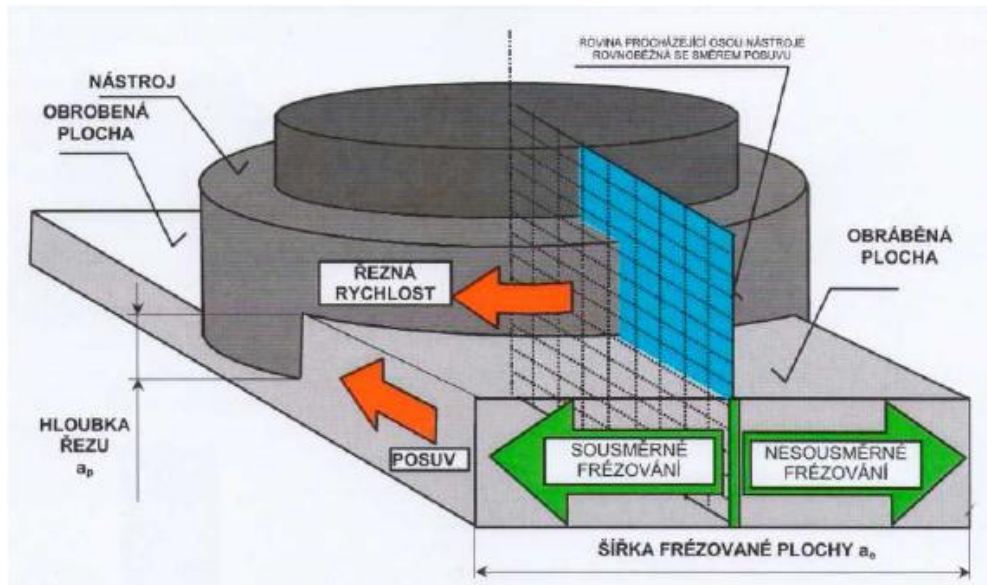
Obr. 5 Okružní frézování



Obr. 6 Planetové frézování



## 1.2 Základní pojmy a výpočty



Obr. 7 Řez nástroje v materiálu

- **Obrábění** je technologický proces, při kterém vytváříme povrchy určitého tvaru, rozměrů a jakosti povrchu. Obrábění se uskutečňuje v soustavě stroj – nástroj – obrobek je spojeno s odebráním materiálu účinky mechanickými, elektrickými a chemickými, popř. jejich kombinací.
- **Řezání**, je způsob obrábění, při kterém dochází k úběru částic materiálu ve formě třísek břitem nástroje.
- **Obrobek** je to obráběný nebo již obroběný předmět. Předmět, který se teprve bude obrábět, se nazývá polotovar.
- **Obráběná plocha** - jedná se o plochu, z níž se odebírá vrstva materiálu, která se mění v třísku, tzn., je to plocha, ze které bude odebírán materiál.
  - **Obrobená plocha** - je to nová plocha, vzniklá obráběním.
  - **Plocha řezu** – plocha, která se vytváří na obrobku hlavním a vedlejším břitem nástroje a tvoří přechod mezi obráběnou a obrobenou plochou,
- **Řezný pohyb** je vzájemný pohyb mezi obrobkem a nástrojem a skládá se obvykle ze dvou složek:

- Ze složky hlavního řezného pohybu – shoduje se základním pohybem obráběcího stroje (vřeteno u soustruhů, vrtaček, frézek, smýkadlo u obráběček), může být otáčivý, přímočarý nebo složený.
- Ze složky vedlejšího řezného pohybu, která se skládá ze dvou pohybů:
  - a) **posuv** – dohromady s hlavním řezným pohybem, umožňuje obrábění, bývá kolmý na směr hlavního řezného pohybu, vykonává jej nástroj nebo obrobek.
  - b) **přísuv** – umožňuje nastavení hloubky řezu.
- **Řezná rychlost:** jedná se o rychlost hlavního rotačního pohybu, kterou při frézování vykonává nástroj (u nástrojů s úhlem  $\chi_r = 90^\circ$  je řezná rychlost nezávislá na hloubce řezu  $ap$ ). Volí se podle obrobiteľnosti materiálu, materiálu nástroje a způsobu obrábění.

$$v_c = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000} [m \cdot \min^{-1}] \quad (1)$$

$V_c$  = řezná rychlost [m/min]

$D$  = průměr nástroje [mm]

$n$  = počet otáček vřetene [1/min]

- **Řezný čas:** udává dobu, kterouž nástroj v řezu. Tento údaj slouží jako doba trvanlivosti nástroje v řezu.

$$t_s = \frac{L}{S_{\min}} [\min] \quad (2)$$

$L$  – celková délka dráhy nástroje.

$S_{\min}$  – posuv za minutu

- **Velikost posuvu** – můžeme zadávat jako:

**Posuv na 1 zub  $S_z$**  – vyhledáme v tabulkách [mm/1 zub]

**Posuv na otáčku  $S_o = sZ \cdot z$**

**$z$**  – počet zubů frézy

**Posuvová rychlost –  $S_o \cdot n = S_z \cdot z \cdot n$**  [mm·min<sup>-1</sup>] (3)

**$n$**  – počet otáček [min<sup>-1</sup>]

- **Výkon při frézování** – závisí na obrobitelnosti frézovaného materiálu a typu frézovacího nástroje.

Měrný výkon  $U_m$  [cm<sup>3</sup>/min], tj. úběr materiálu dosahovaný výkonem 1 kW, bývá v těchto hodnotách:

Tab. 1 Měrný výkon [3]

	$s_z = 0,06$ mm		$s_z = 0,25$ mm	
	frézy ostré	frézy tupé	frézy ostré	frézy tupé
ocel ~ 50 kp/mm <sup>2</sup>	14 cm <sup>3</sup> /min	7,5 cm <sup>3</sup> /min	23,5 cm <sup>3</sup> /min	15 cm <sup>3</sup> /min
ocel 51 až 80 kp/mm <sup>2</sup>	13 cm <sup>3</sup> /min	7 cm <sup>3</sup> /min	22 cm <sup>3</sup> /min	14 cm <sup>3</sup> /min
ocel 81 až 100 kp/mm <sup>2</sup>	12 cm <sup>3</sup> /min	6,5 cm <sup>3</sup> /min	20 cm <sup>3</sup> /min	11 cm <sup>3</sup> /min
litina 170 až 190 HB	25 cm <sup>3</sup> /min	9,5 cm <sup>3</sup> /min	34 cm <sup>3</sup> /min	22 cm <sup>3</sup> /min
litina 191 až 210 HB	21 cm <sup>3</sup> /min	8 cm <sup>3</sup> /min	31 cm <sup>3</sup> /min	20,5 cm <sup>3</sup> /min

Efektivní výkon motoru:

$$N = \frac{t \cdot b \cdot s_{\min}}{1000 \cdot U_m} [kW] \quad (4)$$

$t$  – hloubka odfrézované vrstvy,

$b$  – šířka frézované plochy [mm],

$S_{\min}$  – posuv za minutu

- **Měrný řezný odpor** – je především určen fyzikálními vlastnostmi materiálu obrobku a nástroje, geometrií bříty nástroje a velikost průřezu odřezávaného materiálu, vlivu obráběcího prostředí atd. tyto faktory ovlivňují velikost hlavní složky řezného odporu.

$$p = \frac{F_c}{S} = [kp \cdot mm^{-2}] \quad (5)$$

$F_c$  – řezná síla (odpor)

$p$  – měrný řezný odpor

$S$  – průřez třísky  $S=a \cdot b$  [ $mm^2$ ]

Známe – li velikost měrné řezné síly pro daný případ obrábění (určitý materiál obrobku a určité řezné podmínky), můžeme pro všechny způsoby obrábění a průřez třísky  $S$  [ $mm^2$ ] určit velikost tangenciální řezné síly z rovnice:

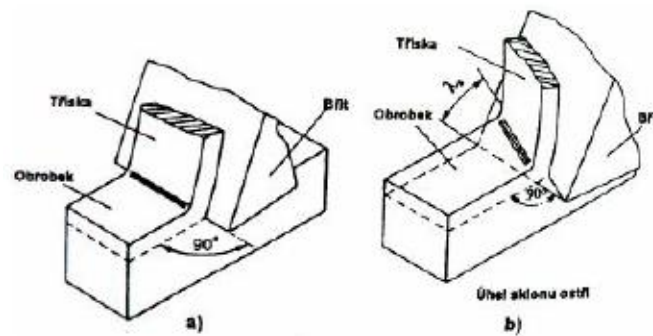
$$F_c = p \cdot S [kp] \quad (6)$$

Měrná řezná síla pro daný materiál není konstantní, ale mění se s použitými řeznými podmínkami. [4]

### 1.3 Vznik třísky

Řezný proces je realizován v soustavě stroj, nástroj, obrobek. Prioritní výstup z procesu je jakost obrobené plochy. Z tohoto hlediska je kladen zvláštní význam na problematiku identifikovaného tvoření třísky.

Řezný proces může probíhat v režimu ortogonálním nebo obecném.



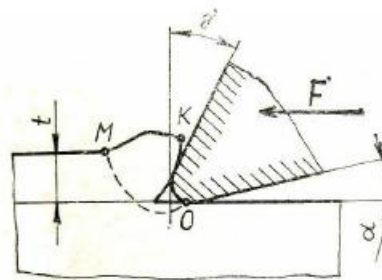
Obr. 1 Řezný proces

a – ortogonální; b – obecný

Při ortogonálním řezání je ostří kolmé na směr řezného pohybu a daná problematika se řeší v rovině (zapichování, frézování nástrojem s přímými zuby, protahování).

Při obecném řezání je třeba danou problematiku řešit v prostoru (podélné soustružení, vrtání, frézování nástrojem se zuby ve šroubovici). [6]

Podstatou řezání při obrábění je oddělování částic materiálu v podobě třísek. Břit nástroje je silou  $F$  vtlačován do povrchové vrstvy  $t$ , která musí být z obrobku odstraněna. Rychlost pohybu řezného nástroje je určena řeznou rychlostí a síla, kterou se břit nástroje do vrstvy vtlačuje, je řezná síla. [7]



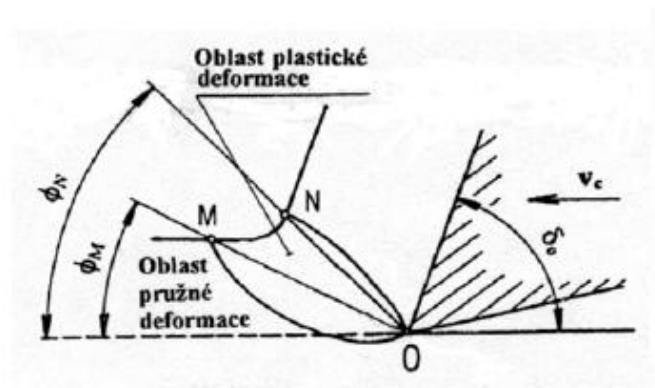
Obr. 2 Vznik třísky

U krystalických látek dochází při vnikání břitu nástroje do obrobku k plastické deformaci obráběného materiálu a vzniká tříska tvářená. U nekrystalických látek se odděluje tříska křehkým lomem nebo štěpením, nedochází k plastické deformaci a vzniklá tříska je netvářená. Většinu technických materiálů, které se v technické praxi obrábějí, tvoří materiály krystalické, zejména kovy. Teoretické a experimentální studie se u těchto materiálů provádí zpravidla pro případ ortogonálního řezání. [6]

### 1.3.1 Plastická deformace v oblasti tvoření třísky při ortogonálním řezání

Při řezném procesu dochází v oblasti tvoření třísky k pružným a následně plastickým deformacím v odřezávané vrstvě; před břitem nástroje – primární plastické deformace a v povrchových vrstvách třísky ve styku s čelem nástroje – sekundární plastické deformace.

Při relativním pohybu nástroje vůči obrobku působí na odebíranou vrstvu materiálu vnější zatížení, které v této vrstvě vyvolává napětí viz Obr. 3 na kterém je znázorněna oblast plastických deformací v odřezávané vrstvě při ortogonálním řezání, kde MO – počátek plastických deformací; NO – konec plastických deformací;  $\delta_0$  – nástrojový ortogonální úhel řezu ( $\delta_0 = \alpha_0 + \beta_0$ ). [8]



Obr. 3 Primární plastické deformace

Při zvýšení řezné rychlosti se deformační oblast zužuje a to tak, že úhly  $\Phi_M$  a  $\Phi_N$  rostou ( $\Phi_M$  rychleji než  $\Phi_N$ ). Při vysokých řezných rychlostech OM a ON prakticky splývají a zjednodušeně můžeme uvažovat, že ke vzniku třísky dochází plastickým skluzem v rovině stříhu  $\mathbf{P}_{sh}$ , jejíž poloha je určena úhlem roviny stříhu  $\Phi$  viz Obr. 4, na kterém je zjednodušený model tvorby elementů třísky při ortogonálním řezání při pohledu na pracovní rovinu  $\mathbf{P}_{fc}$  v hlavním bodě ostří D.



větší vliv řezná rychlost, zejména svým vlivem na deformační rychlost a na teplotu povrchových vrstev třísky. Dále je ovlivněn úhel  $\varphi_t$  mazacím médiem, které snižuje součinitel tření na čele. [8]

## 1.4 Frézovací nástroje

Frézy jsou několikabřité nástroje, jejichž břity jsou uspořádány na válcové, kuželové nebo jiné tvarové ploše, u čelních fréz také na čelní ploše: Frézy můžeme rozdělit do jednotlivých skupin podle:

- **Způsobu výroby zubů** – rozeznáváme frézy s frézovanými zuby (brousí se na čele i na hřbetě, používají se pro jednodušší tvary) a frézy s podsoustružovanými nebo podbrušovanými zuby (hřbet zubu tvoří Archimédova spirála, mají nulový úhel čela, brousí se jen na čele a používají se pro složité tvarové plochy).
- **Počtu dílů** – celistvé, dělené, s vkládanými zuby (přivařené, připájené, mechanicky upnuté). Podle způsobu upnutí – nástrčné, s válcovou (kuželovou) stopkou.
- **Smyslu otáčení** – pravořezné a levořezné. Pravořezná fréza se otáčí ve směru hodinových ručiček při pohledu od vřetena. Aby axiální řezný tlak směřoval do vřetena, řezná hrana pravořezných fréz má obvyčně levou šroubovici a naopak. U složených fréz má jedna fréza pravou, druhá levou šroubovici z čehož plyne, že se axiální síly ruší.
- **Funkce** – válcové, čelní válcové, drážkovací, kotoučové, tvarové, úhlové, kuželové, rádiusové, na ozubení, na závity apod.



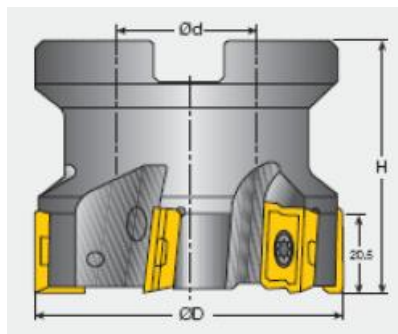
Obr. 5 Frézy



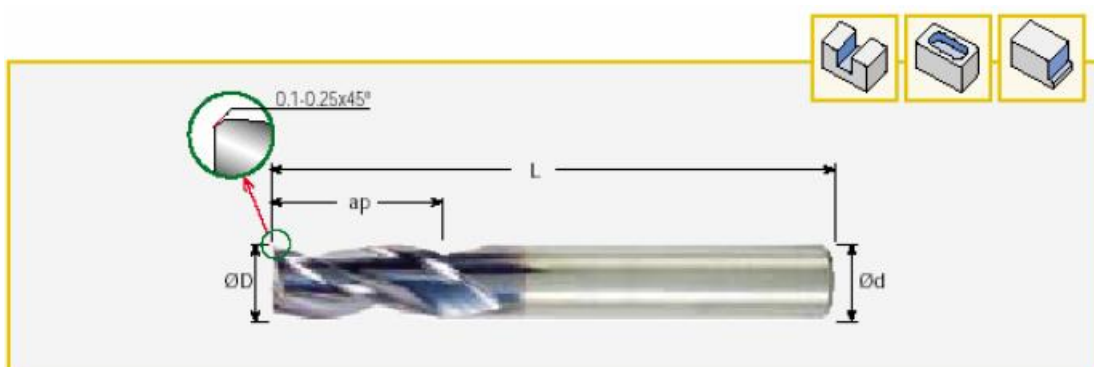
### 1.4.1 Válcové frézy

Mají zuby pouze na obvodě frézy, používají se pro frézování rovinných ploch rovnoběžných s osou nástroje. Břity nástrojů pro hrubování bývají opatřeny drážkami pro dělení třísek k dosažení vyššího výkonu.

Čelní válcové frézy mají zuby na obvodě i na jedné čelní ploše, umožňují frézování rovinných ploch kolmých i rovnoběžných na osu nástroje. Velké čelní frézy nazýváme frézovací hlavy, malé čelní válcové frézy nazýváme stopkové. Do této skupiny můžeme zařadit také frézy drážkovací a frézy na "T" drážky.



Obr. 6 Nástrčná frézovací hlava



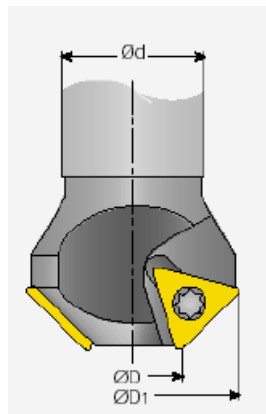
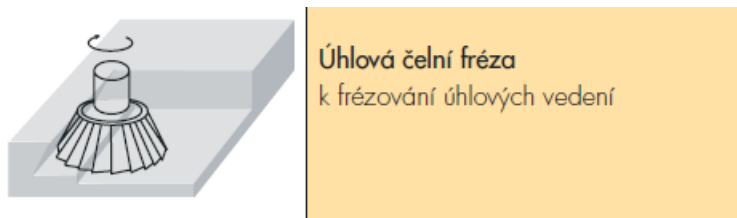
Obr. 7 Stopková celokarbidová fréza



Obr. 8 Nástrčná válcová čelní fréza

### 1.4.2 Úhlové frézy

Používají se pro frézování různých úhlových profilů (úkosity, sražení, rybinová vedení, zubové mezery fréz, výstružníků apod.). Mohou být souměrné a nesouměrné (jsou určeny pro frézování šroubových drážek), jednostranné nebo oboustranné.

Obr. 9 Stopková fréza  
pro srážení hran

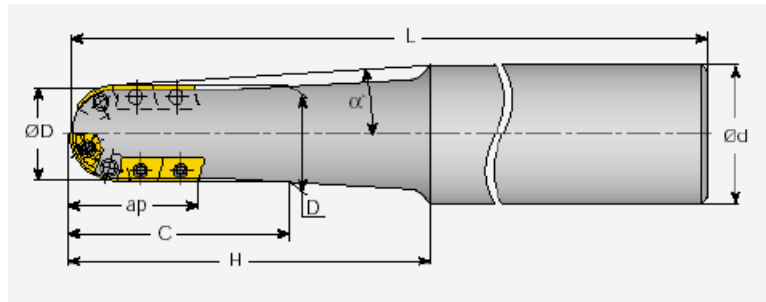
Obr. 10 Úhlová čelní fréza

### 1.4.3 Tvarové frézy

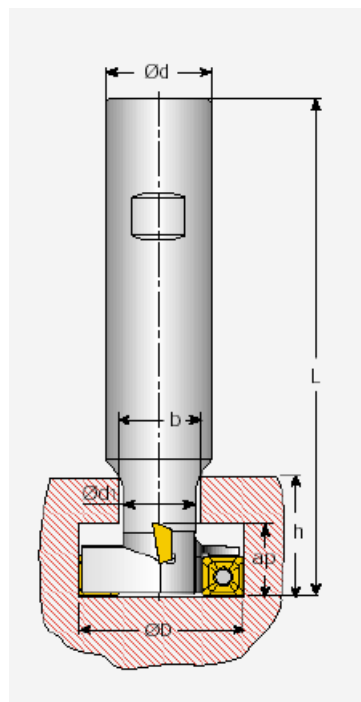
Zachovávají stálý tvar a úhel hřbetu i po mnohonásobném ostření (ostření se provádí pouze na čele). Těto vlastnosti dosáhneme podsoustružením nebo podbroušením tvaru zubu. Pod-

soustružování se může provádět radiálně, axiálně nebo šikmo. Podsoustružování se provádí na speciálních strojích, kde je pohyb nože řízen vačkou.

Druhá varianta spočívá ve výměnných karbidových břitových destičkách, které se upínají do definovaného upínače. Břitové destičky již mají požadovaný tvar a po otupení se již nepřebřušují, recyklují se.



Obr. 11 Stopková fréza s čelními půlkruhovými břity



Obr. 12 Drážkovací fréza

## 1.5 Základní úhly na zubu nástroje z nástrojových ocelí

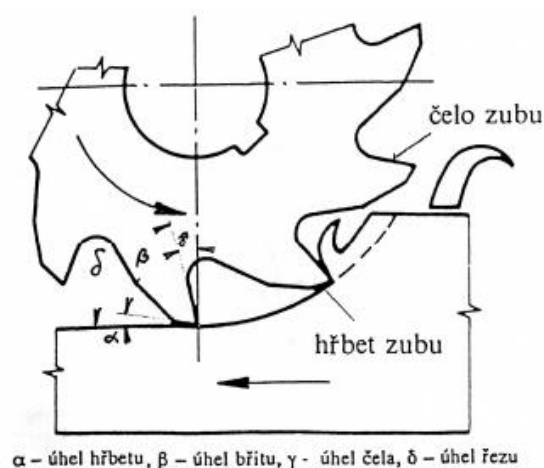
- **Úhel hřbetu  $\alpha$  (alfa)** – je úhel svíraný mezi hřbetem zubu frézy a tečnou k obvodu nástroje (řeznou rovinou). Jeho úkolem je snižovat tření hřbetu zubu na obráběné

ploše. Čím větší je jeho hodnota, tím je tření menší. Jeho velikost je však omezena (viz. tabulka č. 1), aby nedocházelo k přílišnému zeslabování zubu a tím snižování jeho pevnosti.

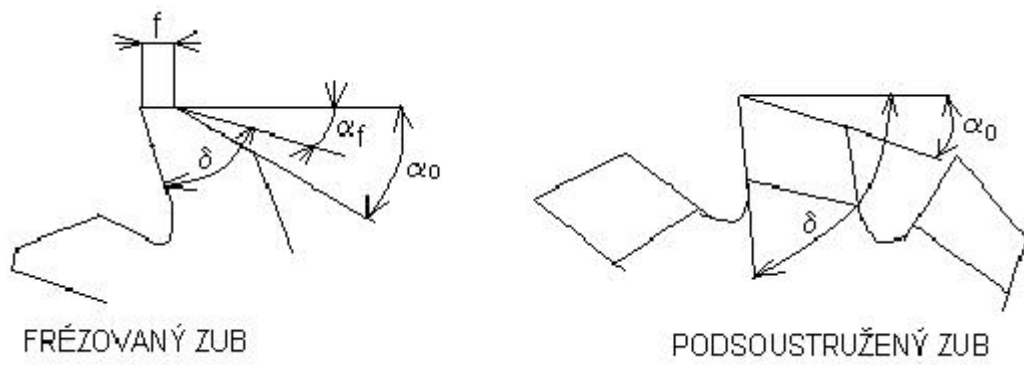
- **Úhel břitu  $\beta$  (beta)** – je úhel svíraný plochou hřbetu a plochou čela. Čím menší tento úhel je, tím je snadnější jeho vnikání do materiálu. Jeho hodnota je omezena pevností břitu. Pro frézování měkkých a málo pevných materiálů mívá úhel  $\beta$  menší hodnotu, naopak pro tvrdé a pevné materiály musí mít hodnotu větší, aby snesl zatížení vyvolané velkým řezným odporem.
- **Úhel čela  $\gamma$  (gama)** – je úhel mezi plochou čela břitu a spojnicí špičky břitu se středem otáčení frézy. Usnadňuje tvoření třísky a vnikání břitu do materiálu. Jeho rostoucí hodnota zeslabuje celý břit frézy, proto je také tabulkově omezena.
- **Úhel řezu  $\delta$  (delta)** – je úhel, který svírá plocha čela a tečna k obvodu frézy, (řezná rovina) – je vlastně součtem úhlů břitu a hřbetu ( $\delta = \alpha + \beta$ ).

Kromě těchto základních úhlů se na nástroji vyskytují další úhly, z nichž nejdůležitější jsou:

- **Úhel sklonu ostří  $\lambda$  (lambda)** – je úhel, který svírá osa otáčení frézy a tečna k šroubovici břitu. Vyskytuje se u nástrojů s břity šikmými, šroubovitými, střídavými a šípovými.



Obr. 13 geometrie břitu frézy



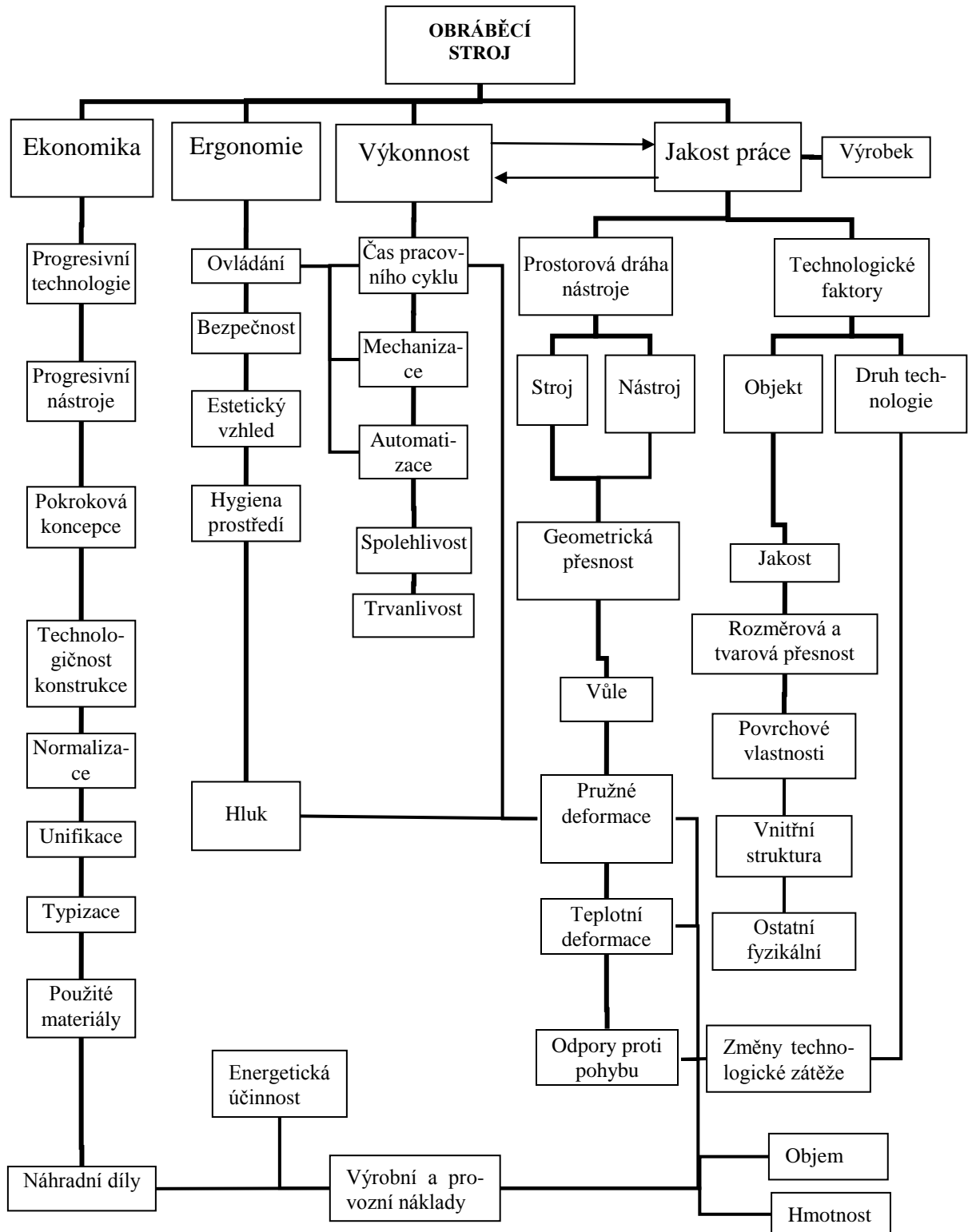
Obr. 14 Řezné úhly

## 2 FRÉZOVACÍ STROJE

Frézovací stroje můžeme dělit podle polohy vřetena, které jsou buď vodorovné, nebo svislé. Podle účelu a konstrukce se dělí na konzolové, stolové, rovinné a speciální (frézky na ozubení, kopírovací atd.). Charakteristický rozměr frézky je dán velikostí upínací plochy stolu.

## 2.1 Základní požadavky kladené na obráběcí (frézovací) stroje

Přehled základních požadavků na obráběcí stroje jsou uvedeny na Obr. 15.



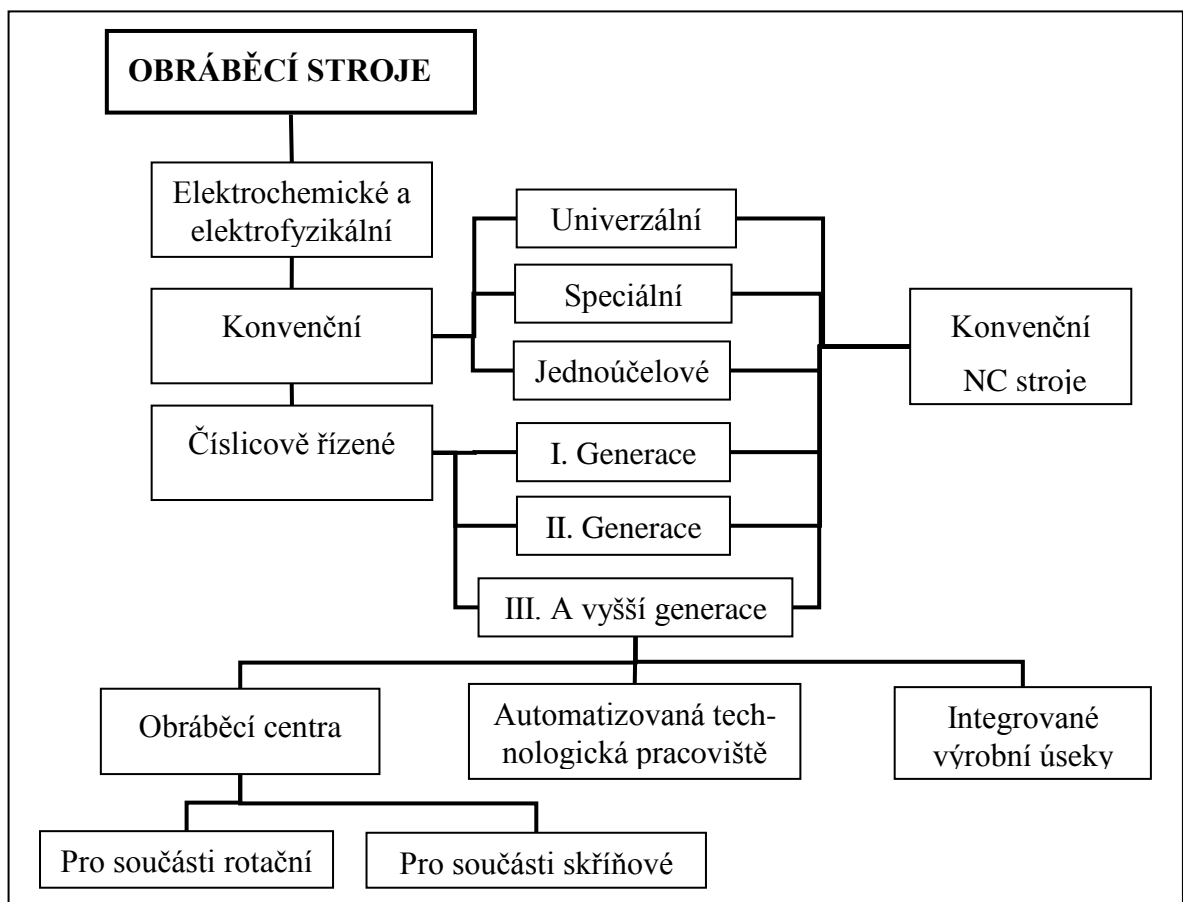
Obr. 15 Základní požadavky kladené na obráběcí stroje [2].

## 2.2 Základní definice a třídění obráběcích strojů

Pod pojmem obráběcí stroj se rozumí nejrozšířenější druh výrobních strojů. Pojem obráběcí stroj může být definován následovně:

„Je to výrobní stroj, který umožňuje dát výrobku žádaný geometrický tvar výrobku a jakost povrchu oddělováním materiálu ve formě třísek řezným nástrojem“.

Základní třídění obráběcích strojů je uvedeno na



Obr. 16 Třídění obráběcích strojů [2].

### 2.2.1 Konzolové frézky

Hlavním znakem je konzola upevněná na vedení stojanu, přestavitelná ve svislém směru. Na konzole jsou upevněny podélné a příčné saně, čímž je uložen pohyb součástí ve třech osách. Používají se k obrábění malých a středních součástí. Podle provedení mohou být:



- *Svislé konzolové frézky* - mají svislou osu pracovního vřetena, které můžeme natáčet o  $\pm 45^\circ$ . Obrábíme zde hlavně rovinné plochy, drážky apod.
- *Vodorovné konzolové frézky* - mají vodorovnou osu pracovního vřetena. Pracujeme na nich převážně válcovými, kotoučovými a tvarovými frézami.
- *Univerzální konzolové frézky* - mají stejnou konstrukci jako vodorovné, ale pracovní stůl lze natáčet. Lze zde frézování šroubových drážek, šneků, zubů apod.

### 2.2.2 Speciální frézky

- *Kopírovací frézky* – dělíme je na mechanické, hydraulické a elektro kontaktní. Kopírování se provádí ve vodorovných nebo svislých souřadnicích, poloautomaticky nebo automaticky.
- *Frézky na ozubení,*
- *na závity,*
- *na vačky,*
- *pantografické.*

## 2.3 Číslicově řízené frézky

Číslicově řízené frézky jsou stejně tak označovány jako CNC frézky, které jsou děleny dle jejich konstrukce a pracovního zařazení.

Konstrukce číslicově řízených strojů se liší od konvenčních strojů především jejich konstrukcí, která vychází z vysokých požadavků na tuhost, přesnost a vysokou dynamiku pohonů jednotlivých os.

Základní rozdíl od konvenčních strojů je v:

- vysoká tuhost konstrukce,
- optimalizace řezného režimu,
- přesné vodící plochy,
- kuličkový šroub,
- přesné polohování jednotlivých os,
- kompenzace teplotních dilatací,
- mechanizovaný odvod třísek,

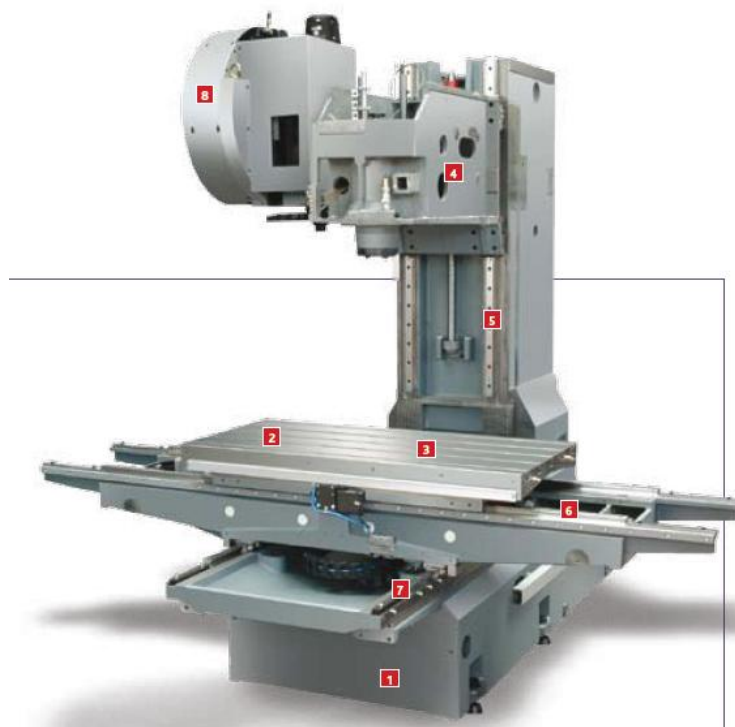
- obsluha a řízení obrábění pomocí řídicího systému,
- uzavření pracovního prostoru.

### 2.3.1 CNC stroje dle specializace:

- a) *jednoprofesní* - pro jeden druh operace
- b) *víceprofesní* - pro více druhů operací při jednom upnutí
  - obráběcí centra pro výrobu obrobků rotačních, hřídelových nebo přírubových,
  - obráběcí centra pro výrobu výrobků skříňového typu,
  - obráběcí centra pro výrobu rotačních i nerotačních součástí.

### 2.3.2 CNC stroje dle konstrukce rámu:

- a) **Rám ve tvaru C** – nejčastější použití je určeno pro přesné a rychlé obrábění obecných tvarových povrchů a vrtání, vyvrtávání, vystružování, řezání závitů a frézování ve větších a tvarově složitých dílcích. Uspořádání a tvar odlitek nosného rámu strojů je optimalizováno s ohledem na požadavek na vysokou tuhost a stabilitu. Aplikace lineárního vedení ve všech lineárních osách garantuje požadovanou přesnost a dynamiku při obrábění.

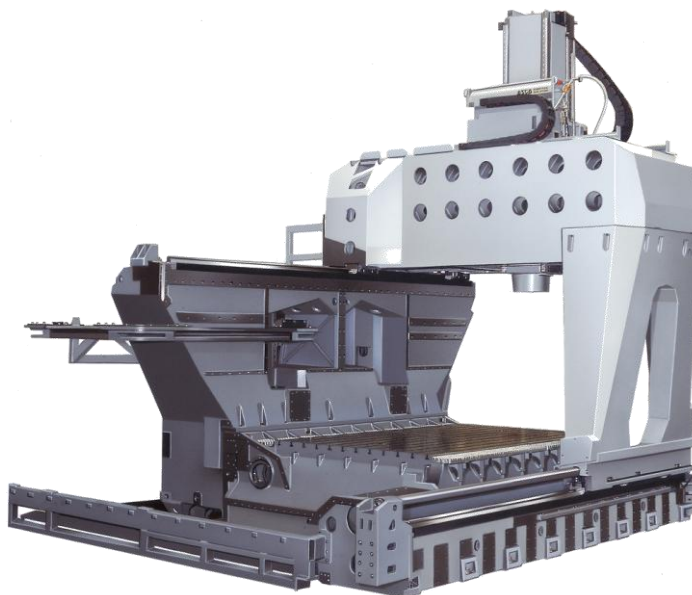


Obr. 17 Rám typu C

**Popis rámu:**

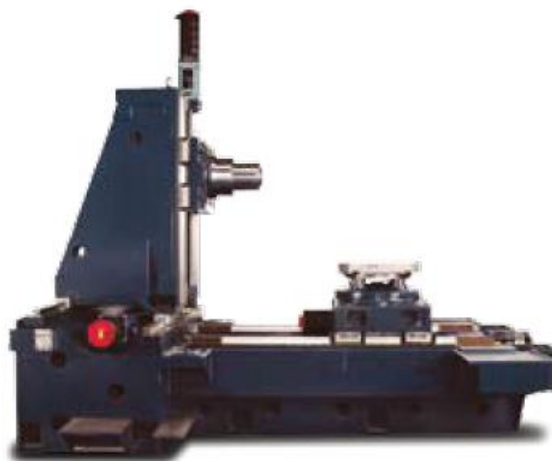
1. Rám stroje,
2. upínací plocha stolu (3),
4. vřeteník,
5. lineární valivé vedení osa Z,
6. lineární valivé vedení osa X,
7. lineární valivé vedení osa Y,
8. Zásobník nástrojů s mechanickou rukou.

- b) **Rám ve tvaru L** – koncepce ve tvaru L je především určena pro produktivní a komplexní obrábění složitých a rozměrných součástí tvarového charakteru, obrábění obecných tvarových povrchů – frézování, vrtání, vyvrtávání, vystružování a řezání závitů



Obr. 18 Rám typu L

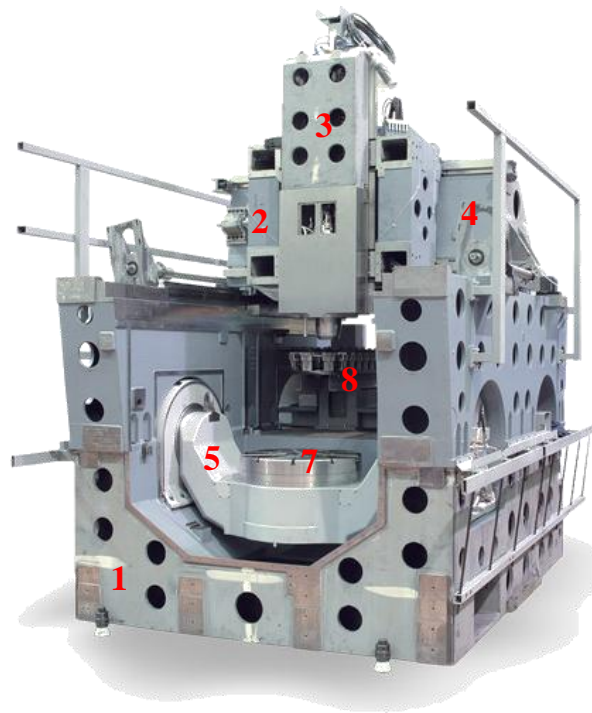
- c) **Rám ve tvaru T** – jsou zejména využívány pro horizontální stroje, které jsou přednostně určena pro přesné a rychle obrábění skříňových i plochých součástí z oceli, šedé litiny, a různých slitin. Dále jsou tyto stroje vhodné pro obrábění forem zápustek a pro sériovou výrobu dílců.



Obr. 19 Rám typu T

- d) **Portálový rám** – nejčastěji využívány jak pro tříosé frézování tak pro pětiosé. Hlavní předností této koncepce je vysoká tuhost všech pohyblivých částí. Těžiště

uplatnění portálových rámu je pro obrábění složitých prostorových tvarů ve 3D s velkým úběrem třísky.



Obr. 20 Portálový rám

**Popis rámu:**

1. Lože,
2. Saně,
3. Smýkadlo,
4. příčník,
5. sklopná osa A,
6. rotační osa C,
7. Upínací plocha stolu,
8. Zásobník nástrojů.

Rámy jsou vyráběny (odlévány) většinou z litiny. Variabilita v použitých materiálech je buď kombinace litiny s ocelovým svařencem, který je pro zvýšení tuhosti a tlumícího účin-

ku vylitý speciálním betonem nebo kombinace litinového příčnicku a minerálního kompozitu v portálovém rámu.

## 2.4 Výkonnost obráběcího stroje (OS)

Výkonnost obráběcího stroje je dána velikostí úběru za jednotku času, vyjádřeného objem materiálu (produkční a hrubovací stroje).

Obecně je velikost úběru nepřímo úměrná celkovému času na obrobení dané součástky nebo dané dávky součástek  $t_c$ .

Pro  $t_c$  platí:

$$t_c = t_h + \sum_i t_{vi} \quad (8)$$

$t_h$  – hlavní čas (stroj odebírá třísku),

$t_{vi}$  – vedlejší časy (stroj neodebírání třísku), časy pro přestavování nástroje vůči obrobku, upínání a odepínání obrobku a nástrojů, proměřování obrobku, údržba, úklid atd.

Zvyšování výkonnosti znamená snižování obou složek  $t_c$ . Minimalizace času  $t_h$  je omezeno hospodárností řezného procesu, který je ovlivněn geometrií a jakostí materiálu řezného nástroje a jakostí obráběného materiálu. Snižování vedlejších časů tj. složka  $t_{vi}$  je řešena buď částečnou, nebo úplnou automatizací obráběcího cyklu.

### Jakost práce ovlivňuje:

1. Přesnost relativní dráhy nástroje – geometrická přesnost stroje, přesnost nastavování polohy nástroje vzhledem k obrobku (přesnost polohování), odolnost stroje proti pružným deformacím, teplotním dilatacím apod.
2. Volbou řezných podmínek (odtlačení nástroje).

**Přesnost polohování:**

Je dána maximálním rozdílem mezi skutečnou a teoretickou polohou nástroje vůči obrobku v souřadném systému stroje.

Přesnost polohování závisí:

1. přesností odměřovacího zařízení stroje,
2. geometrické přesnosti, jeho tuhosti, odolnosti stroje vůči teplotním dilatacím aj.
3. vůle v pohybovém ústrojí – ovlivňuje přesnost polohování při změně směru pohybu přesouvané části stroje.

**Geometrická přesnost stroje:**

Geometrická přesnost stroje je daná:

1. přesností tvaru a vzájemné polohy vodících ploch stroje, vyjádřenou tolerancemi tvaru a vzájemné polohy těchto ploch (přesností jejich výroby a montáže).
2. Přesností tvaru a vzájemné polohy pohybových os stroje – trajektorií pohybů výstupního členu stroje.
3. Přesností polohy osy vřetena v souřadném systému stroje.

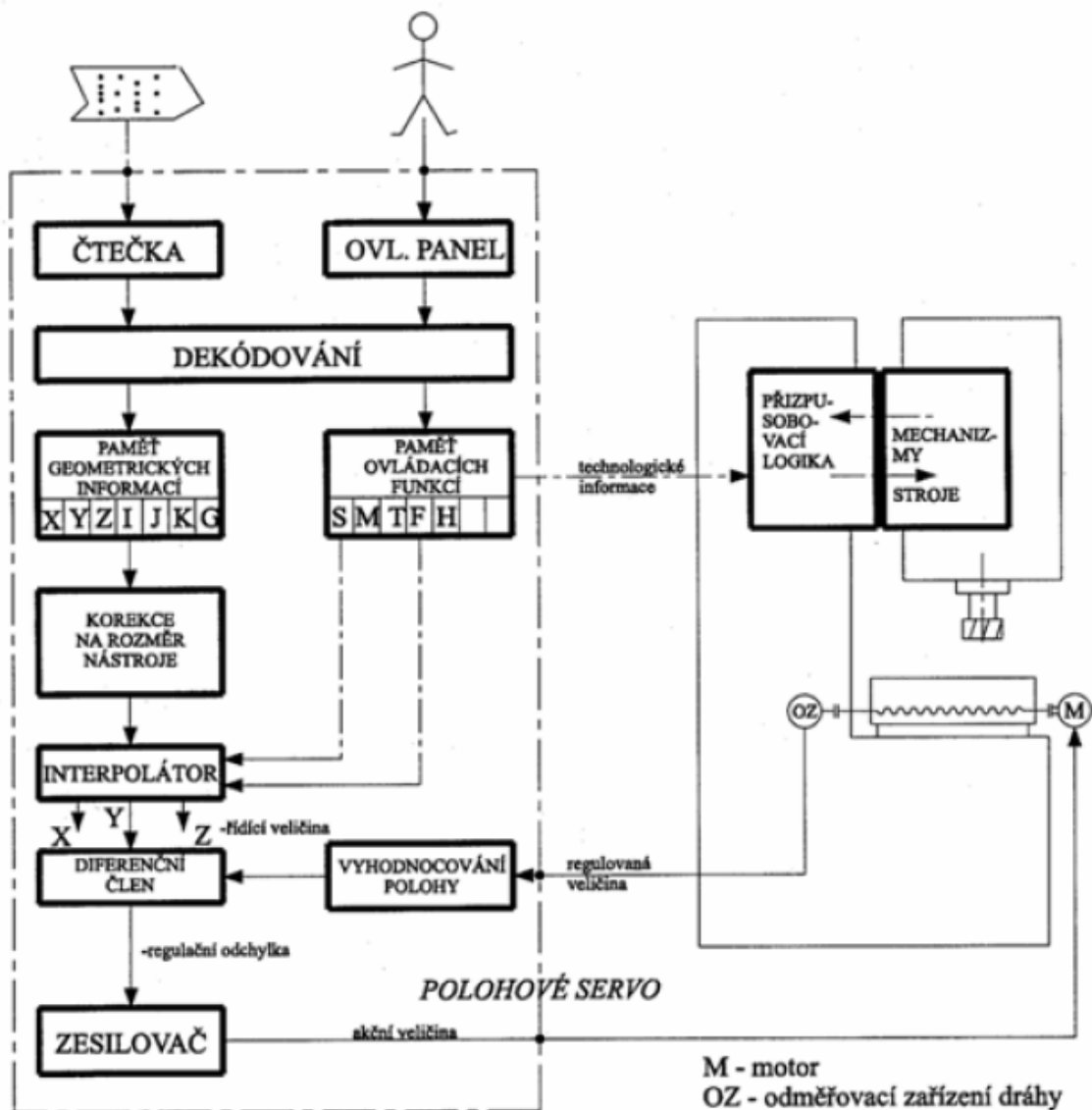
### 3 SYSTÉMY ČÍSLICOVÉHO ŘÍZENÍ

Systémy číslicově řízených strojů dělíme do dvou skupin. První skupina NC řídicí systém je jak po technické tak po morální stránce již zastaralý a jsou využívány do vyčerpání jejich životnosti. Druhá skupina představuje CNC řídicí systém, který postupně nahradil NC řídicí systémy.

#### 3.1 NC řídicí systém

- Do paměti systému se načítá jen jedna věta, která se vykoná,
- po provedení věty, se načte nová,
- při načtení nové věty se stává, že se obsah paměti přemaže,
- informace je zadaná ve formě programu na děrné pásce nebo ručně z klávesnice,
- program na děrné pásce, se znovu a znovu čte při výrobě dalších kusů,
- pro zhotovení dalšího kusu se musí páska přetočit na začátek,
- jakákoli úprava programu je možná pouze úpravou děrné pásky,
- v programu nelze používat parametry a uživatelské podprogramy,
- program se nelze větvit.





Obr. 21 Schéma NC řídicího systému

### 3.2 CNC řídicí systém

Systém načítá do paměti celý program buď z disket, nebo jiných médií na uchování informací, nebo pomocí LAN sítě, ať kabelové nebo bezdrátové. Na rozdíl od NC systémů je interpolátor nikoli hardware ale software záležitostí. Ke generování dráhy je možné použít přímého matematického popisu tvaru dráhy. Je tedy možné generovat paraboly i křivky vyšších řádů (spline), řídicí systémy s vyšším výpočetním výkonem realizují i kruhovou interpolaci v prostoru, prakticky se ale vystačí s lineární a kruhovou interpolací.

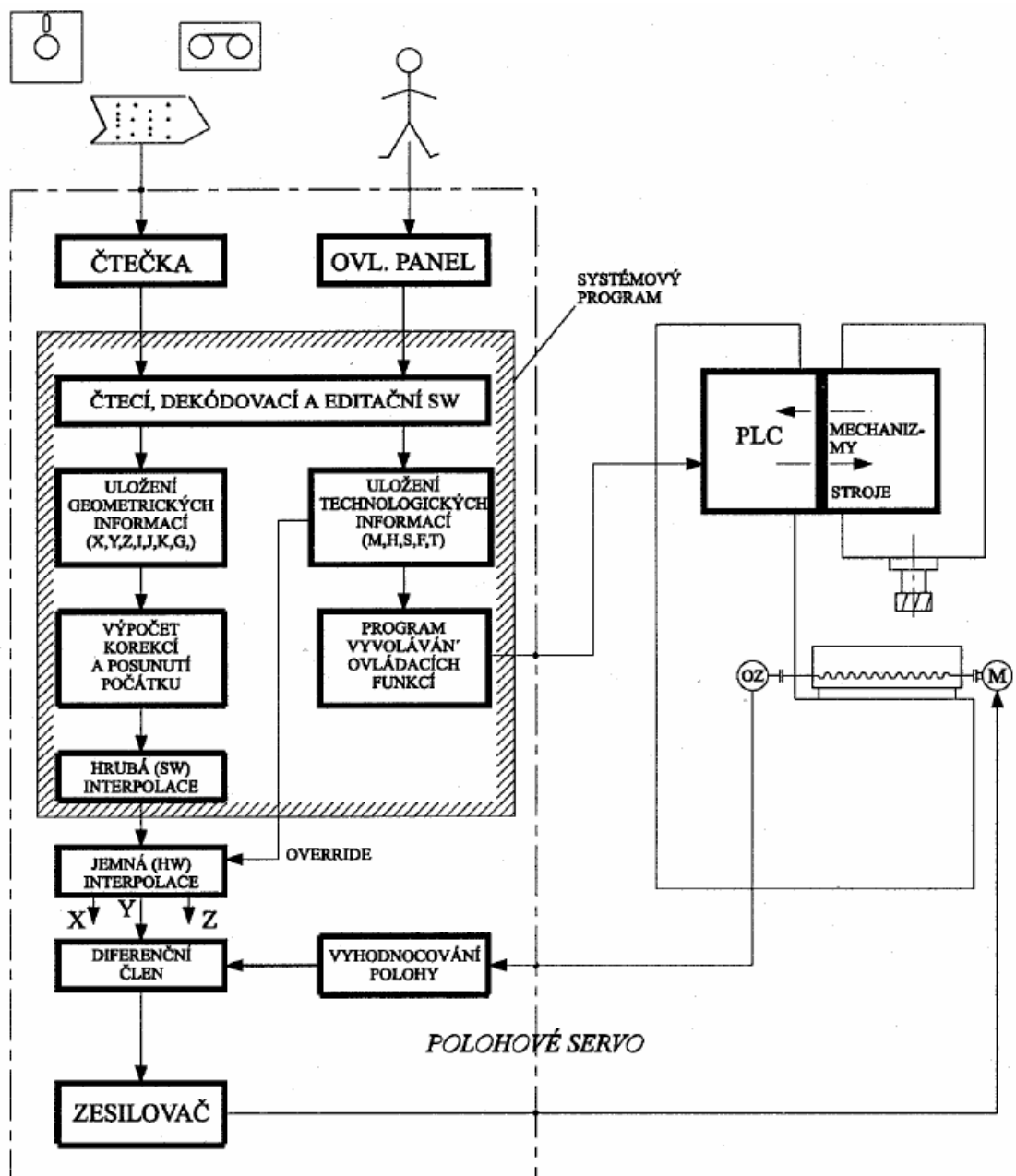
Pro zpracování technologických informací se u CNC systémů používá programovatelný automat (PLC - Programmable Logic Controller ).

**CNC systémy umožňují:**

- Snadno editovat program,
- větvit program,
- používat parametry,
- pracovat s podprogramy,
- využívat grafickou simulaci obrábění,
- užívat diagnostických programů,
- kompenzovat nepřesnosti systému a strojních částí.

**Jako periferie se používá:**

- Ovládací panel,
- obrazovka,
- přenosný panel.



Obr. 22 Schéma CNC řídicího systému

### 3.3 Druhy řízení číslicových systémů

Rozdělení řízení číslicových systémů je dle řízení dráhy nástroje vůči obrobku a dle polohy nástroje vůči obrobku. Dělí se do dvou skupin, systémy s přetržitým řízením a systémy se souvislým řízením.

## 1. Systémy s přetržitým řízením (řízení dráhy nástroje vůči obrobku)

### a) systémy stavění souřadnic

- Chybí interpolace,
- nástroj se pohybuje rychloposuvem na programovaný bod, nezáleží na vykonané dráze (do daného bodu se pohybuje v rovině například nejdříve přejezdem v jedné ose a po-tom v druhé ose),
- po najetí do programovaného bodu se provede pohyb v další ose,
- vhodné například pro vrtačky, tvářecí stroje.

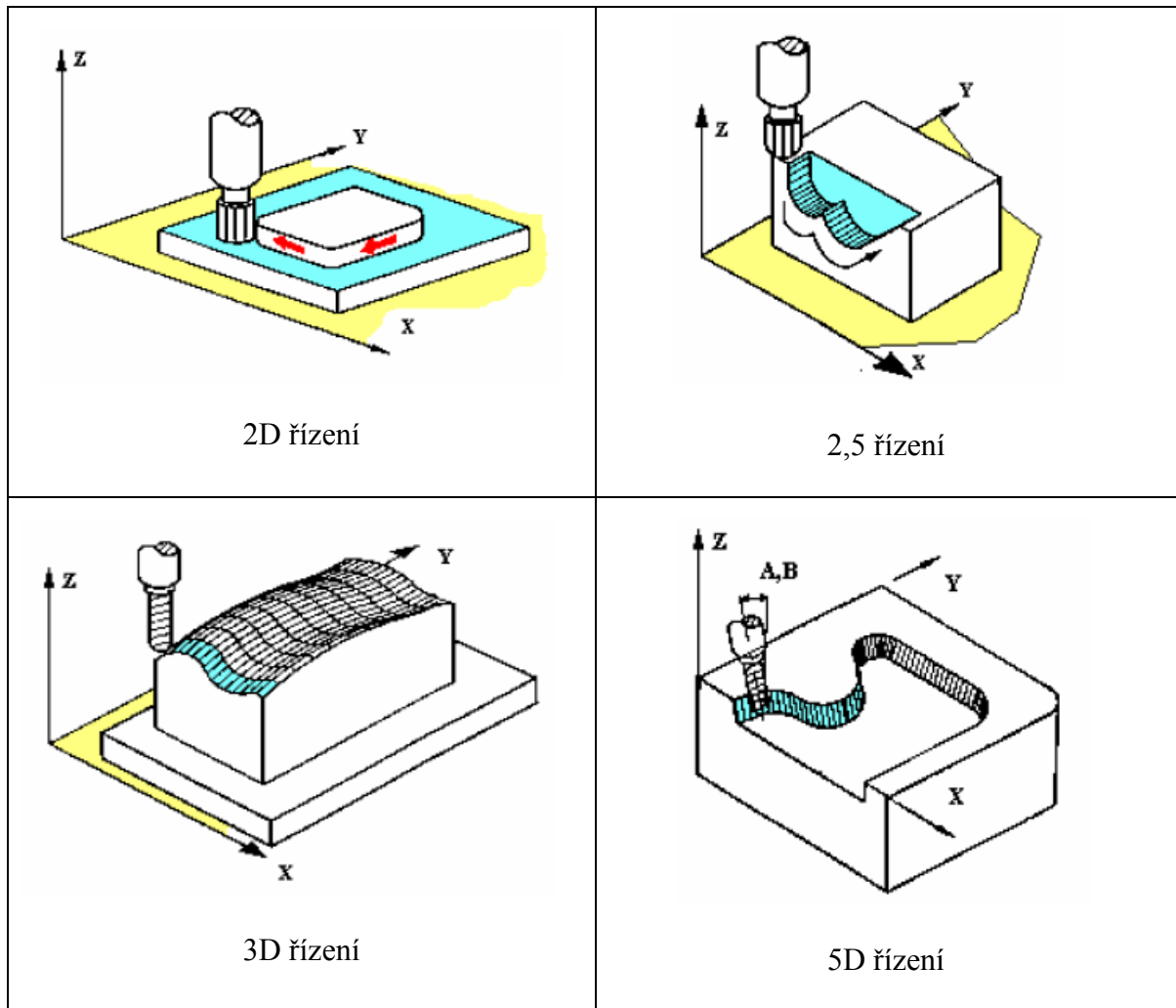
### b) Pravoúhlá řízení

- Přestavování nástroje je prováděno rovnoběžně se souřadnými osami,
- po dokončení pohybu v jedné souřadnici nastává pohyb ve druhé,
- použití u vrtaček, tvářecích strojů, soustruhů.

## 2. Systémy se souvislým řízením (řízení dráhy nástroje vůči obrobku)

Systémy umožňují výpočet korekcí a geometrie.

- U soustruhu se nástroj pohybuje v rovině  $X - Z$  ( 2D ).
- U frézky lze lineární interpolace provádět buď v jedné rovině –  $X-Y$  ,  $X-Z$ ,  $Y-Z$  – (2,5D) nebo při použití výkonného mikroprocesoru lze vyrábět libovolné obrysy a prostorové plochy 3D. Jestliže jsou vedle pohybů v osách možné ještě další pohyby – např. rotace kolem os potom mluvíme o 4D a 5D řízení.



Obr. 23 Druhy řízení

Řízení polohy nástroje vůči obrobku může probíhat v režimu absolutního programování nebo v režimu přírůstkového (inkrementálního) programování.

V rámci absolutního nebo přírůstkového programování je možné programovat v:

- **Kartézských souřadnicích** - bod je určen vzdálenostmi v jednotlivých osách od vztažného bodu.
- **Polárních souřadnicích** - bod je určen vzdáleností (průvodičem) a úhly od vztažného bodu v jednotlivých rovinách.
- **Parametricky** – rozměrová část adres je nahrazena obecnými čísly (parametry) a tyto parametry jsou definovány reálnými čísly nebo funkcemi. Jako parametr může být použito číslo, slovo, věta nebo matematický výraz. Parametrizace programu vede k velké variabilitě možností vytvoření obrobku. Parametrizovaný program (nebo

úsek programu) je možné použít jako součást jiných programů. Je tedy možné vytvořit knihovnu jednodušších programů, pomocí nichž je možné „poskládat“ jiný, složitější program.

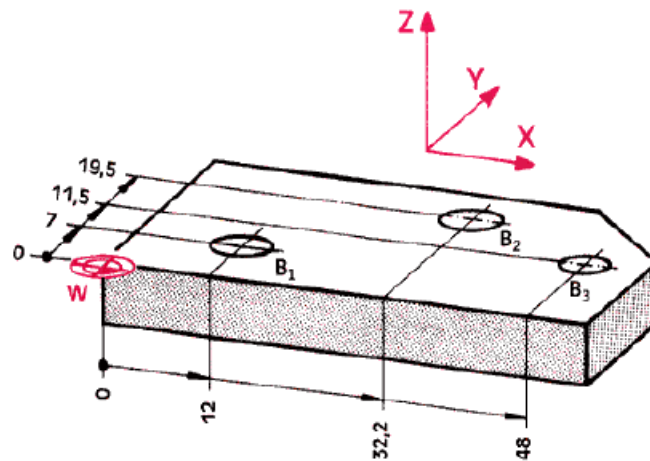
*Výhody parametrického programování:*

- Snižuje se počet programů pro daný typ součásti,
- dosazením goniometrických funkcí do dané adresy a jejich opakováním se lehce do-sáhne požadovaného tvaru součásti

### 3. Absolutní programování

Při programování se programuje poloha koncového bodu pohybu a nejčastěji probíhá na řídicím panelu CNC stroje nebo pomocí softwaru, který simuluje prostředí řídicího systému stroje a lze jej ovládat od PC.

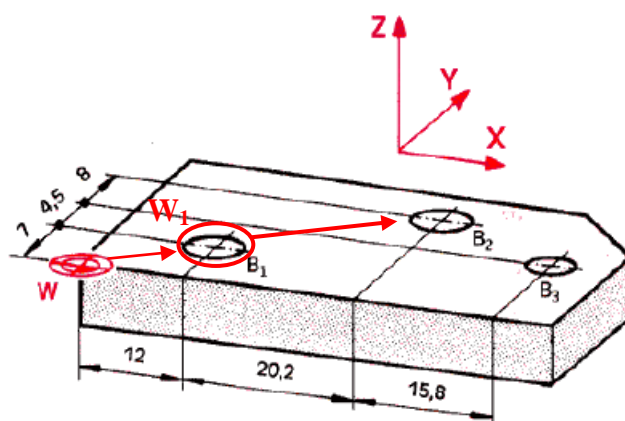
Platí zde, že všechny programované body dráhy nástroje jsou vztaženy k předem zvolenému bodu – nulovému bodu programu (W), jehož polohu volí programátor. Pro potřeby absolutního programování je lépe použitelné kótování od základny (souřadnicové kóty).



Obr. 24 Absolutní programování

#### 4. Přírůstkové (inkrementální) programování

Souřadnice všech programovaných bodů se udávají vzhledem k předchozímu bodu, který je považován za výchozí. Tzn., zadávání délkových kót od posledního prvku, který je řídicím systémem chápán jako „nový“ nulový bod, k prvku dalšímu. Např., z  $W_1$  do  $B_2$ . Takže po naprogramování dráhy z  $W$  do  $B_1$  ( $W_1$ ) vznikne nový nulový bod  $W_1$ . Po naprogramování dráhy z  $B_1$  do  $B_2$  bude systém vycházet z nového nulového bodu  $W_1$ .



Obr. 25 Přírůstkové programování

## **II. PRAKTICKÁ ČÁST**



## 4 ÚVOD DO PRAKTICKÉHO TESTU OBRÁBĚNÍ NA 5 OSÉM STROJI

Rozhodování o nejvhodnějším obráběcím stroji pro definovanou strojní výrobu obecných součástí jak ve 2D tak až v 5D, obnáší dlouhé konzultace s dodavateli nejrůznějších výrobců obráběcích strojů. Ve většině případů jsou výsledky z obchodních jednání ovlivněny znalostí nebo spíše neznalostí problematiky obráběcích strojů a procesy s tím spojené. Tato skutečnost může vést k nákupu stroje, který nemusí být vhodný pro pozdější praktické využití v provozu daného podniku.

Výběrem nejvhodnějšího obráběcího centra by se neměl stát výběr stroje převyšující některé výkonové nebo přesnostní parametry v porovnání se stroji jinými, které potom nemusí být v praxi plně využitelné. Obecně se bere hlavní zřetel na poměr ceny stroje versus jeho výrobce, který je posléze hlavním identifikátorem domnělé „kvality“ stroje. Pokud chce výrobní subjekt nakoupit nejvhodnější obráběcí stroj pro jejich výrobu, musí provést kroky, které vedou k definici vlastní výroby, její potřeby, možností alternativních obráběcích technologií versus jejich produktivita a tím pádem výsledná cena obrábění. Dále pak musí zvážit sekundární faktor, který s pořízením nové technologie, zvýší nároky na odbornost technické přípravy výroby.

V prvním kroku je doporučováno pro výrobní subjekt udělat rešerši trhu. Z této rešerše vyjde užší skupina obráběcích strojů (viz., kap. 5), u které je vhodné podniknout podrobnější vyhodnocení vhodnosti stroje pro danou strojní výrobu.

Praktická část diplomové práce se bude zabývat hypotetickým testem, který má za úkol definovat postup pro výběr pětiosého obráběcího centra pro obrábění obecných tvarových ploch jak v měkkém materiálu tak materiálu tepelně zpracovaném (zakaleném) materiálu.

Zadání testu bude sloužit pro ověření výkonnostních a přesnostních parametrů pětiosých obráběcích strojů deklarované výrobcem. Zadání vzniklo na základě požadavků strojní výroby lisovacích nástrojů na zvýšení produktivity v obrábění dílů s obecně tvarovými plochami, za předpokladu dodržení vysoké přesnosti a kvality obrobené plochy.

Výsledkem testu bude souhrn dat z obráběcího procesu vzorových dílů, které budou sloužit pro vyhodnocení a následné stanovení nejvhodnějšího stroje pro podmínky strojní výroby lisovacích nástrojů.

Test se bude skládat ze třech vyhodnocovaných fází. První fáze bude spočívat v testu sladění pohonů a odměřování jednotlivých os a jejich dynamice, viz kap. 6.2. Druhá fáze bude testovat dynamiku, tuhost, výkon a polohování jednotlivých os v měkkém materiálu, viz kapitola 6.3. Třetí fáze bude rámcově stejně zaměřena jako fáze druhá s tím rozdílem, že pro fyzické obrábění bude použit zakalený materiál s vyhrubovaným tvarem, viz kapitola 6.4. Poslední čtvrtý test bude sloužit pro metrologické ověření přesnosti polohování os, viz kap. 6.5.

Pro samotný test budou k dispozici podklady v takovém rozsahu, aby vzorové díly byly vyrobitelné za jednotných podmínek u kteréhokoliv výrobce obráběcích strojů. Součástí testu bude evidence časových dávek jednotlivých úkonů během výrobního procesu testovacích dílů.

Cílem testu je vyhodnocení a potvrzení výrobcem deklarovaných výkonů a přesností obráběcích strojů.

## 5 VYHODNOCENÍ KVALITY OBRÁBĚCÍCH STROJŮ

Světový trh nabízí velké množství obráběcích strojů nejrůznějších konstrukcí a výkonných parametrů. Pro prvotní představu, v které kvalitativní skupině se který stroj nachází je zapotřebí vytvořit komplexní hodnocení indexu kvality obráběcích strojů.

Kapitola se zabývá teoretickými a empirickými východisky vedoucích k návrhu metodiky hodnocení indexu kvality v oblasti obráběcích strojů. Je zde navržen návod, jak efektivně porovnávat vertikální a horizontální obráběcí centra. Pomocí indexu kvality je možné odhalit případné nedostatky stroje ještě ve fázi nabídek. Pro jeho výpočet je bezpodmínečně nutné mít k dispozici sjednocené vstupní technické parametry, z kterých posléze provedeme výpočet určující kvalitu stroje.

Index kvality je vyjádřen stupnicí, která jednoznačně určuje zařazení stroje. Stupnice má členění jedna až pět. Čím má stroj nižší index kvality, tím je kvalitnější, a v přímé závislosti se index kvality promítá v ceně obráběcího stroje.

Z níže uvedených výpočtů vyplývá, že se dá kvalita strojů měřit, respektive porovnat a na základě vypočítaných hodnot určit rovněž cenu. Na závěr se výsledky  $I_k$  1 – 15 vynesou do tabulky, v která nám umožní porovnání jednotlivých  $I_k$  v souboru porovnávaných strojů od různých výrobců. V této tabulce jsou potom velmi dobře viditelná silná a slabá místa porovnávaných strojů. [11]

### 5.1 Index kvality $I_k$

Stupnice kvality je zde vyjádřena indexem kvality  $I_k$ . Celkové vyhodnocení obsahuje 15 bodů hodnocení, z kterých se posléze vypočítá průměrný index kvality  $I_k$ , který se musí vynásobit koeficientem navýšení kvality, viz

#### *Základní rozdělení:*

- $I_k$  0 až 1 = super kvalita
- $I_k$  1 až 2 = výborná kvalita
- $I_k$  2 až 3 = velmi dobrá kvalita
- $I_k$  3 až 4 = dobrá kvalita
- $I_k$  4 až 5 = vyhovující kvalita

- $I_k$  5 a více = nevyhovující kvalita

**Koeficient navýšení kvality pro obráběcí centra:**

- tříosá = 1
- čtyřosá = 0,9
- pětiosá = 0,8

*Příklad výpočtu indexu kvality  $I_k$  pro pětiosý stroj:*

$$(I_{k1} \text{ až } I_{k15}):15 = 2$$

$$I_k = 2 \cdot 0,8 \quad (9)$$

$$I_k = \underline{\underline{1,6}}$$

### 5.1.1 Stanovení a výpočet indexu kvality jednotlivých skupin stroje

#### 1. $I_{k1}$

Poměr půdorysu stroje proti rozjezdu v osách X, Y, Z (Z+ W) v metrech čtverečních dělený konstantou 5. do rovnice zapíšeme hodnoty v metrech.

*Příklad:*

- Půdorys stroje v mm: 4000 x 2200
- Rozjezdy v mm: X, Y, Z 900/900/600

$$I_{k1} = 4 \cdot 2,2 = 8,8 : (0,9 \cdot 0,9 \cdot 0,6) = 18,1$$

$$I_{k1} = 18,1 : 5 = \underline{\underline{3,62}} \quad (10)$$

#### 2. $I_{k2}$

Poměr hmotnosti stroje proti maximální hmotnosti obrobku děleno konstantou 5.

*Příklad:*

- Hmotnost stroje 10 800 kg
- Hmotnost obrobku 1 000 kg

$$I_{k2} = 10\,800 : 1\,000 = 10,8$$

$$I_{k2} = 10,8 : 5 = \underline{\underline{2,96}}$$

(11)

### 3. $I_{k3}$

Vřeteno (elektrovřeteno).

Výchozí Koeficienty pro  $I_{k3}$ :

- a)  $I_{k3} = 1$  platí pro výchozí koeficient pro vřeteno s  $18000 \text{ ot} \cdot \text{min}^{-1}$
- b)  $I_{k3}$  pro vnitřní chlazení:
  - 60 barů = 1
  - 40 barů = 2
  - 20 barů = 3
  - bez chlazení = 4
- c)  $I_{k3} = 1$  platí pro výchozí koeficient pro krouticí moment vřetena 200 Nm

*Příklad:*

Vřeteno stroje má  $12\,000 \text{ ot} \cdot \text{min}^{-1}$ ,  $M_k = 125 \text{ Nm}$ , vnitřní chlazení 60 barů

$$\text{Index kvality pro Otáčky } I_{k3o} - I_{k3o} = 18\,000 : 2000 = \underline{\underline{1,5}} \quad (12)$$

Index kvality pro Krouticí moment

$$I_{k3m} - I_{k3m} = 200 : 125 = \underline{\underline{1,6}} \quad (13)$$

Index kvality pro Vnitřní chlazení

$$I_{k3ch} - I_{k3ch} = \underline{\underline{1}} \quad (14)$$

$$\text{Index kvality vřetena } I_{k3} - I_{k3} = I_{k3o} + I_{k3m} + I_{k3ch}$$

$$I_{k3} = 1,5 + 1,6 + 1$$

$$I_{k3} = 4,1 : 3 = 1,37$$

$$I_{k3} = \underline{\underline{1,37}} \quad (15)$$

**4.  $I_{k4}$** 

Rychloposuvy v osách.

Výchozí koeficient (VK) 1:

$$\text{Index } I_{k4} = 1 \text{ platí pro rychloposuv } 90 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1} \Rightarrow \underline{I_{k4VK} = 90}$$

*Příklad:*

$$\text{Rychloposuv v ose X} - I_{k4X} - I_{k4X} = 60$$

$$\text{Rychloposuv v ose Y} - I_{k4Y} - I_{k4Y} = 60$$

$$\text{Rychloposuv v ose Z} - I_{k4Z} - I_{k4Z} = 60$$

$$\text{Rychloposuv v ose A} - I_{k4A} - I_{k4A} = 38$$

$$\text{Rychloposuv v ose B} - I_{k4B} - I_{k4B} = 23$$

$$\text{Mezivýpočet Indexu kvality } I_{k4M} = I_{k4X} + I_{k4Y} + I_{k4Z} + I_{k4A} + I_{k4B}$$

$$\text{rychloposuvu } I_{k4M} - I_{k4M} = 60 + 60 + 60 + 38 + 23$$

$$I_{k4M} = 241,5 \tag{16}$$

$$\text{Průměr } I_{k4M} - I_{k4M} = \underline{48,2}$$

$$\text{Indexu kvality rychloposuvu } I_{k4} - I_{k4} = I_{k4VK} : I_{k4M}$$

$$I_{k4} = 90:48 \tag{17}$$

$$I_{k4} = \underline{\underline{1,87}}$$

**5.  $I_{k5}$** 

Zrychlení v osách [ $\text{m}\cdot\text{min}^{-2}$ ].

Výchozí koeficient (VK) 1:

$$\text{Index } I_{k5} = 1 \text{ platí pro zrychlení } 15 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2} \Rightarrow I_{k5VK} = 15$$

*Příklad:*

$$\text{Zrychlení v ose X} - I_{k5X} - I_{k5X} = 10$$

$$\text{Zrychlení v ose Y} - I_{k5Y} - I_{k5Y} = 10$$

$$\text{Zrychlení v ose Z} - I_{k5Z} - I_{k5Z} = 10$$

$$\text{Zrychlení v ose A} - I_{k5A} - I_{k5A} = 12$$

$$\text{Zrychlení v ose B} - I_{k5B} - I_{k5B} = 6$$

$$\text{Mezivýpočet Indexu kvality rychloposuvu } I_{k5M} = I_{k5X} + I_{k5Y} + I_{k5Z} + I_{k5A} + I_{k5B}$$

$$I_{k5M} = 10 + 10 + 10 + 12 + 6 \quad (18)$$

$$\text{Průměr } I_{k4M} - I_{k4M} = 48:5$$

$$I_{k4M} = \underline{9,6}$$

$$\text{Indexu kvality rychloposuvu } I_{k4} - I_{k4} = I_{k5VK} : I_{k5M}$$

$$I_{k4} = 15 : 9,6 \quad (19)$$

$$I_{k4} = \underline{\underline{1,56}}$$

## 6. $I_{k6}$

Opakovatelná přesnost najetí lineárních os X, Y, Z (W). Níže uvedené koeficienty platí pro vypočítaný průměr za všechny lineární osy.

*Hodnoty  $I_{k6M}$ :*

- $I_{k6} = 1$  platí pro  $I_{k6M} = 0,001$  mm
- $I_{k6} = 1,5$  platí pro  $I_{k6M} = 0,002$  mm
- $I_{k6} = 2$  platí pro  $I_{k6M} = 0,003$  mm
- $I_{k6} = 2,5$  platí pro  $I_{k6M} = 0,005$  mm
- $I_{k6} = 3$  platí pro  $I_{k6M} = 0,01$  mm
- $I_{k6} = 3,5$  platí pro  $I_{k6M} = 0,015$  mm
- $I_{k6} = 4$  platí pro  $I_{k6M} = 0,02$  mm
- $I_{k6} = 4,5$  platí pro  $I_{k6M} = 0,025$  mm
- $I_{k6} = 5$  platí pro  $I_{k6M} = 0,03$  mm

*Příklad:*

Opakovatelná přesnost najetí v ose X  
 $I_{k6X} = 0,005$   
 –  $I_{k6X}$  –

Opakovatelná přesnost najetí v ose Y  
 $I_{k6Y} = 0,003$   
 –  $I_{k6Y}$  –

Opakovatelná přesnost najetí v ose Z  
 $I_{k6Z} = 0,002$   
 –  $I_{k6Z}$  –

Mezivýpočet Indexu kvality opakovatelné přesnosti najetí  $I_{k6M}$  –  
 $I_{k6M} = I_{k6X} + I_{k6Y} + I_{k6Z}$   
 $I_{k6M} = 0,005 + 0,003 + 0,002$   
 $I_{k6M} = 0,01:3$   
 Průměr  $I_{k6M}$  –  $I_{k6M} = \underline{0,0033}$  (20)

Index kvality opakovatelné přesnosti  $I_{k6M} = 0,0033$  – vyhledám  
 $I_{k6}$  – v odstavci  $I_{k6M}$   
 (Hledám v tabulce pevných koeficientů)  $I_{k6} = \underline{2}$  (21)

## 7. $I_{k7}$

Opakovatelná přesnost najetí otočných os A, B, C (v sekundách).

*Hodnoty  $I_{k7M}$ :*

- $I_{k7} = 1$  platí pro:  $I_{k7M} = 2''$
- $I_{k7} = 1,5$  platí pro:  $I_{k7M} = 3''$
- $I_{k7} = 2$  platí pro:  $I_{k7M} = 4''$
- $I_{k7} = 2,5$  platí pro:  $I_{k7M} = 5''$
- $I_{k7} = 3$  platí pro:  $I_{k7M} = 10''$
- $I_{k7} = 3,5$  platí pro:  $I_{k7M} = 15''$
- $I_{k7} = 4$  platí pro:  $I_{k7M} = 20''$
- $I_{k7} = 4,5$  platí pro:  $I_{k7M} = 30''$
- $I_{k7} = 5$  platí pro:  $I_{k7M} = 60''$



$$\begin{aligned}
 &\text{Opakovatelná přesnost najetí otočné} && I_{k6X} = 5'' \\
 &\text{osy A} - I_{k7A} - \\
 &\text{Opakovatelná přesnost najetí otočné} && I_{k7B} = 3'' \\
 &\text{osy B} - I_{k7B} - \\
 &\text{Mezivýpočet Indexu kvality Opako-} && I_{k7M} = I_{k8A} + I_{k7B} \\
 &\text{vatelná přesnost najetí otočných os} && I_{k7M} = 5 + 3 \\
 & && I_{k7M} - \\
 & && I_{k7M} = 8:2 \\
 &\text{Průměr } I_{k7M} - && I_{k7M} = \underline{4''} \\
 & && \\
 &\text{Index kvality opakovatelné přesnosti} && I_{k7M} = 4'' - \text{vyhledám v odstavci} \\
 & && I_{k7} - I_{k7M} \\
 & && \\
 & \text{(Hledám v tabulce pevných koefi-} && I_{k7} = \underline{2} \\
 & \text{cientů)} &&
 \end{aligned}
 \tag{22}$$

### 8. $I_{k8}$

Počet os stroje. Hodnota  $I_{k8}$  pro:

- 3 osy:  $I_{k8} = 4$
- 4 osy:  $I_{k8} = 2,5$
- 5 os:  $I_{k8} = 1,5$
- více než 5 os:  $I_{k8} = 1$

### 9. $I_{k9}$

Počet výměnných palet (stolů). Hodnota  $I_{k9}$  pro:

- pevný stůl  $I_{k9} = 3$
- dvě palety (stoly)  $I_{k9} = 2$
- více palet  $I_{k9} = 1$

**10.  $I_{k10}$** 

Zásobník nástrojů. Hodnota  $I_{k10}$  pro:

- Hodnota indexu  $I_{k10} = 1$  platí pro 60 pozic

*Příklad:*

Stroj má zásobník 2 x 24 pozic.

$$\begin{aligned}
 & \text{Počet pozic v zásobníku} - I_{k10Z} - & I_{k10Z} &= 2 \cdot 24 \\
 & & I_{k10Z} &= \underline{48} \\
 & \text{Mezivýpočet Indexu kvality pro počet pozic v zá-} & I_{k10M} &= I_{k10} : I_{k10Z} \\
 & \text{sobníku } I_{k10M} - & I_{k10M} &= 60:48 \\
 & & I_{k10M} &= \underline{1,25} \\
 & \text{Index kvality pro počet pozic v zásobníku} & & \\
 & \text{je pro } I_{k10M} = \underline{1,25}: & I_{k10} &= \underline{\underline{1,25}}
 \end{aligned}$$

(23)

**11.  $I_{k11}$** 

Čas výměny nástroje - tříška – tříška, tzn., od ukončení řezu do započetí řezu.

Hodnota  $I_{k10}$  pro:

- Index  $I_{k11} = 1$  platí pro čas výměny nástroje 1 s.

*Příklad:*

Čas výměny nástroje = 3,6 s

$$I_{k11} = \underline{\underline{3,6}} \Rightarrow \text{čas výměny se rovná hodnotě } I_{k11}.$$

**12.  $I_{k12}$** 

Počet vřeten. Hodnota  $I_{k10}$  pro:

- Index  $I_{k12} = 1$  platí pro dvě vřetena na stroji  $\Rightarrow$  hodnota pro výpočet  $I_{k12} = 2$ .

*Příklad:* stroj má jedno vřeteno.

$$I_{k12} = 2 : 1$$

$$I_{k12} = \underline{2}$$

(24)

### 13. $I_{k13}$

Elektrický příkon proti počtu os a vřeten děleno konstantou 5.

*Veličiny:*

- $I_{k13P}$  = hodnota příkonu,
- $I_{k13PO}$  = počet os,
- $I_{k13PV}$  = počet vřeten.

*Příklad:*

Stroj má příkon 74 kVA a má 4 osy a dvě vřetena.

Mezivýpočet Indexu kvality pro poměr el., příkonu proti počtu os a vřeten  $I_{k13M}$ :

$$I_{k13M} = I_{k13P} : (I_{k13PO} + I_{k13PV})$$

$$I_{k13M} = 74 : (4 + 2)$$

$$I_{k13M} = \underline{12,33}$$

Index pro poměr el., příkonu proti počtu os a vřeten  $I_{k13}$ :

$$I_{k13} = 12,33 : 5$$

$$I_{k13} = \underline{2,46} \quad (25)$$

### 14. $I_{k14}$

Zakrytování stroje, hodnoty  $I_{k14}$  pro:

- $I_{k14} = 1$  platí pro kompletně zakrytovaný stroj včetně stropu a zásobníků nástrojů s vynašečem třísek z pracovní kabiny a ven ze stroje,
- $I_{k14} = 2$  shodné jako  $I_{k14} = 1$ , ale bez vynašeče třísek z pracovní kabiny,
- $I_{k14} = 3$  shodné jako  $I_{k14} = 1$ , ale bez vynašečů třísek z pracovní kabiny a ze stroje
- $I_{k14} = 4$  zakrytování stroje bez stropu,
- $I_{k14} = 5$  zakrytování pouze pracovní kabiny.

**15.  $I_{k15}$** 

Možnost zařazení stroje do automatického výrobního systému:

- $I_{k15} = 1$  – je možnost řadit stroje do pružného výrobního systému,
- $I_{k15} = 2$  – je možnost řadit stroje vedle sebe do linky a výměnu palet řídit ze stroje,
- $I_{k15} = 3$  – stroj není možné použít v automatickém systému – musí pracovat samostatně.

[11]

## 6 VÝROBA TESTOVACÍCH DÍLŮ

Průběh testu bude spočívat ve výrobě čtyř dílů, na nichž se budou testovat jednotlivé charakteristiky stroje. Díly a postupy jejich výroby jsou voleny tak, aby charakterizovali skladbu strojní výroby pro lisovací nástroje. Podrobný postup výroby jednotlivých dílů je popsán v následujících kapitolách.

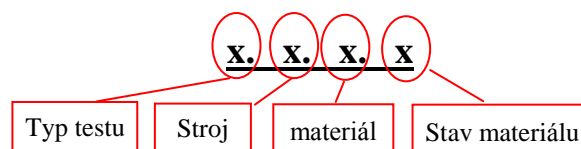
Každý přípravný a strojní čas bude monitorován a zaznamenáván do tabulky příslušných testů.

Kontrola dílu bude spočívat v měření kruhovitosti, tolerance tvaru vzhledem k technologickým základnám.

Jediným shodným prvkem bude vřeten, kde bude vyžadován maximální počet otáček 18 000 ot • min<sup>-1</sup> a pokud možno stejný typ vřetena KESLER.

Formát značení testovacích dílů je stanoven pro přesnou identifikaci dílu při vyhodnocování jednotlivých dílů od výrobce.

Formát označení:



Legenda:

2. x – označení o jaký typ testu jde:
  - 1 – Test č. 1 – NCG díl
  - 2 – Test č. 2 – měkký díl
  - 3 – Test č. 3 – tvrdý díl
  - 4 – Test č. 4 – polohovací díl
3. x.x – označení testovaného stroje číselnou řadou 1 až ∞ (např., 1 – MAS MCU 630; 2 – Hermle C30 atd.).
4. x.x.x – označení materiálu:
  - 1 – NECURON 1007

- 2 – ČSN 12050
- 3 – DIN 1.2379; tepelně zpracován na 58+2 HRc
- 4 – Hliník ČSN 42 42201

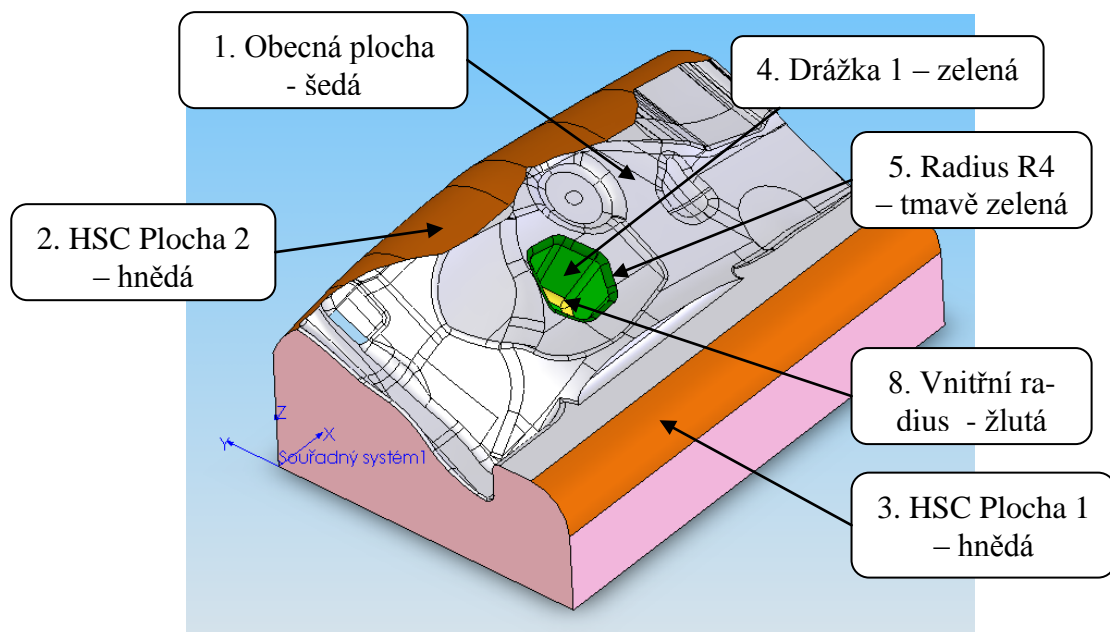
5. x.x.x.x – fyzický stav materiálu – jeho stav obrobení:

- 1 – nařezáno pilkou,
- 2 – zuhlováno na rozměry,
- 3 – zuhlováno na rozměry + vyhrubovaný tvar.

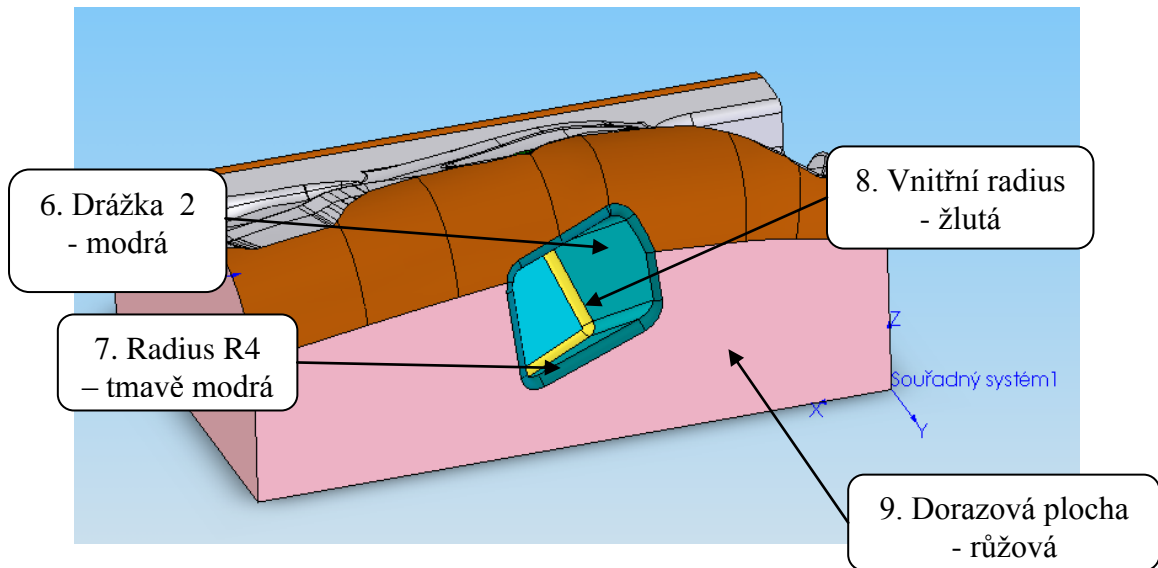
### 6.1 Charakteristika strojní výroby definice vzorového dílu

Budeme uvažovat, že daná nástrojárna vyrábí lisovací nástroje. Charakteristickým rysem lisovacích nástrojů pro automobilový průmysl je velmi rozmanitá škála obecných 3D ploch v různém stupni složitosti. Budeme uvažovat, že 30% dílů lisovacího nástroje obsahuje obecnou tvarovou plochu. Z toho je 40% dílů vyráběných za měkka před tepelným zpracováním a 60% dílů je vyráběných po tepelném zpracování, v rozsahu tvrdostí 52 – 60 HRc.

Pro definici dílu charakterizující uvedenou strojní výrobu je nutné sestavit díl, který bude obsahovat všechny nejčastěji se vyskytující prvky a plochy při výrobě tvarových dílů pro lisovací nástroje.



Obr. 26 Vzorový díl – pohled zepředu



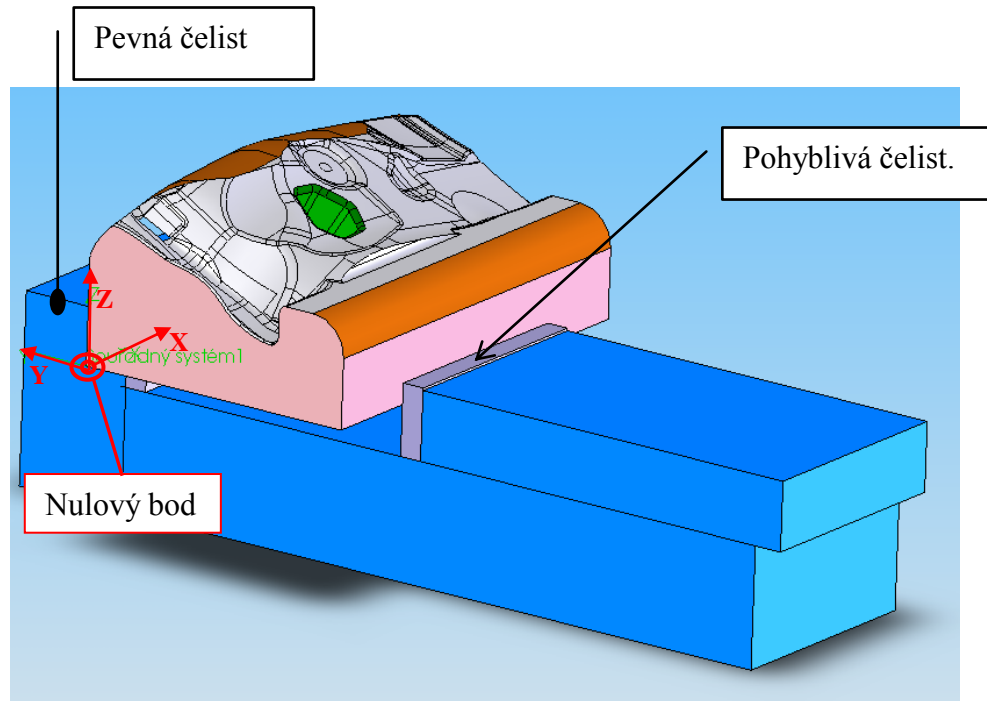
Obr. 27 Vzorový díl – pohled zezadu

*Popis funkčnosti jednotlivých ploch:*

2. Obecná plocha – šedá – dynamika stroje + přesnost polohování os.
3. HSC plocha – hnědá 1 – obrábět podélně v ose x tak, aby se docílilo HSC podmínek.
4. HSC plocha – hnědá 2 – obrábět přesně křivku plochy, dráha nástroje podélně v ose x tak, aby se maximálně přiblížilo HSC podmínkám. Drážka 1 – zelená – polohování os, dosah, dynamika a tuhost stroje.
5. Rádus R4 – tmavě zelená – dynamika.
6. Drážka 2 – modrá – polohování os, dosah, dynamika a tuhost stroje.
7. Rádus R4 – tmavě modrá – dynamika.
8. Vnitřní rádus – žlutá – velikost rádusu může být definovaný rádusem nástroje. Nástroj bude použit shodný jako při obrábění kapsy.
9. Dorazová plocha – růžová – plochy pro upnutí, nabroušené, rovinnost a rovnoběžnost  $\pm 0,01mm$ .

**Souřadný systém a upnutí obrobku:**

Díl bude upnut ve svěráku za nabroušené plochy (fialová barva). Nula kusu je na ploše doražené na pevné čelisti viz obr. Obr. 28.



Obr. 28 Upnutí dílu, souřadný systém

**6.2 Test č. 1 – NCG díl**

Označení dílu je 1.x.1.1.

NCG díl je díl sestavený společností NC-Gesellschaft e.V ve spolupráci s výzkumným ústavem při Ulm University of Technology v Německu. NCG díl slouží k ověření u pěti-osých obráběcích centrů přesnost polohování všech os, dynamiku pohonů, seřízení servo-pohonů versus odměřování. Všechny prvky dílu zahrnují prověření standardních norem definujících parametry pro přesnost a dynamiku stroje a jejich kompatibilitnost v nejběžnějších obráběcích úkonech. Kontrola kvality obrobení jednotlivých entit probíhá vizuálně a porovnává se s formulářem, který popisuje jak má entita vypadat, popřípadě její defekty. Každý defekt na obrobené entitě má svojí příčinu, takže lze z výsledků obrábění poměrně přesně stanovit, kde je stroj špatně seřízen. Díl nelze individuálně sestavit a naprogramovat. Musí být zakoupena licence pro užití testu, jejíž součástí je technická dokumentace s CNC programem v ISO kódu a Heidenhein dialogu.



Díl je dodán pro obrábění nařezaný hotově na rozměry a v tomto stavu je upnut do svěráku. Materiál pro obrábění bude použit NECURON 1007 od dodavatele NECUMER-PRODUCT GmbH nebo materiál od jiného dodavatele za předpokladu dodržení níže uvedených vlastností:

- Teplotní stabilita: 100 ° C
- Koeficient roztažnosti: 45 10<sup>-6</sup>mm/ K
- Tvrdost: 85 Shore D
- Pevnost v tlaku: 70N /mm<sup>2</sup>
- Pevnost v ohybu: 72N /mm<sup>2</sup>
- Abraze – 580 mm<sup>2</sup>
- Hustota – 1,2 g / cm<sup>3</sup>

Cílem testu obrábění NCG dílu je vyhodnocení:

- Dynamiky stroje,
- Tuhosti konstrukce stroje,
- Interpolace rotačních os,
- Polohování os,
- Statické přesnosti,
- Dynamické přesnosti.

#### **Popis testu:**

- Kontrola uspořádání - kontrola kolmosti nástrojových os k základně,
- TCP kontrola (tool center point) – kontrola zpětnovazební transformace parametrů aktuálních poloh všech 5 ti os.
- Kontrola os – kontrola dynamické odezvy pozicování všech os v přesahu stanoveného dojezdu.
- Kontrola přesnosti v kopírování dráhy – probíhá v režimu simultánního řízení pěti os.

**Podmínky a poznámky pro frézování:**

- Osy stroje v průběhu obrábění nesmí být uzamčeny,
- Rozsah sklopných os musí být minimálně  $\pm 20^\circ$ .
- Řezný nástroj musí být vyvážen, přesně upnut a splňovat normu DIN 6535 HA/MF.
- Nástroj musí být upnut ve vřetenu a celá soustava musí být zahřátá na provozní teplotu.
- Správně nastavená nula na obrobku.
- Volný prostor kolem obrobku:  $X_{\min}=75\text{mm}$ ,  $Y_{\min}=105\text{mm}$ ,  $Z_{\min}\geq 20\text{mm}$ .
- Nula dílu: X,Y - levý dolní roh, Z – povrch dílu.
- Hloubka obrábění – max., 10mm => upnutí nad svěrák min., 11mm.
- Některé prvky na testovacím díle vyžadují plynulou změnu polohy obroku v  $360^\circ$ .
- Obrobení některých prvků dílu (polokoule) musí proběhnout bez přeorientování rotační osy. Tzn., obrábí se tisícíhran, nikoliv hladká polokoule.

**Důležitá kritéria pro vyhodnocení:**

- Kolmost frézy k X, Y rovinám,
- souběžná orientace k X, Y, Z osám,
- vzájemná kolmost rotačních os,
- správnost střední délky – 5os proměnných parametrů,
- vůle a nestabilita os, tendence k vibracím,
- chyby pohonu,
- po sobě následující chyby – (dorovnáváním jednotlivých servopohonů není sladěno),
- nelineární kontrolní odezvy.

Vyhodnocení bude probíhat metodou vizuální kontroly všech elementů na díle a to porovnáním s optimálním výsledkem, který je specifikován pro každý element.

Vyhodnocování probíhá pomocí běžně dostupných měřidel ve výrobě. U třech elementů bude vyhodnocení provedeno přímo na stroji z důvodu následných kroků nástroje, který odebere vyhodnocované prvky. Tyto elementy budou ošetřeny programovým zastavením

stroje. Elementy, u nichž nejsou jednotlivé nerovnosti vyhodnotitelné pouhým okem, budou kontrolovány pomocí světelných metod.

Celkem bude obráběno a vyhodnocováno 46 elementů.

Čistý obráběcí čas by neměl přesáhnout 10 min, kdy hodnoty pod 10 min jsou považovány za dobrý výsledek.

#### Norma DIN 6535 HA/MF:

- průměr nástroje 6mm,
- délka ostří > 10mm,
- délka dřívku nástroje  $\geq 25$ mm – z důvodu zabránění kolize držáku s obrobkem,
- břit na nástroji musí umožňovat zapichování do plného materiálu v ose „Z“ (drážkovací fréza)
- ostrý roh na vnějším průměru nástroje,
- čtyř břitá fréza s posuvem na zub  $f_t = 0,1$ mm,
- materiál nástroje HSS.

[10]

Tab. 2 Jednotlivé zodpovědnosti při realizaci testu

P.č.	Nástroj	Zodpovědné oddělení	Zajištěno	Termín plnění
1.	Posuvné měřidlo - rozsah 150mm	Kontrola/kvalita		
2.	Kontrola světelnou metodou	Kontrola/kvalita		
3.	Fréza $\varnothing 6$ mm, DIN 6535 HA/MF	Technolog nástrojů		
4.	NCG Dokumenty	Výrobní subjekt		
6.	Materiál Necuron 1007	Nákup		



Obr. 29 NCG díl

### 6.3 Test č. 2 – měkký díl

Označení dílu je 2.x.2.2.

Díl bude obráběn za měkka z plného materiálu, kde bude referenční nula shodná s nulou na modelu viz Obr. 28. Materiál bude nachystán v zúhlovaném a nabroušeném stavu. Materiál ČSN 12050. Tolerance všech rozměrů a tvaru  $\pm 0,03\text{mm}$ . Oblast obráběných entit je definovaný CAD modelem a barvou. Obrábění bude probíhat v režimu hrubování s využitím tříosých hrubovacích strategií a v režimu dohrubování a obrábění na čisto s využitím simultánně řízených 5 ti os. Pro zhotovení CNC programu je doporučováno využití nezávislého dodavatele v případě, že nelze využít vlastní zdroje. Obráběcí strategie jednotlivých nástrojů a typové osazení nástrojů bude pevně stanovené v technologickém postupu CNC programu a neměnné. Jediný parametr, který bude moci výrobce stroje upravit je parametr řezných podmínek.

Obrábění proběhne na jedno upnutí, kde přídavek materiálu bude volen tak, aby bylo možno dosáhnout obrobení všech prvků na díle.

Upnutí polotovaru:

- Do svěráku, za růžové plochy (nabroušené) dle uvedeného souřadného systému,
- souřadný systém – viz Obr. 28 – nulový bod,

- upínací výška = 15mm.

Mezi obráběním jednotlivých prvků bude programové stop, které bude sloužit jako prostor pro zápis výsledovaných veličin a jevů z obrábění předchozí entity.

Tato zkouška bude sloužit k vyhodnocení tuhosti a výkonnosti stroje. Druhým bodem vyhodnocení bude vhodnost využití stroje na obrábění za měkka. V tomto případě bude porovnáván celkový objem odebraného materiálu za minutu, čas (náklady), přesnost jednotlivých prvků a kvalitu obrobení.

### 6.3.1 Technologický postup přípravy polotovaru pro pěti osí stroj

Materiál je připraven pro obrábění na pětiosém stroji do zúhlované a nabroušeného stavu s kolmostí  $\pm 0,01^\circ$ .

V uvedení tabulce je technologický postup výroby dílu do předpřipraveného stavu pro pětiosé obrábění. V pravém sloupci jsou orientačně uvedeny hodinové sazby strojů, které vychází z cen průměrné nástrojárny ve velikosti 60 lidí včetně oddělení technologie a CAM. Celková odhadovaná cena přípravy vzorového dílu je potom uvedena v buňce R9.

Tab. 3 Technologický postup přípravy „měkkého dílu“

UNIVERZITA TOMÁŠE BATI VE ZLÍNĚ																			
FAKULTA TECHNOLOGICKÁ																			
Vypracoval: Jiří Moučka												Ročník:		v					
Předmět: Technologický postup pro díl 2.x.2.2.												Datum:		24.8.2010					
Popis vyráběné součásti:				Test č. 2 - měkký díl.															
ZÁKAZNÍK:				FT UTB ZLÍN								Celkový čas [min] :		2,91					
VÝKRES č.:				MATERIÁL:		ČSN 12050		ZPRACOVAL:		Jiří Moučka		Počet kusů:		1		Celková cena:		1 715,0 Kč	
Číslo operace	Název operace	Stroj/ pracoviště	Nástroj	POPIS OPERACE	RYCHLOSTI		POSUV			DOSÁZENÉ ČASY [min]				Σ ČAS	Sazba stroje	Cena úkonu			
					V [m/min]	n [ot/min]	fz [mm/z]	Vf [mm/min]	Dráha [mm]	Strojní	Rychlposuv	Neaktivní	Poč.řezů				t [min]	Kč/hod	Kč
10	Mtz	Pásová pila		Vychystání polotovaru s přídatkem 4,5mm.	100		0,05	200	130	39	1	3	4	43	550 Kč	394 Kč			
20	Frézování	FGS 32	Garant Ø120, 214400	Zúhlování polotovaru, úběr v "Z" po 1,5mm přídatkem pro Brus +0,3	300	1500	0,35	500	300	21,6	21,6	10	36	53,2	650 Kč	576 Kč			
40	Broušení	Bph 63	Broušící kotouč ČSN 22 4530	Brousit do úhlu všechny strany $\pm 0,01^\circ$ na 0.	60	20000	0,01	1000	300	18	25,2	20	42	63,2	600 Kč	632 Kč			
50	Mechanik			Srazit hrany, upravit + posat díl										15	450 Kč	113 Kč			

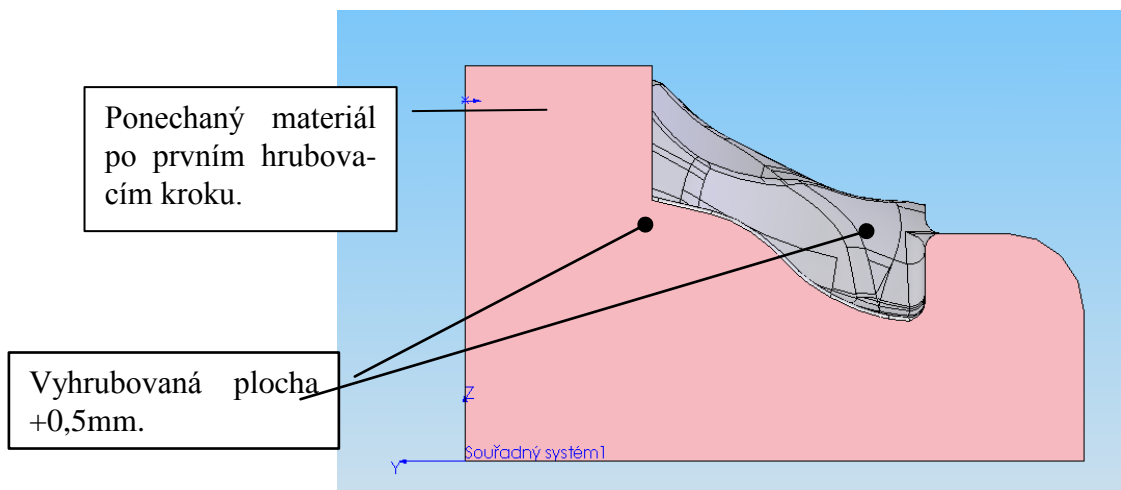
### 6.3.2 Vyhrubování tvaru

Tato operace vyhrubuje níže uvedené entity. Výstupem této fáze obrábění bude množství materiálu odebraného za časovou jednotku a celkový čas řezu nástroje versus celková délka řezné dráhy nástroje pro každou entitu.

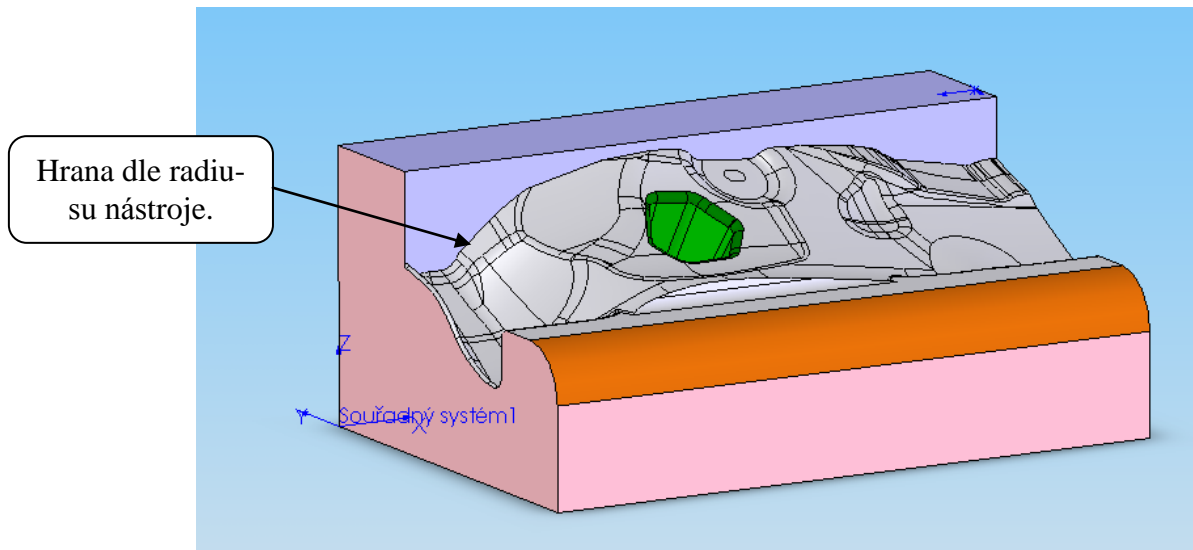
Operace bude rozdělena na dva kroky:

#### Krok 1:

V prvním kroku se vyhrubuje celý tvar šedé plochy včetně tmavě zeleného prvku +0,5 mm a hnědou plochu ponechá tak, aby nejvyšší bod radiusu tvořil rovinu, která svírá s tečnou boční stěnou pravý úhel viz Obr. 30 a Obr. 31. Hrubování bude probíhat v tříosém indexovacím režimu.



Obr. 30 Zůstatkový materiál na prvku HSC plocha 2

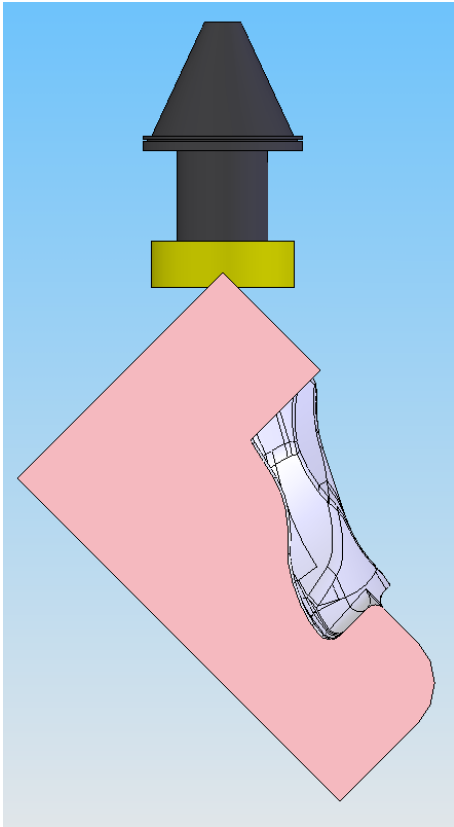


Obr. 31 Zůstatkový materiál na prvku HSC plocha 2

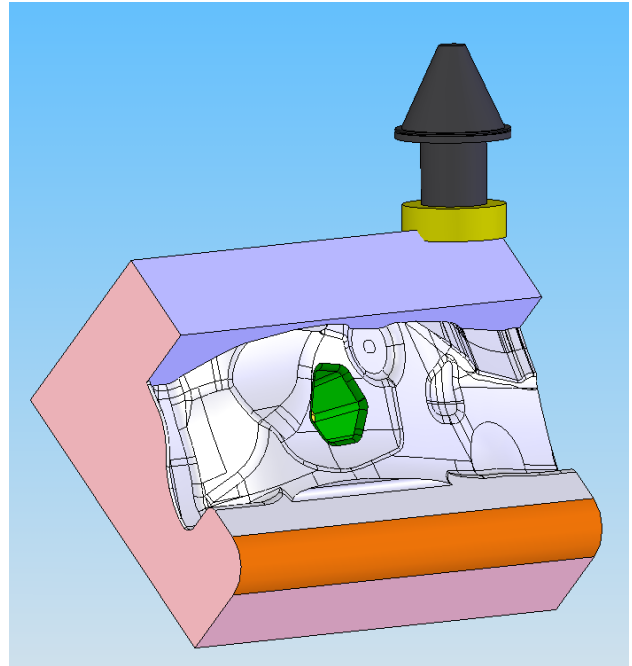
**Krok 2:**

V druhém kroku dojde k natočení dílu o  $45^\circ$  (středem rádiusu k ose vřetena) a materiál bude odebírán celým průměrem nástroje, hrubovacím cyklem na  $+0,5$  mm. Frézování se provede frézou Trigaworks hrubovací R63 R3,5. Výstupem této fáze obrábění bude množství materiálu odebraného za čas, dynamické chování stroje a celkový vliv odebírané třísky na mechanické chování stroje (vibrace).

Výkon a řezné parametry nástroje jsou voleny pro robustní hrubovací stroj např., horizontální frézovací centrum H-63. Zde je uvažováno, že výchozí řezné parametry budou optimalizovány (snižovány) v průběhu obrábění. Cílem je porovnat řezné podmínky pro hrubovací stroj s aplikovatelnými řeznými podmínkami na pětiosém stroji.

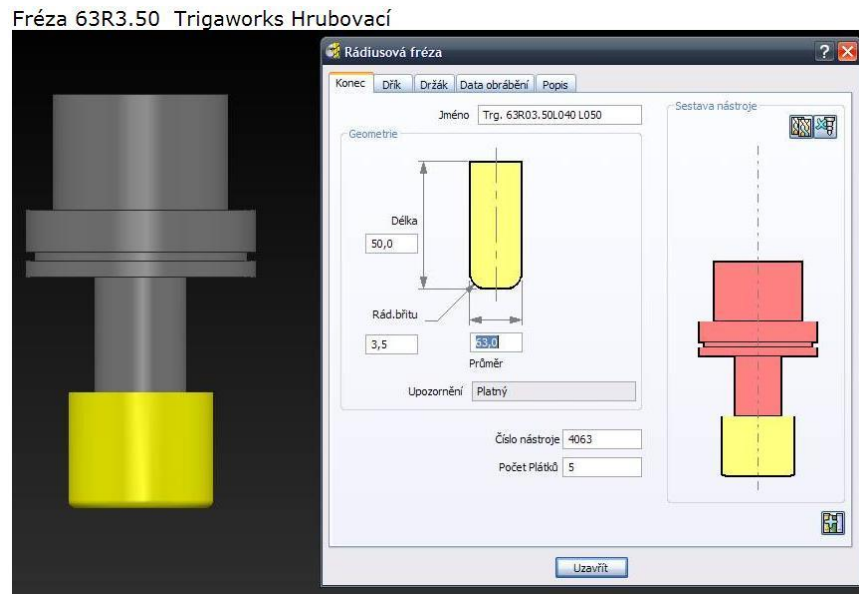


Obr. 32 Obrábění krok 2



Obr. 33 Obrábění krok 2





Obr. 34 Hrubovací fréza Trigaworks D63 R3,5

*Řezné parametry nástroje:*

#### 1. Vlastnosti nástroje

- Nástroj – trg.63R03,5
- Průměr – 63mm
- Počet zubů/pláteků – 5
- Vyložení – 50mm

#### 2. Vlastnosti dráhy

- Typ - hrubování
- Operace - základní

#### 3. Vlastnosti nástroje/materiálu

- Řezná rychlost (doporučeno) – 211,7 m/min
- Posuv na zub (doporučeno) – 0,95mm
- Axiální hloubka řezu (doporučeno) – 1,5mm
- Radiální hloubka řezu (doporučeno) – 50mm

#### 4. Vlastnosti dráhy

- Otáčky vřetene (doporučeno) – 1070 ot/min
- Posuvy (doporučeno) – 5100 mm/min

- Sjezdový posuv (doporučeno) – 3825 mm/min
- Rychloposuv – 50 000 mm/min

#### 5. Chlazení – vzduch

### 6.3.3 Dohrubování tvaru

Tato operace doobrobí zbytky materiálu po hrubovací fréze a na +0,5 mm v kontinuálním režimu řízení 5 os.

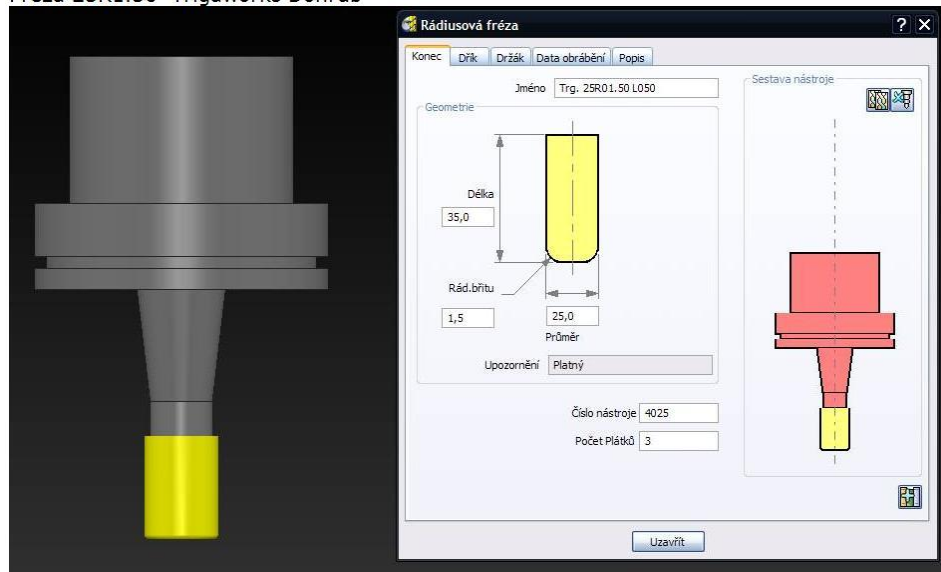
Použitý nástroj je Trigaworks dohrub 25 R1,5 mm. Opeace bude rozdělena do více kroků obrábějící jednotlivé entity. Nástroj nebude hrubovat kapsové vybrání.

Výstupem této fáze obrábění bude množství materiálu odebraného za časovou jednotku a celkový čas řezu nástroje versus celková délka řezné dráhy nástroje.

*Dohrubovávané entity:*

- Obecná plocha – šedá
- HSC plocha 1+2 – hnědá

Fréza 25R1.50 Trigaworks Dohrub



Obr. 35 Dohrubovací fréza Trigaworks D25 R1,5

*Řezné parametry nástroje:*

#### 1. Vlastnosti nástroje

- Nástroj – trg.25R01,5
- Průměr – 25mm
- Počet zubů/plátků – 3

- Vyložení – 50 mm
2. Vlastnosti dráhy
    - Typ – hrubování
    - Operace – základní
  3. Vlastnosti nástroje/materiálu
    - Řezná rychlost (doporučeno) – 190 m/min
    - Posuv na zub (doporučeno) – 0,5mm
    - Axiální hloubka řezu (doporučeno) – 0,5mm
    - Radiální hloubka řezu (doporučeno) – 20mm
  4. Vlastnosti dráhy
    - Otáčky vřetene (doporučeno) – 2420 ot/min
    - Posuvy (doporučeno) – 3630 mm/min
    - Rychloposuv – 50 000 mm/min
  5. Chlazení – vzduch

#### 6.3.4 Frézování prvků na hotovo

Jedná se o dokončovací operaci s nulovým přídávkem ke všem prvkům testovacího dílu. Jedinou výjimku budou tvořit neprůchozí drážky, které budou vyhrubovány a zároveň obrobny na hotovo nástrojem torická fréza D10 R1,5. Tato operace bude rozdělena do několika kroků. Každá entita bude obráběna samostatným programem, kde na konci bude M0. obrábění všech entit bude probíhat v kontinuálním režimu řízení všech os. Výstupem této fáze obrábění bude množství materiálu odebraného za časovou jednotku a celkový čas řezu nástroje versus celková délka řezné dráhy nástroje pro každou obráběnou entitu.

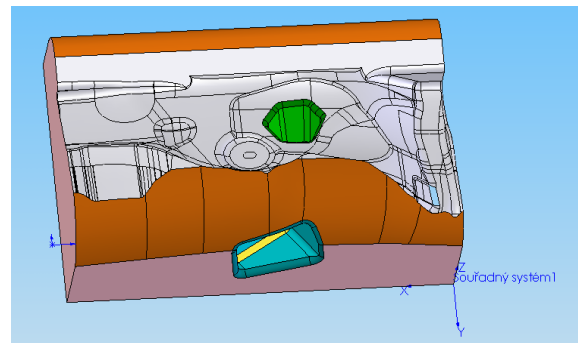
Použité nástroje:

- Torická fréza D10 R1,5 mm pro hrubování drážek.
- Kulová fréza D10 R5 mm pro obrábění drážek a zbylých entit na hotovo.

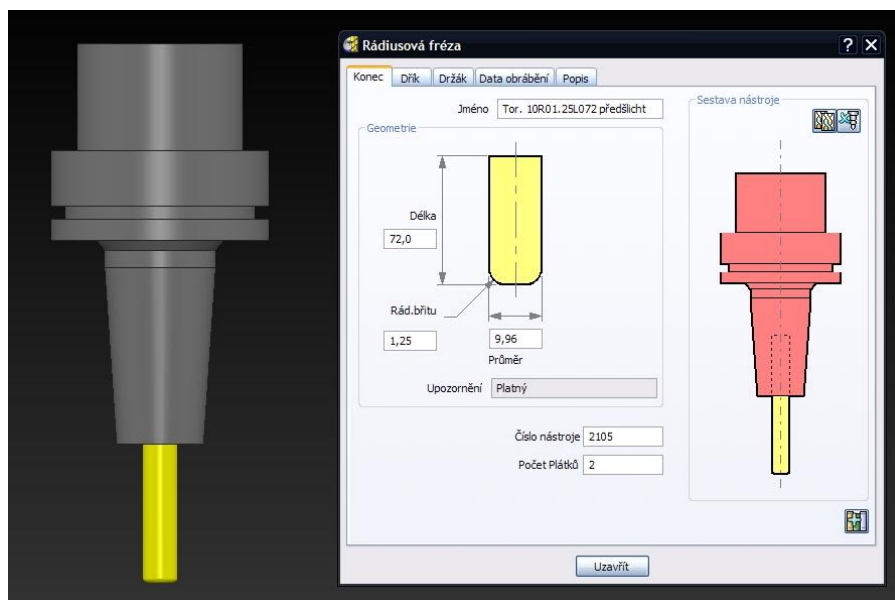
*Entity pro obrobení na hotovo:*

- Obecná plocha – šedá, vyhladit plochy v toleranci  $\pm 0,03\text{mm}$
- HSC plocha 1,2 – hnědá, dráha nástroje podélná.
- Drážka 1 – zelená

- Rádus R4 – tmavě zelená
- Drážka 2 – modrá
- Rádus R4 – tmavě modrá
- Vnitřní rádus – žlutá – velikost rádusu může být definovaný rádusem nástroje. Nástroj bude použit shodný jako při obrábění kapsy.



Obr. 36 Testovací díl

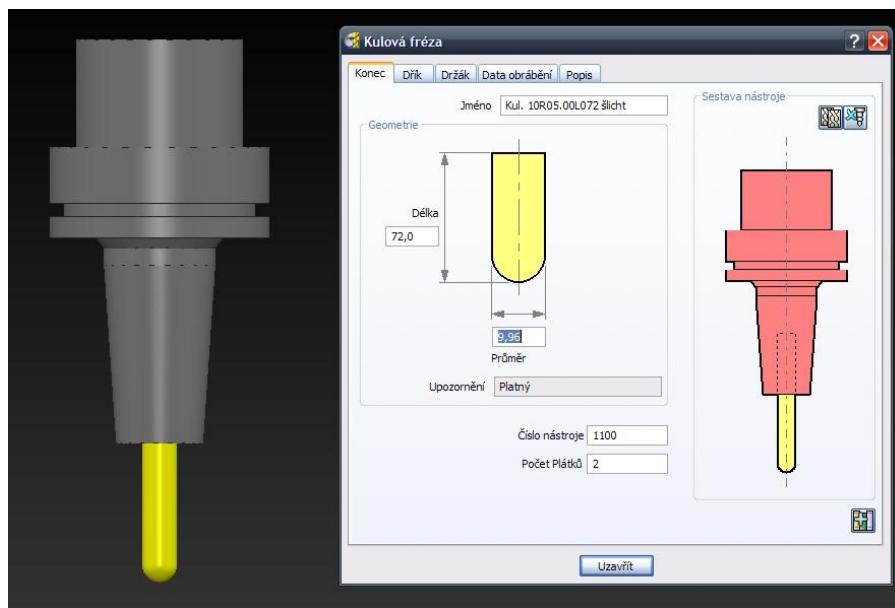


Obr. 37 Fréza torická D10 R1,25 mm

*Řezné parametry nástroje Torická fréza D10 R1,5:*

1. Vlastnosti nástroje
  - Nástroj – tor.10R01,25
  - Průměr – 10mm
  - Počet zubů/plátek – 2
  - Vyložení – 40 mm
2. Vlastnosti dráhy
  - Typ – hrubování

- Operace – základní
3. Vlastnosti nástroje/materiálu
    - Řezná rychlost (doporučeno) – 179,3 m/min
    - Posuv na zub (doporučeno) – 0,1mm
    - Axiální hloubka řezu (doporučeno) – 0,2mm
    - Radiální hloubka řezu (doporučeno) – 3mm
  4. Vlastnosti dráhy
    - Otáčky vřetene (doporučeno) – 5730 ot/min
    - Posuvy (doporučeno) – 1203 mm/min
    - Rychloposuv – 50 000 mm/min
  5. Chlazení – standardní



Obr. 38 Fréza kulová D10 R5

*Řezné parametry nástroje kulová fréza D10 R5:*

1. Vlastnosti nástroje
  - Nástroj – kul.10R05
  - Průměr – 10mm
  - Počet zubů/pláteků – 2
  - Vyložení – 40 mm
2. Vlastnosti dráhy

- Typ – dohotovení, na hotovo
  - Operace – základní
3. Vlastnosti nástroje/materiálu
    - Řezná rychlost (doporučeno) – 500 m/min
    - Posuv na zub (doporučeno) – 0,12mm
    - Axiální hloubka řezu (doporučeno) – 0mm
    - Radiální hloubka řezu (doporučeno) – 0mm
  4. Vlastnosti dráhy
    - Otáčky vřetene (doporučeno) – 14000 ot/min
    - Posuvy (doporučeno) – 3360 mm/min
    - Rychloposuv – 50 000 mm/min
  5. Chlazení – vzduch, olejová mlha

## 6.4 Test č. 3 – tvrdý díl

Označení dílu 3.x.3.3.

Na díle bude obráběna plocha, která bude v předpřipraveném stavu. Tzn., tvar bude vyhrubovaný s konstantním přídatkem 0,5mm a bude zakalený na 58 +2 HRc. Obrábění bude probíhat na jedno upnutí, kde výška upínací plochy bude 15mm. Upínací plochy budou nabroušeny do úhlu, z důvodu vymezení odchylky při volbě nulového bodu pro orientaci stroje.

Referenční nula bude shodná s nulou na modelu viz Obr. 28. Materiál bude nachystán v obrobeném stavu všech prvků s konstantním přídatkem 0,5mm, kde upínací plochy budou nabroušené. Materiál W.NR 1.2379, ekvivalent ČSN 19 573 (EN X160CrMoV121). Tolerance všech rozměrů a tvaru  $\pm 0,03$ mm. Oblast obráběných entit je definovaný CAD modelem a barvou. Obrábění bude probíhat v obrábění na čisto s využitím simultánně řízených pěti os u všech prvků. Obráběcí strategie jednotlivých nástrojů a typové osazení nástrojů bude pevně stanovené v technologickém postupu a neměnné. Jediný parametr, který bude moci výrobce stroje upravit je parametr řezných podmínek. Obrábění proběhne na jedno upnutí, kde přídatek materiálu bude volen tak, aby bylo možno dosáhnout obrobení všech prvků na díle.

Upnutí polotovaru:

- Do svěráku, za růžové plochy (nabroušené) dle uvedeného souřadného systému,
- souřadný systém – viz Obr. 28,
- upínací výška = 15mm.

Mezi obráběním jednotlivých prvků bude programové stop, které bude sloužit jako prostor pro zápis výsledovaných veličin a jevů z obrábění předchozí entity.

Tato zkouška bude sloužit k vyhodnocení chování stroje v podmínkách obrábění tvrdého materiálu, možnosti přiblížení k HSC podmínkám a vhodnosti stroje pro produktivní obrábění zakalených tvarově složitých dílů.

Nástroj Ball Nosed Kulová D12 L059 N24:

#### 1. Vlastnosti nástroje

- Nástroj – Ball Nosed Kulová D12 L059 N24
- Průměr – 12mm
- Počet zubů/plátků – 4
- Vyložení – 40 mm
- Provedení – monolit
- Držák - tepelný

#### 2. Vlastnosti dráhy

- Typ – na hotovo
- Operace – základní

#### 3. Vlastnosti nástroje/materiálu

- Řezná rychlost (doporučeno) – 200 m/min
- Posuv na zub (doporučeno) – 0,15mm
- Axiální hloubka řezu (doporučeno) – 0,5mm
- Radiální hloubka řezu (doporučeno) – 0,4mm

#### 4. Vlastnosti dráhy

- Otáčky vřetene (doporučeno) – 5306 ot/min
- Posuvy (doporučeno) – 3184 mm/min

- Rychloposuv – 60 000 mm/min
5. Chlazení – vzduch, olejová mlha

#### **6.4.1 Technologický postup přípravy tvrdého dílu**

V tabulce tab. 4 se nachází technologický postup výroby dílu do předpřipraveného stavu pro pětiosé obrábění. V pravém sloupci jsou orientačně uvedeny hodinové sazby strojů, které vychází z cen průměrné nástrojárny ve velikosti 60 lidí včetně oddělení technologie a CAM. Celková odhadovaná cena přípravy vzorového dílu je potom uvedena v buňce R9.





## 6.5 Test č. 4 – polohovací díl

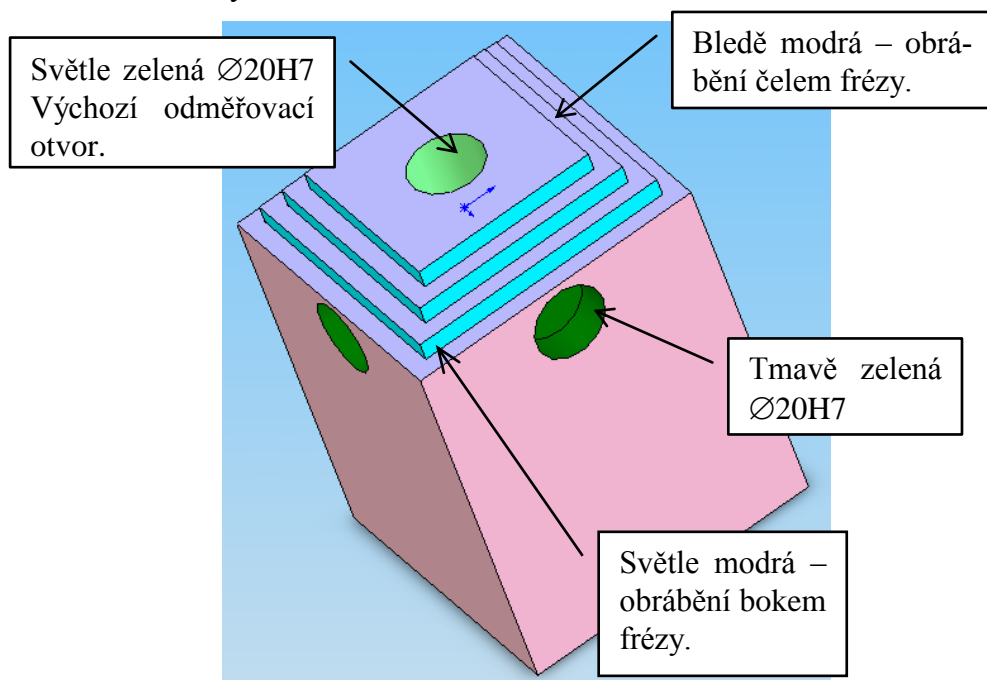
Označení dílu je 4.x.4.1.

Test č. 4 představuje díl, který testuje přesnost polohování jednotlivých os od bodu znázorňující střed. Pravoúhlé vybrání budou vždy obráběny v režimu zaindexování třetí a čtvrté osy. Obrobené prvky (pravoúhlé vybrání) se posléze změří od středu (vystružený otvor 20H7) a číselně vyhodnotí. Pomocí tohoto testu budou transparentně vizualizované odchylky při obrábění způsobené třetí a čtvrtou osou.

Na díle se budou obrábět pravoúhlé vybrání, vždy se zapolohovanými osami. Tzn., že každé vybrání bude obráběno pohybem os X a Y s korekcí hloubky v ose Z tak, že svislá plocha na konečném výrobku je obráběna čelem frézovacího nástroje. Takže osa A (kolíbká) se otočí o 90° a dojde k obrobení prvního vybrání, pak se osa B (otočný stůl) otočí o 90° a obrobí se stejná úroveň vybrání.

Údaje o obrobku:

- Materiál – ČSN 42 42201
- Rozměry – 80x80x65 mm



Obr. 39 Polohovací díl

### Význam jednotlivých prvků:

- Otvor 20H7 světle zelený – výchozí entita pro obrábění a kontrolní měření. Nulový bod bude středem kružnice.
- Otvor 20H7 tmavě zelený – frézovaný prvek, kontrolní bod kruhovitosti při pohybu všech os a kontrola polohy vůči nulovému bodu.
- Pravoúhlé vybrání – kontrola polohování čtvrté a páté osy. Bude obráběno v indexačním režimu.

#### 6.5.1 Technologický postup přípravy polohovacího dílu

Jedná se výrobu dílu do připraveného stavu pro další obrábění na pětiosém stroji. Technologický postup je postaven tak, aby se minimalizovali odchylky pro další obrábění.

Technologický postup s výkresem bude k náhledu i v přílohách.

Tab. 5 Technologický postup výroby přípravy „polohovacího dílu“

UNIVERZITA TOMÁŠE BATI VE ZLÍNĚ																			
FAKULTA TECHNOLOGICKÁ																			
Vypracoval: Jiří Moučka											Ročník:		v						
Předmět: Technologický postup pro díl 4.x.4.4.											Datum:		24.8.2010						
Popis vyráběné součásti:				Test č. 4. - polohovací díl															
ZÁKAZNÍK:				FT UTB ZLÍN							Celkový čas [min]:		2,28						
VÝKRES č.:		MATERIÁL:		AL		ZPRACOVAL:		Jiří Moučka		Počet kusů:		1		Celková cena:		1 330,5 Kč			
Číslo operace	Název operace	Stroj/ pracoviště	Nástroj	POPIS OPERACE	RYCHLOSTI				POSUV				DOSAŽENÉ ČASY [min]				Σ ČAS	Sazba stroje	Cena úkonu
					V[m/min]	n[ot/min]	fz[mm/z]	Vf[mm/min]	Dráha[mm]	Strojní	Rychlposuv	Neaktivní	Poč.řezů	t[min]	Kč/hod	Kč			
10	Mtz	Pásová pila		Vychystání polotovaru s přídavkem 3,3mm.	200		0,1	200	60	18	1	3	2	22	550 Kč	202 Kč			
20	Frézování	FGS 32	Garant Ø120, 214400	Zúhlování polotovaru, úběr v "Z" po 1,5mm.přidavek pro Brus +0,3	300	1500	0,45	500	300	7,2	7,2	10	12	24,4	650 Kč	264 Kč			
40	Broušení	Bph 63	Brousící kotouč ČSN 22 4530	Brousit do úhlu všechny strany ±0,01° na 0.	60	20000	0,03	600	300	30	25,2	20	42	75,2	600 Kč	752 Kč			
50	Mechanik			Sražít hrany, upravit + posat díl, v pravém dolním rohu každé obvodové strany napsat číslo plochy od 1 do 4.										15	450 Kč	113 Kč			

#### 6.5.2 Technologický postup výroby na pětiosém stroji

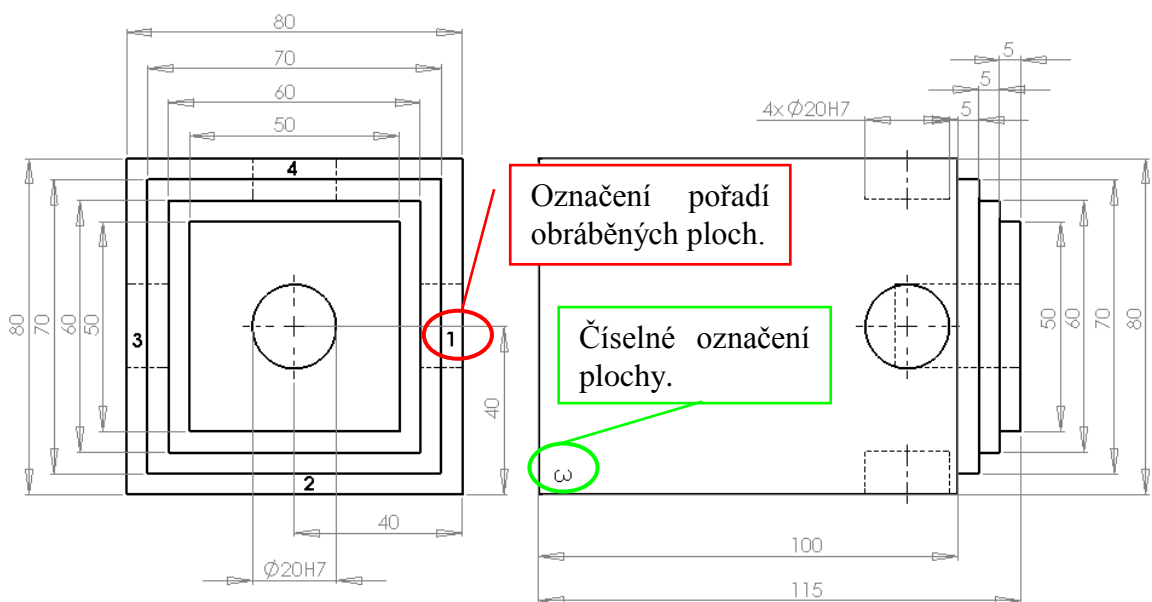
1. Upnutí dílu do svěráku za 10mm – vyrovnání, kolmost stěn k základně ±0,01mm, viz Obr. 41.
2. Otvor 20H7 (světle zelený) – bude sloužit jako nulový bod pro obrábění a pro měření. Postup obrábění – vyvrtat tvrdokovovým vrtákem Ø19,6 mm,

DIN 6537 nebo jeho ekvivalent, pak vystružit výstružníkem  $\varnothing 20H7$  DIN 208 nebo její ekvivalent.

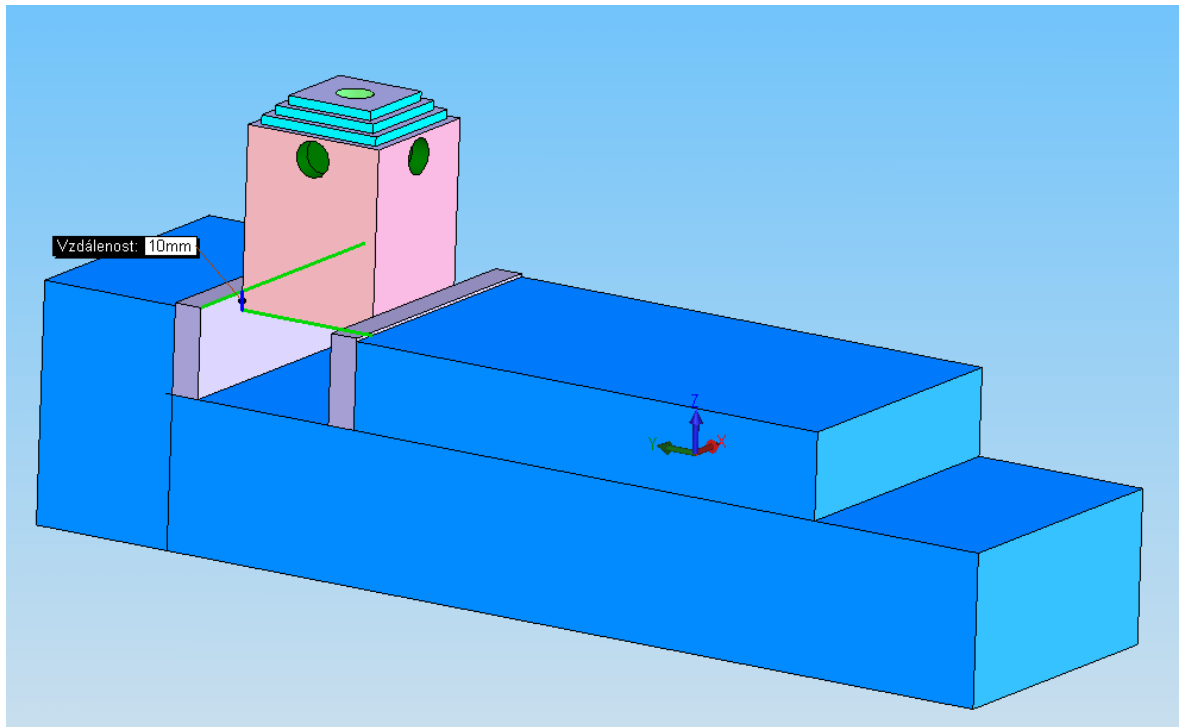
3. Obrábění pravoúhlých vybrání režimem indexace os v pořadí dle číselného označení na výkrese. Každá úroveň „Z“ samostatně. Použit nástroj – válcová fréza D12 DIN 6527 nebo její ekvivalent.
4. otvor  $\varnothing 20H7$  (tmavě zelený) – obrobit cyklem frézování kapsy zavrtáním. Nástroj – stopková fréza D10 DIN 6527 WF nebo její ekvivalent.

*Postup výroby jednotlivých vybrání:*

1. rozměr 50 – začít plochou 1, pak plocha 2,3,4,
2. rozměr 60 – začít plochou 1, pak plocha 2,3,4,
3. rozměr 70 – začít plochou 1, pak plocha 2,3,4,
4. Otvor  $\varnothing 20H7$  (tmavě zelený) – začít na ploše 1, pak plocha 2,3,4.



Obr. 40 Výkres polohovací díl



Obr. 41 Upnutí polohovacího dílu ve svěráku

## ZÁVĚR

Tato diplomová práce je zaměřena na problematiku výběru nejvhodnějšího pětiosého obráběcího centra. V diplomové práci je uvedena komplexní metodika nejrůznějších vyhodnocení a testů obrábění, které mají za úkol vytvořit soubor dat, který jednoznačně definuje vhodnost obráběcího stroje. Jednotlivé testy rozkryjí skryté závady, které se běžně neuvádějí v prodejním protokolu.

V teoretické části jsou uvedeny hlavní pojmy frézovacího procesu, které jsou rozděleny do jednotlivých kapitol. První kapitola se věnuje způsobům frézování, základními výpočty a pojmy, vzniku třísky a jevy s tím spojené, popisem základních druhů frézovacích nástrojů a základní úhly na zubu frézovacího nástroje. Druhá kapitola se zabývá frézovacími stroji, kde jsou popsány základní požadavky na ně kladené, základní definice a základní třídění obráběcích strojů. Dále se kapitola zabývá CNC frézkami a výkonností obráběcího stroje. V poslední třetí teoretické kapitole je popsána struktura NC, CNC řídicích systému a druhy řízení číslicových systémů.

Praktická část diplomové práce je koncipována formou metodických pokynů při výběru nového pětiosého obráběcího stroje. Jednotlivé kapitoly popisují dílčí testy. V každé kapitole je uvedený podrobný postup jak test provádět a jakých výsledků má být dosaženo, popřípadě, které veličiny mají být sledovány. Druhá kapitola praktické části podrobně popisuje a definuje sledované veličiny obráběcího stroje, z kterých vychází koeficienty indexu kvality stroje. Celkem je sledováno 15 základních veličin stroje, z nichž se vypočítá průměrný index kvality  $I_k$ , podle kterého lze rozdělit nabízené obráběcí stroje do jednotlivých kvalitativních skupin. Každý parametr sleduje nejen stránku technickou, ale i ekonomickou, např., index kvality zabývající se plochou stroje. Děje se tak, že ne vždy jsou k dispozici libovolně velké výrobní prostory, které nelze jinak využít, tzv., mrtvá plocha. Logistika moderních výrobních podniků, počítá s každým využitelným čtverečním metrem. Třetí kapitola praktické části se zabývá praktickými testy odhalující použitelnost stroje v praktických podmínkách strojní výroby. Test číslo 1, obrábí NCG díl. Tento díl byl vyvinut ve výzkumném ústavu v Německu a jeho použitelnost je jak u výrobců strojů tak zejména u nakupujících, kde během několika minut lze zjistit jaký stroj s ohledem na výkon a přesnost je kupován, potažmo prodáván. Vyhodnocení dílu nevyžaduje speciální techniku, ve většině případů stačí porovnání pouhým okem se správným stavem uvedeným v protokolu. Druhou variantou, ekvivalentem, k uvedenému testu je zkušební díl vyvinutý

Výzkumným centrem pro strojírenskou výrobní techniku a technologii. Následující testy č. 2 a 3 jsou náročnějšího charakteru a vyžadují náročnější přípravu. Nicméně tyto testy odhalí pravou skutečnost použitelnosti stroje v náročných podmínkách výroby obecně tvarových ploch, kde nikdy není ideální kvalita konstrukčních dat. Stroj se v tomto případě musí vyrovnávat s rozmanitostí vytvořených ploch, které obsahují velký počet pečů - jednotlivých bodů, které dohromady tvoří plochu, nebo její část. Poslední test č. 4 umožňuje metrologicky vyhodnotit přesnost polohování všech os. Na rozdíl od NCG dílu, který je vyhodnocován pouze opticky.

Pro běžný výrobní podnik je uvedená metodika vzhledem ke svojí časové a finanční náročnosti velkým projektem. Na druhou stranu absolvování komplexního prověření výkonnostních parametrů deklarované výrobcí, může v budoucnosti výrobnímu podniku, který tento projekt realizoval, ušetřit nejen peníze ale taky mnoho dalších starostí s dodatečným řešením technických problémů.

**SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY**

- [1] Antonín Vaňák: *Technologie frézování, pracovní listy*, Šumperk, červenec 2007  
CZ.04.1.03/3.1.15.2/0091
- [2] Ivan Vavřík, Petr Blecha, Josef Hampl: *Výrobní stroje a zařízení*, Vysoké učení technické v Brně, fakulta strojního inženýrství.
- [3] PŘÍKRYL, Z. a kolektiv: *Technologie obrábění*. Praha: SNTL, 1967
- [4] PŘÍKRYL, Z. MUSÍLKOVÁ: R: *Teorie obrábění*. Praha: SNTL, 1971
- [5] Jaroslav Řasa, Vladimír Gabriel: - *Strojírenská technologie 3 - 1. díl, metody, stroje a nástroje pro obrábění*.
- [6] KOČMAN, K., PROKOP, J.: *Technologie obrábění*. Brno: CERM, 2001
- [7] ROČEK, Vladimír. *Průručka obrábění*. Praha: SNTL, 1973
- [8] KOČMAN, K., PROKOP, J.: *Technologie výroby II*. Brno 2002
- [9] KOČMAN, Karel.: *Speciální technologie - Obrábění*. Brno: CERM, 2004
- [10] NC-Gesellschaft - Application of New Technologies, *Test Workpiece for the 5-Axis Simultaneous Milling Machining*, NCG - Recommendation 2005
- [11] Josef Bernard, Martin Kukačka: Index kvality obráběcích strojů, **MM 2006 / 12** 19.  
Prosinec 2006 v rubrice Trendy / Obrábění, strana 28
- [12] VIGNER, M., PŘÍKRYL, Z. a kolektiv: *Obrábění*. Praha: SNTL, 1984
- [13] PTÁČEK, Luděk a kolektiv: *Nauka o materiálu II*. Brno: CERM, 2002
- [14] ROČEK, Vladimír. *Průručka obrábění*. Praha: SNTL, 1973
- [15] LUKOVICS, Imrich: *Konstrukční materiály a technologie*. Brno: ES VUT, 1986
- [16] Karel Janděčka a kolektiv: *Postprocesory a programování NC strojů*, Fakulta výrobních technologií a managementu, UJEP, ISBN 978-80-7044-870-0
- [17] ŘASA J.: *Strojírenská technologie*. Praha: 2000
- [18] ČERNÝ F.; SOUČEK, J.; VASILKO K: *Teória obrábania*. Bratislava, 1983
- [19] OPLATEK F.: *Číslicové řízení obráběcích strojů*, Havlíčkův Brod: Fragment, 1998



- [20] TOMEČEK E.: *Mechanická technologie III*, Praha: SNTL, 1961
- [21] RYBNÍK P.: *Obsluha a programování CNC strojů*, Praha: ČVUT, 1995
- [22] JANEČKA K.: *Programování NC strojů*, Plzeň, Západočeská univerzita, 2000
- [23] BÉKÉS J., ČELKO R., ČERVENÝ L.: *Obrábanie kovov*, Bratislava, 1972
- [24] BÁTORA B., VASILKO K.: *Obrobené povrchy*, Trenčianská univerzita, Trenčín 2000
- [25] LUKOVICS I. : *Konstrukční materiály a technologie*, Brno: ES VUT. 1992

**SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK**

CAM	Computer-aided manufacturing.
CNC	Computer numerical control
2D	Dvourozměrný.
3D	Třírozměrný.
$V_c$	řezná rychlost [m/min]
$D$	průměr nástroje [mm]
$n$	počet otáček vřetene [1/min]
$t_s$	Řezný čas
$L$	celková délka dráhy nástroje.
$S_{min}$	posuv za minutu
$S_z$	Posuv na zub [mm/1 zub]
$S_o$	Posuv na otáčku
$z$	počet zubů frézy
$N$	Efektivní výkon motoru
$t$	hloubka odfrézované vrstvy
$B$	šířka frézované plochy [mm]
$p$	Měrný řezný odpor
$F_c$	řezná síla (odpor)
$S$	průřez třísky $S=a.b$ [mm <sup>2</sup> ]
MO	počátek plastických deformací
NO	konec plastických deformací
$\delta_o$	nástrojový ortogonální úhel řezu
$P_{sh}$	Rovina stříhu
$P_{fc}$	Pracovní rovina v hlavním bodě ostří

---

$\Phi$	úhel roviny stříhu
$h_D$	jmenovitá tloušťka řezu
$h_{DC}$	tloušťka třísky
$\Delta p$	tloušťka elementu třísky
$\Delta s$	posunutí elementu třísky
$\varphi_t$	třecí úhel mezi odcházející třískou a čelem nástroje
OS	Obráběcí stroj
$t_c$	celkový čas na obrobení dané součástky
$t_h$	hlavní čas
$t_{vi}$	vedlejší časy
NC	numerical kontrol
PLC	Programmable Logic Controller
PC	Personal computer
$I_k$	Index kvality
R	Radius
HSC	High speed cutting
CAD	Computer added drafting

**SEZNAM OBRÁZKŮ**

Obr. 1 Řezný proces.....	21
Obr. 2 Vznik třísky .....	21
Obr. 3 Primární plastické deformace .....	22
Obr. 4 Sekundární plastická deformace .....	23
Obr. 5 Frézy .....	24
Obr. 6 Nástrčná frézovací hlava.....	25
Obr. 7 Stopková celokarbidová fréza.....	25
Obr. 8 Nástrčná válcová čelní fréza .....	26
Obr. 9 Stopková fréza pro srážení hran .....	26
Obr. 10 Úhlová čelní fréza.....	26
Obr. 11 Stopková fréza s čelními půlkruhovými břity.....	27
Obr. 12 Drážkovací fréza.....	27
Obr. 13 geometrie břítu frézy.....	28
Obr. 14 Řezné úhly .....	29
Obr. 15 Základní požadavky kladené na obráběcí stroje [2]. .....	31
Obr. 16 Třídění obráběcích strojů [2]. .....	32
Obr. 17 Rám typu C .....	35
Obr. 18 Rám typu L .....	36
Obr. 19 Rám typu T .....	36
Obr. 20 Portálový rám.....	37
Obr. 21 Schéma NC řídicího systému.....	41
Obr. 22 Schéma CNC řídicího systému .....	43
Obr. 23 Druhy řízení .....	45
Obr. 24 Absolutní programování .....	46
Obr. 25 Přírůstkové programování .....	47
Obr. 26 Vzorový díl – pohled zepředu.....	62
Obr. 27 Vzorový díl – pohled zezadu .....	63
Obr. 28 Upnutí dílu, souřadný systém .....	64
Obr. 29 NCG díl.....	68
Obr. 30 Zůstatkový materiál na prvku HSC plocha 2.....	70
Obr. 31 Zůstatkový materiál na prvku HSC plocha 2.....	71

---

Obr. 32 Obrábění krok 2 .....	72
Obr. 33 Obrábění krok 2 .....	72
Obr. 34 Hrubovací fréza Trigaworks D63 R3,5.....	73
Obr. 35 Dohrubovací fréza Trigaworks D25 R1,5.....	74
Obr. 36 Testovací díl .....	76
Obr. 37 Fréza torická D10 R1,25 mm.....	76
Obr. 38 Fréza kulová D10 R5 .....	77
Obr. 39 Polohovací díl .....	82
Obr. 40 Výkres polohovací díl.....	84
Obr. 41 Upnutí polohovacího dílu ve svěráku .....	85

**SEZNAM TABULEK**

Tab. 1 Měrný výkon [3] .....	19
Tab. 2 Jednotlivé zodpovědnosti při realizaci testu .....	67
Tab. 3 Technologický postup přípravy „měkkého dílu“ .....	69
Tab. 4 Technologický postup výroby přípravy „tvrdého dílu“ .....	81
Tab. 5 Technologický postup výroby přípravy „polohovacího dílu“ .....	83

**SEZNAM PŘÍLOH**

Příloha P I: Technologický postup výroby PRO PŘÍPRAVU pětiosého frézování dílu  
2.x.2.2

Příloha P II: Technologický postup výroby PRO PŘÍPRAVU pětiosého frézování dílu  
3.x.3.3.

Příloha P III: Technologický postup výroby PRO PŘÍPRAVU pětiosého frézování dílu  
4.x.4.4.

# PŘÍLOHA P I: TECHNOLOGICKÝ POSTUP VÝROBY PRO PŘÍPRAVU PĚTIOSEHO FRÉZOVÁNÍ DÍLU

## 2.X.2.2

UNIVERZITA TOMÁŠE BATI VE ZLÍNĚ																			
FAKULTA TECHNOLOGICKÁ																			
Vypracoval: Jiří Moučka												Ročník:		v					
Předmět: Technologický postup pro díl 2.x.2.2.												Datum:		24.8.2010					
Popis vyráběné součásti:					Test č. 2 - měkký díl.														
ZÁKAZNÍK:			FT UTB ZLÍN										Celkový čas [hod] :		2,27				
VÝKRES č.:			MATERIÁL:		ČSN 12050		ZPRACOVAL:		Jiří Moučka		Počet kusů:		1		Celková cena:		1 363,5 Kč		
Číslo operace	Název operace	Stroj/ pracoviště	Nástroj	POPIS OPERACE	RYCHLOST		VŘETENO			POSUV			DOSAŽENÉ ČASY [min]				Σ ČAS t[min]	Sazba stroje Kč/hod	Cena úkonu Kč
					V[m/min]	n[ot/min]	fz[mm/z]	Vf[mm/min]	Dráha[mm]	Strojní	Rychlposuv	Neaktivní	Poč.řezů						
10	Mtz	Pásová pila		Vychystání polotovaru s přídavkem 4,5mm.	100		0,05	200	130	0,65	1	3	4	4,65	550 Kč	43 Kč			
20	Frézování	FGS 32	Garant Ø120, 21 4400	Zúhlování polotovaru, úběr v "Z" po 1,5mm.přídavek pro Brus +0,3	300	1500	0,35	500	300	21,6	21,6	10	36	53,2	650 Kč	576 Kč			
40	Broušení	Bph 63	Brousicí kotouč ČSN 22 4530	Brousit do úhlu všechny strany ±0,01° na 0.	60	20000	0,01	1000	300	18	25,2	20	42	63,2	600 Kč	632 Kč			
50	Mechanik			Srazit hrany, upravit + popsat díl										15	450 Kč	113 Kč			



**PŘÍLOHA P II: TECHNOLOGICKÝ POSTUP VÝROBY PRO PŘÍPRAVU PĚTIOSÉHO FRÉZOVÁNÍ DÍLU 3.X.3.3.**



# PŘÍLOHA P III: TECHNOLOGICKÝ POSTUP VÝROBY PRO PŘÍPRAVU PĚTIOSEHO FRÉZOVÁNÍ DÍLU

## 4.X.4.4.

UNIVERZITA TOMÁŠE BATI VE ZLÍNĚ																	
FAKULTA TECHNOLOGICKÁ																	
Vypracoval: Jiří Moučka												Ročník:		v			
Předmět: Technologický postup pro díl 4.x.4.4.												Datum:		24.8.2010			
Popis vyráběné součásti:				Test č. 4. - polohovací díl													
ZÁKAZNÍK:		FT UTB ZLÍN										Celkový čas [hod] :		2,28			
VÝKRES č.:		MATERIÁL:		AL	ZPRACOVAL:		Jiří Moučka		Počet kusů:		1		Celková cena:		1 330,5 Kč		
Číslo operace	Název operace	Stroj/ pracoviště	Nástroj	POPIS OPERACE	RYCHLOST	VŘETENO	POSUV			DOSAŽENÉ ČASY [min]				Σ ČAS	Sazba stroje	Cena úkonu	
					V[m/min]	n[ot/min]	fz[mm/z]	Vf[mm/min]	Dráha[mn]	Strojní	Rychlposuv	Neaktivní	Poč.řezů	t{min]	Kč/hod	Kč	
10	Mtz	Pásová pila		Vychystání polotovaru s přídavkem 3,3mm.	200		0,1	200	60	18	1	3	2	22	550 Kč	202 Kč	
20	Frézování	FGS 32	Garant Ø120, 214400	Zúhlování polotovaru, úběr v "Z" po 1,5mm.přídavek pro Brus +0,3	300	1500	0,45	500	300	7,2	7,2	10	12	24,4	650 Kč	264 Kč	
40	Broušení	Bph 63	Brousící kotouč ČSN 22 4530	Brousit do úhlu všechny strany ±0,01° na 0.	60	20000	0,03	600	300	30	25,2	20	42	75,2	600 Kč	752 Kč	
50	Mechanik			Srazit hrany, upravit + popsat díl, v pravém dolním rohu každé obvodové strany napsat číslo plochy od 1 do 4.										15	450 Kč	113 Kč	

