

# **Výroba tvarových částí forem pomocí 5-ti osého CNC frézování**

Ladislav Vymyslický

---

Bakalářská práce  
2012



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta technologická

---

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta technologická  
Ústav výrobního inženýrství  
akademický rok: 2011/2012

## **ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE**

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Ladislav VYMYSLICKÝ**  
Osobní číslo: **T090204**  
Studijní program: **B 3909 Procesní inženýrství**  
Studijní obor: **Technologická zařízení**

Téma práce: **Výroba tvarových částí forem pomocí 5-ti osého CNC frézování**

Zásady pro vypracování:

- 1. Vypracujte literární rešerši na dané téma**
- 2. Pro zvolený díl formy připravte technologii výroby za použití 3 osého a 5-ti osého obrábění**
- 3. Zvolené technologie porovnejte**

Rozsah bakalářské práce:

Rozsah příloh:

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

Seznam odborné literatury:

**Dle doporučení vedoucího práce**

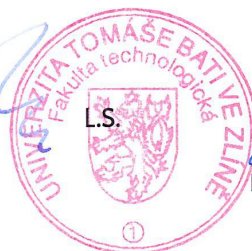
Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Jakub Černý**  
UTB FT Zlín

Datum zadání bakalářské práce: **13. února 2012**

Termín odevzdání bakalářské práce: **25. května 2012**

Ve Zlíně dne 13. února 2012

  
doc. Ing. Roman Čermák, Ph.D.  
*děkan*



  
prof. Ing. Berenika Hausnerová, Ph.D.  
*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 .....

.....



---

<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 výdělku 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 přihlédne k výši výdělku dosaženého školou nebo školským či vzdělávacím zařízením z užití školního díla podle odstavce 1.

## **ABSTRAKT**

Tato bakalářská práce popisuje výrobu tvarových částí forem pro výrobky z polyuretanové pěny (PUR) na 5-ti osém CNC obráběcím centru. Popisuje přípravu NC-kódů a porovnává výrobu na 5-ti osém stroji s výrobou na 3-osém stroji s použitím přídatného výklopného stolu.

Klíčová slova: CNC obrábění, CAD, CAM, obráběcí centrum, frézování, forma, PUR

## **ABSTRACT**

This bachelor thesis describes production of shaped parts of moulds for polyurethane foam products on a five axis CNC milling center. It describes the preparation of NC codes and compares production on the five axis machine and the three axis machine with rotary table.

Keywords: CNC milling, CAD, CAM, milling center, milling, mould, PUR

Děkuji své rodině za podporu během studia a především své manželce za prostor a podmínky, které mi celou dobu vytvářela a bez jejíhož pochopení a trvalé podpory bych to nedokázal. Děkuji také vedoucímu bakalářské práce ing. Jakubovi Černému za odborné vedení, připomínky a rady, které mi poskytl při jejím zpracování.

Prohlašuji, že odevzdaná verze bakalářské/diplomové práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

# OBSAH

<b>ÚVOD</b> .....	<b>11</b>
<b>I TEORETICKÁ ČÁST</b> .....	<b>12</b>
<b>1 DRUHY A ZPŮSOBY FRÉZOVÁNÍ</b> .....	<b>13</b>
1.1 TECHNOLOGICKÁ CHARAKTERISTIKA .....	13
1.1.1 Čelní frézování .....	13
1.1.2 Válcové frézování (do rohu) .....	14
1.1.3 Tvarové frézování .....	14
1.1.4 Rotační frézování .....	15
1.1.5 Frézování drážek .....	16
1.1.6 Frézování závitů .....	17
1.1.7 Speciální metody .....	18
1.1.7.1 Lineární zahlubování (2-osé) .....	18
1.1.7.2 Frézování kruhovou interpolací (2-osé).....	18
1.1.7.3 Zahlubování šroubovicovou interpolací (3-osé) .....	19
1.1.7.4 Ponorné frézování .....	20
1.1.7.5 Zavrtávací frézování .....	20
1.1.7.6 Trochoidální frézování.....	21
1.1.7.7 Uzavřené dutiny/rohy.....	22
1.1.7.8 Srážení hran .....	23
1.2 UTVÁŘENÍ TRÍSKY V ZÁVISLOSTI NA POLOZE FRÉZY VŮČI OBROBKU .....	23
1.2.1 Sousedné frézování .....	23
1.2.2 Nesousedné frézování .....	24
<b>2 CAD/CAM SYSTÉMY</b> .....	<b>26</b>
2.1 UPLATNĚNÍ CAD/CAM SYSTÉMŮ VE VÝROBĚ .....	26
2.2 POSTUP VÝROBY SOUČÁSTI V CAD/CAM SYSTÉMU .....	26
2.3 CAD SYSTÉMY .....	27
2.4 CAM SYSTÉMY .....	27
2.5 CAD/CAM SYSTÉMY .....	27
2.6 CAE SYSTÉMY .....	27
2.7 ROZDĚLENÍ CAM SYSTÉMŮ .....	28
2.7.1 Malé CAM systémy.....	28
2.7.2 Střední CAM systémy .....	29
2.7.3 Velké CAM systémy .....	29
2.8 PŘEHLED CAM SYSTÉMŮ .....	29
2.8.1 Creo Parametric (Pro/ENGINEER).....	30
2.8.2 Catia V5 .....	30
2.8.3 Surfcam .....	32
2.8.4 NX CAM.....	32
2.8.5 EdgeCAM.....	32
2.8.6 WorkNC – CAM.....	33

2.9	POSTPROCESSOR .....	33
2.10	NC PROGRAM.....	34
<b>3</b>	<b>CNC OBRÁBĚCÍ CENTRA .....</b>	<b>35</b>
3.1	SOUSTRUŽNICKÁ OBRÁBĚCÍ CENTRA .....	35
3.2	FRÉZOVACÍ OBRÁBĚCÍ CENTRA HORIZONTÁLNÍ .....	36
3.3	FRÉZOVACÍ OBRÁBĚCÍ CENTRA VERTIKÁLNÍ.....	36
3.4	UNIVERZÁLNÍ FRÉZOVACÍ CENTRUM DMU 80 MONOBLOCK.....	37
3.5	PŘÍSLUŠENSTVÍ OBRÁBĚCÍCH CENTER .....	38
3.5.1	Otočný stůl .....	39
3.5.2	Výklopný stůl .....	39
3.5.3	Dělicí přístroje.....	40
<b>4</b>	<b>NÁSTROJE PRO CNC OBRÁBĚCÍ CENTRA .....</b>	<b>41</b>
4.1	ROZDĚLENÍ FRÉZOVACÍCH NÁSTROJŮ .....	41
4.2	MATERIÁLY FRÉZOVACÍCH NÁSTROJŮ .....	43
4.2.1	Nástrojová ocel.....	44
4.2.2	Slinuté karbidy .....	44
4.2.3	Cermet .....	45
4.2.4	Řezná keramika .....	46
4.2.5	Polykrystalický nitrid bóru .....	46
4.2.6	Polykrystalický diamant .....	47
<b>5</b>	<b>SHRNUTÍ TEORETICKÉ ČÁSTI.....</b>	<b>48</b>
<b>II</b>	<b>PRAKTICKÁ ČÁST .....</b>	<b>49</b>
<b>6</b>	<b>ÚVOD PRAKTICKÉ ČÁSTI.....</b>	<b>50</b>
<b>7</b>	<b>VÝROBA NA OTOČNĚ VÝKLOPNÉM STOLKU.....</b>	<b>51</b>
7.1	PŘÍPRAVA NC PROGRAMŮ V CAM SYSTÉMU .....	51
7.2	PŘÍPRAVA A VÝROBA NA 3-OSÉM CNC OBRÁBĚCÍM CENTRU .....	53
<b>8</b>	<b>VÝROBA NA 5-TI OSÉM CNC STROJI .....</b>	<b>55</b>
8.1	PŘÍPRAVA NC PROGRAMŮ PRO 5-TI OSÉ OBRÁBĚNÍ.....	55
8.1.1	Programování spodního dílu .....	56
8.1.2	Programování horního dílu.....	59
8.1.3	Vytvoření NCL souborů, kontrola a postprocessing.....	61
8.2	VLASTNÍ VÝROBA NA STROJI .....	63
8.2.1	Výroba spodního dílu .....	63
8.2.2	Výroba horního dílu .....	64
8.3	DOKONČENÍ FORMY – KOMPLETACE A SPASOVÁNÍ .....	65
	<b>ZÁVĚR .....</b>	<b>67</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....</b>	<b>68</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK .....</b>	<b>70</b>
	<b>SEZNAM OBRÁZKŮ .....</b>	<b>71</b>

<b>SEZNAM TABULEK.....</b>	<b>73</b>
<b>SEZNAM PŘÍLOH.....</b>	<b>74</b>

## ÚVOD

Formy pro výrobky z polyuretanu mají na rozdíl od vstřikovacích forem některé odlišnosti, se kterými je třeba počítat při konstrukci formy. Jedná se o to, že dělicí roviny jsou téměř vždy tvarové a velmi často se u dutin vyskytují negativní tvary. Protože se jedná o výrobky z měkčené pěny, nevadí tato skutečnost při vyjímání dílce. Problém může vzniknout při výrobě formy, kdy je nutno řešit obrobení negativních ploch forem. To lze vyřešit několika způsoby: tvarovými vložkami, vykloněním na výklopném stole, elektroerozivním obráběním, nebo použitím 5-ti osého obrábění. Často se používá i kombinace těchto možností.

## **I. TEORETICKÁ ČÁST**



## 1 DRUHY A ZPŮSOBY FRÉZOVÁNÍ

Frézování je obráběcí metoda, při které se materiál obrobku odebírá břity otáčejícího se nástroje. Posuv nejčastěji koná součást, převážně ve směru kolmém k ose nástroje. U moderních frézovacích strojů jsou posuvné pohyby plynule měnitelné a mohou se realizovat ve všech směrech (obráběcí centra, víceosé CNC frézky). Řezný proces je přerušovaný, každý zub frézy odřezává krátké třísky proměnné tloušťky. [1]

Frézování představuje nejflexibilnější metodu obrábění, jaká je k dispozici, a umožňuje obrobení prakticky jakéhokoli tvaru. Negativní stránkou této flexibility je, že vlastní proces ovlivňuje celá řada proměnných, což relativně značně znesnadňuje jeho optimalizaci. [2]

### 1.1 Technologická charakteristika

Frézování se obvykle rozděluje na čelní, válcové (do rohu), frézování drážek a tvarové frézování, ale spolu s vývojem strojů a programového vybavení se počet metod postupně zvyšuje a mezi v současnosti prováděnými operacemi se velmi často objevuje také rotační frézování, frézování závitů, postupné zahlubování kruhovou interpolací, trochoidální frézování, atd. [2]

#### 1.1.1 Čelní frézování

Čelní frézování je nejrozšířenější frézovací operace a lze ji provádět s využitím velkého množství různých nástrojů. Nejčastěji se používají frézy s úhlem nastavení  $45^\circ$ , ale za určitých podmínek se také používají frézy s kruhovými břitovými destičkami, frézy pro frézování do rohu nebo kotoučové frézy. [2]



Obr. 1. Čelní frézování [2]

### 1.1.2 Válcové frézování (do rohu)

Při válcovém frézování vznikají současně dvě plochy, tudíž je zapotřebí frézování obvodem v kombinaci s čelním frézováním. Dosažení skutečně přesného úhlu devadesát stupňů je jednou z nejdůležitějších podmínek.

Frézování do rohu lze provádět pomocí obvyklých pravoúhlých fréz do rohu a také pomocí stopkových fréz, fréz s dlouhými břity a kotoučových fréz. Vzhledem k velkému množství alternativ je velice důležité pečlivě zhodnotit všechny požadavky na danou operaci, aby bylo možné provést optimální volbu. [2]



Obr. 2. Válcové frézování (do rohu) [2]

### 1.1.3 Tvarové frézování

Tvarové frézování zahrnuje víceosé frézování konvexních nebo konkávních tvarů ve dvou nebo třech dimenzích. Čím větší je součást a čím komplikovanější je obráběný tvar, tím důležitější se stává přípravný proces.

Celý obráběcí proces by měl být rozdělen nejméně na 3 typy operací:

- Hrubování/lehké hrubování
- Polodokončování
- Dokončování.

Někdy je nutné použít také superfinišování, které se často provádí s využitím technik vysokorychlostního obrábění. Frézování zbývajících přídavek, tzv. odfrézování zbytkové vrstvy, se skládá z polodokončovacích a dokončovacích operací.

Z důvodu dosažení nejvyšší přesnosti a produktivity je doporučeno provádět hrubování a dokončování na samostatných strojích a používat specializované obráběcí nástroje pro každou operaci.

Dokončovací operace je třeba provádět na 4/5-ti osých obráběcích strojích s moderním softwarem a technikami programování. To může významně snížit, nebo dokonce zcela eliminovat čas potřebný pro ruční dokončování výrobku. V konečném důsledku bude mít výrobek lepší geometrickou přesnost a vyšší kvalitu struktury povrchu. [2]



Obr. 3. Tvarové frézování [2]

#### 1.1.4 Rotační frézování

Rotační frézování je definováno jako frézování zakřivených povrchů, zatímco obrobek se otáčí kolem své osy. Rotační frézování je možné použít také pro obrábění excentrických tvarů a profilů, které se značně liší od těch, které lze vytvářet pomocí konvenčních metod frézování a soustružení. Metoda umožňuje velké rychlosti úběru kovu a skvělou kontrolu utváření třísky.

- Válcovou plochu je možné vytvořit pouze tak, že fréza se během rotace obrobku posouvá v radiálním směru.
- Současným pohybem frézy ve dvou směrech je možné vytvořit excentrické povrchy, například vačky nebo zalomené hřídele.
- Pohyb ve více než 2 osách vyžaduje nástroj s předpoklady pro postupné zahlubování.
- Pro obrobení kuželového tvaru je zapotřebí 5-osý stroj.
- Rotační frézování složitých tvarů, např. lopatek turbín, vyžaduje současný pohyb v 5 (nebo 4) osách, 2 nebo 3 u obrobku a 1 nebo 2 u nástroje.
- Je možné vyrábět součásti, jako např. lopatky turbín, posouváním frézy ve více než 2 osách při současném otáčení obrobku. [2]



Obr. 4. Rotační frézování [2]

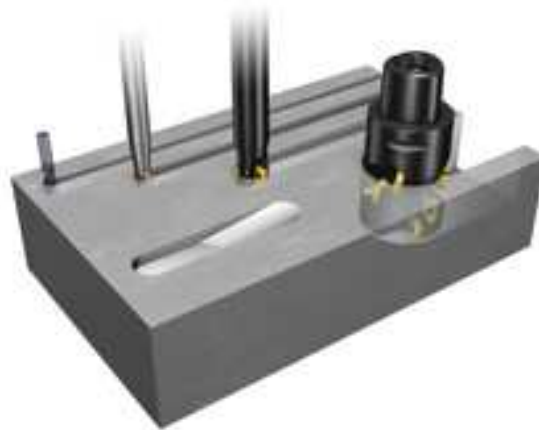
### 1.1.5 Frézování drážek

Frézování drážek je operace, pro kterou je často upřednostňováno frézování kotoučovými frézami před frézováním stopkovými frézami.

- Výřezy a drážky mohou být krátké nebo dlouhé, uzavřené nebo otevřené, přímé nebo nepřímé, hluboké i mělké, široké i úzké.
- Výběr nástroje je obvykle určen šířkou a hloubkou drážky a do určité míry také její délkou.
- Typ stroje, který je k dispozici, a četnost prováděné operace určují, zda je vhodné použít stopkovou frézu, frézu s dlouhými břity nebo kotoučovou frézu.
- Použití kotoučových fréz představuje nejúčinnější způsob frézování velkého množství dlouhých, hlubokých drážek, zejména pak v případě použití horizontálních frézek. Avšak stoupající počet vertikálních frézek a obráběcích center znamená, že také stopkové frézy a frézy s dlouhými břity se používají stále častěji pro řadu různých operací při frézování drážek. [2]



Obr. 5. Frézování kotoučovými frézami [2]



Obr. 6. Frézování stopkovými frézami [2]

### 1.1.6 Frézování závitů

Frézování závitů na nerotačních součástech představuje dobrou alternativu k výrobě závitů pomocí závitníků a může dokonce být alternativou i k soustružení závitů.

Pomocí závitofréz je možné vytvořit závity velmi blízko stěny osazení nebo dna díry. Přerušovaný řez při frézovacích operacích zajišťuje dobrou kontrolu utváření třísky v materiálech tvořících dlouhou třísku.

Frézování závitů vyžaduje, aby obráběcí stroj umožňoval současný pohyb v osách X, Y a Z. Pohyb v osách X a Y určuje průměr závitů, zatímco pohybem v ose Z je určena rozteč.

[2]



Obr. 7. Frézování závitů [2]

### 1.1.7 Speciální metody

Zahrnují možnosti a způsoby vniknutí nástroje do obrobku, alternativní metody výroby děr a kapes, zvětšování děr a dutin apod.

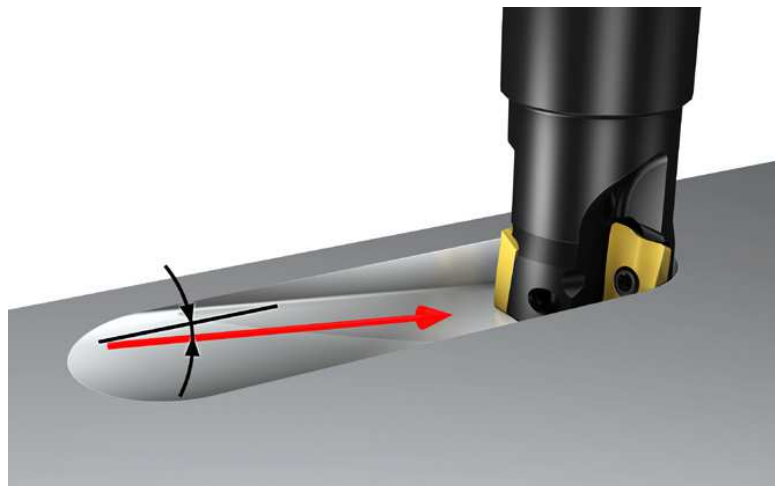
#### 1.1.7.1 Lineární zahlubování (2-osé)

Lineární zahlubování se obvykle využívá jako účinný způsob pro vstup do obrobku při obrábění uzavřených drážek/dutin/kapes. Eliminuje potřebu použití vrtáků.

Lineární zahlubování je definováno jako současný posuv nástroje v axiálním směru (Z) a v jednom z radiálních směrů (X nebo Y), tzv. 2-osé postupné lineární zahlubování.

Zahlubování pomocí šroubovicové interpolace je třeba vždy preferovat před přímým zahlubováním (frézováním drážky do plného materiálu), jelikož velikost radiálního záběru je významně omezena a tím je umožněno čistě sousledné frézování a lepší odvádění třísek.

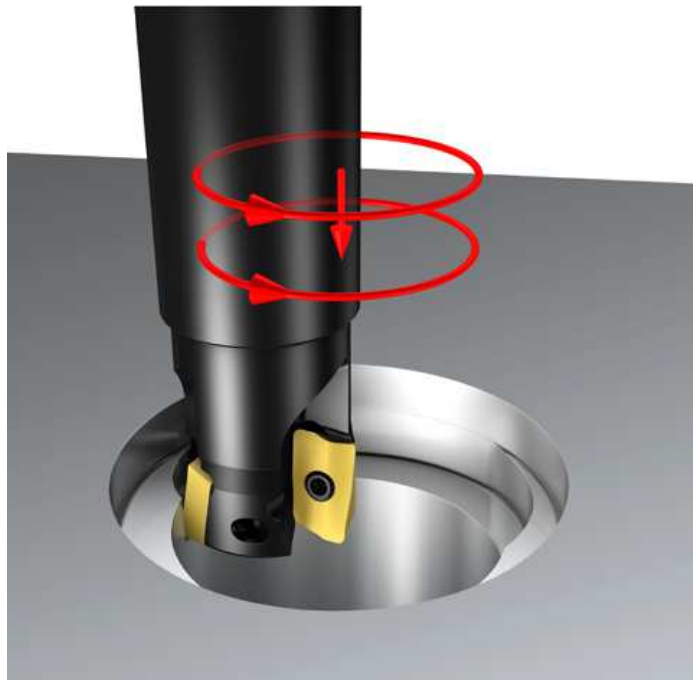
[2]



Obr. 8. Lineární zahlubování [2]

#### 1.1.7.2 Frézování kruhovou interpolací (2-osé)

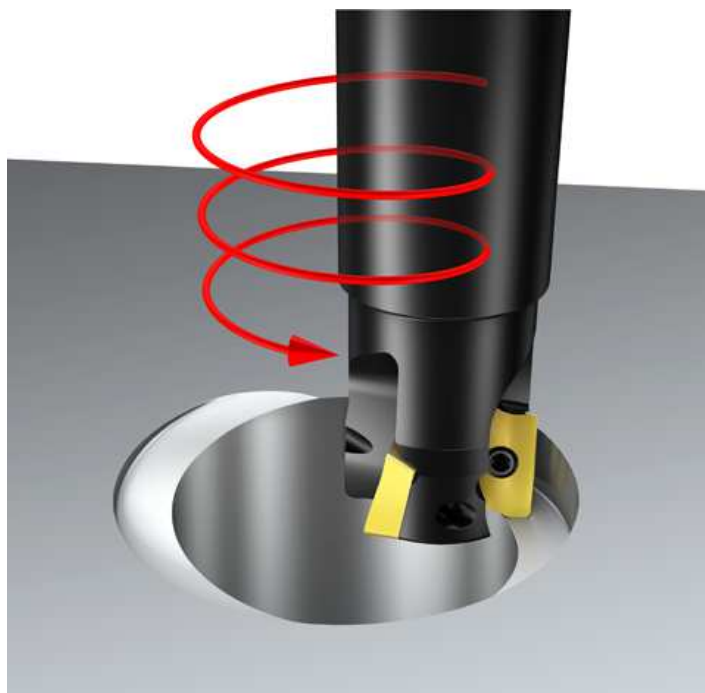
Frézování pomocí kruhové interpolace je alternativní metoda k tradičně používaným vyvrtávacím nástrojům. Frézování kruhovou interpolací se většinou provádí pomocí fréz s úhlem nastavení 90 stupňů pohybem nástroje po kruhové dráze. [2]



Obr. 9. Frézování kruhovou interpolací [2]

### 1.1.7.3 Zahlubování šroubovicovou interpolací (3-osé)

Posuv frézy po kruhové sestupné dráze, který probíhá současně ve směru os X , Y i Z, se velmi často používá pro vytvoření dutiny/kapsy. Jde tedy o další alternativní metodu pro výrobu děr, umožňující nahradit vrtání a vyvrtávání. [2]



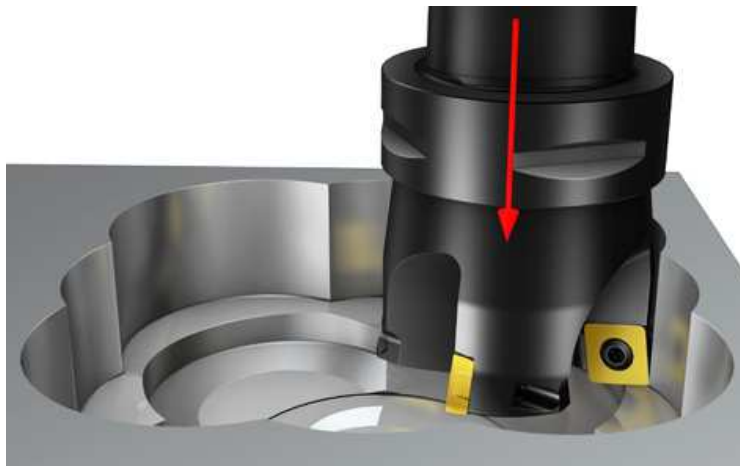
Obr. 10. Zahlubování šroubovicovou interpolací [2]

#### 1.1.7.4 Ponorné frézování

Při ponorném frézování probíhá řez na čele nástroje namísto na obvodu, což je výhodné vzhledem ke změně charakteru řezných sil z převážně radiálních na axiální. Všeobecně lze říci, že ponorné frézování je alternativní metoda vhodná v případě, že frézování obvodem není možné použít vzhledem ke vzniku vibrací. Například:

- Pokud vyložení nástrojů přesahuje  $4 \times D_c$
- V případě špatné stability
- Pro polodokončovací operace v rozích
- Pro obrábění obtížně obrobitelných materiálů, např. titanu.

Může představovat vhodnou alternativu v případě, že existují omezení z hlediska výkonu stroje nebo kroutícího momentu. V případě příznivých podmínek se ponorné frézování nehodí jako první volba, vzhledem k nízkým rychlostem úběru kovu. [2]



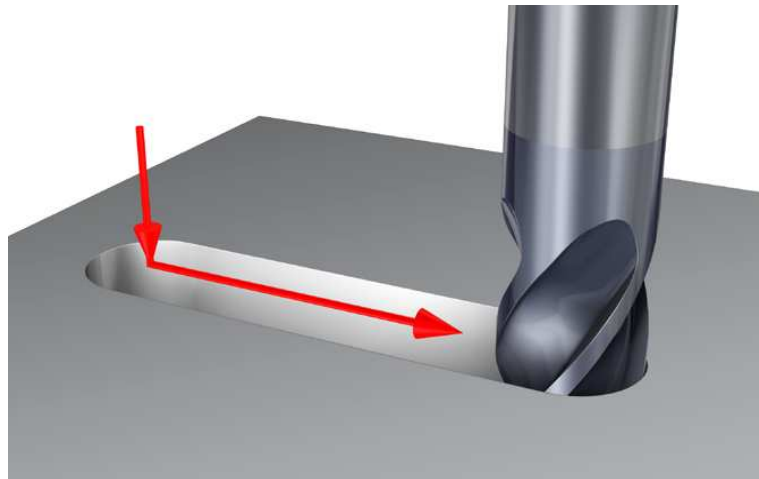
Obr. 11. Ponorné frézování [2]

#### 1.1.7.5 Zavrtávací frézování

Zavrtávací frézování představuje, pokud jde o vytvoření dutiny v celistvém materiálu, alternativu k postupnému zahlubování. Bohužel je zapotřebí nepoměrně větší výkon, tvoří se dlouhé třísky a vznikají nežádoucí řezné síly působící na nástroj. Z tohoto důvodu je použití této metody vhodné pouze v případě, že:

- Stroj neumožňuje použití metody postupného zahlubování
- Obráběná drážka je uzavřená a velmi úzká. [2]





Obr. 12. Zavrtávací frézování [2]

#### 1.1.7.6 Trochoidální frézování

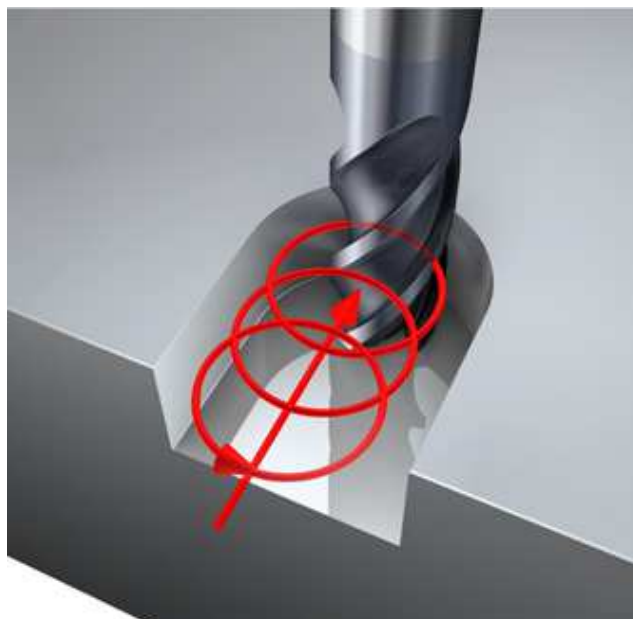
Vynikající metoda pro frézování drážek v případě problémů s vibracemi; je ale vhodná také pro hrubovací frézování úzkých, uzavřených dutin, kapes a drážek.

Trochoidální frézování je možné definovat jako frézování pomocí kruhové interpolace se současným posouváním vpřed. Fréza opakovaně odebírá "tenké plátky" materiálu, přičemž v radiálním směru neustále postupuje po spirálové dráze.

Je nutné použití speciálních technik programování a strojů splňujících potřebné předpoklady.

Dráha nástroje je naprogramována s odvalovacím nájezdem a výjezdem ze záběru, přičemž radiální rozteč ( $w$ ), je udržována na nízké hodnotě, což přináší:

- Malé řezné síly v důsledku kontrolované délky oblouku záběru, což umožňuje použití velkých axiálních hloubek řezu.
- Je využívána celá délka ostří, což zajistí, že teplo a opotřebení mají rovnoměrně rozdělení a v důsledku toho je životnost nástroje delší, než v případě tradičních metod frézování drážek.
- Vzhledem k malé délce oblouku záběru se používají mnohobřité nástroje, tudíž je možné použití vysokých rychlostí posuvu stolu při spolehlivé životnosti nástroje. [2]



Obr. 13. Trochoidální frézování [2]

#### 1.1.7.7 Uzavřené dutiny/rohy

Uzavřené rohy s úhlem menším než 90 stupňů jsou při obrábění dutin a kapes častým prvkem obráběných součástí. Pro obrábění uzavřených rohů je nutné použití 4- nebo 5-osých obráběcích strojů.

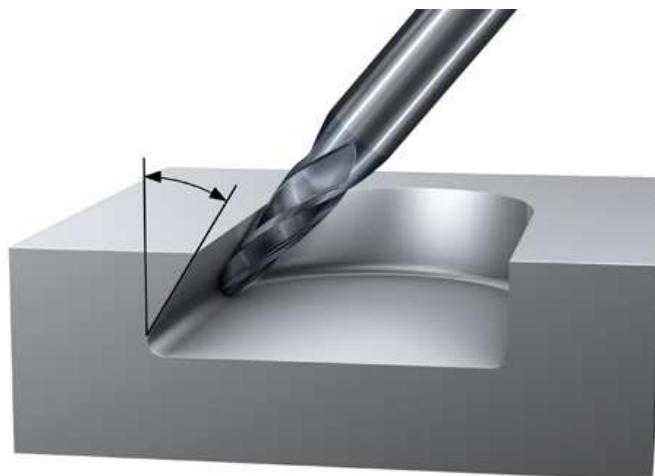
4-osé:

Jestliže uzavřený úhel má pouze jedna strana dutiny a profil dna je rovný.

5-osé:

Pokud se jedná o roh s uzavřeným úhlem na obou stranách.

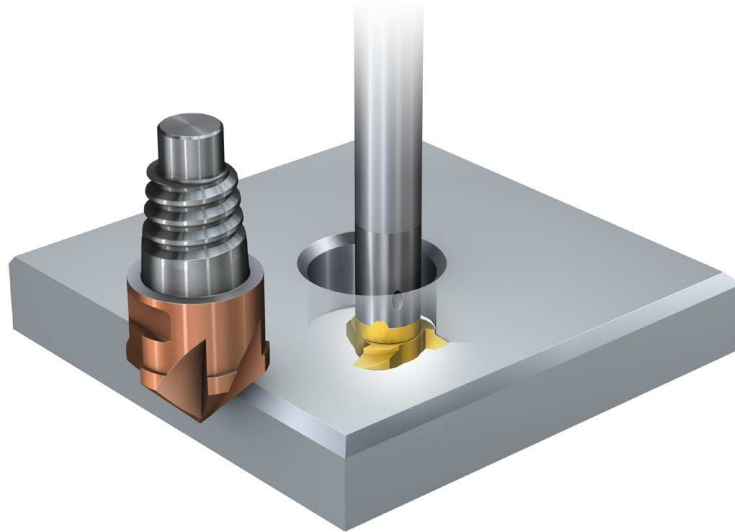
Pokud součástí profilu dna je poloměr. [2]



Obr. 14. Frézování uzavřené dutiny [2]

### 1.1.7.8 Srážení hran

Mezi nejčastější operace patří srážení hran, frézování V-drážek, frézování odlehčení, příprava ploch pro svařování a odstraňování otřepů na hranách obrobků. V závislosti na typu obráběcího stroje a jeho uspořádání je tyto operace možné provádět celou řadou způsobů. Je možné použít malé čelní frézy, frézy s dlouhými břity, stopkové frézy nebo speciální frézy pro srážení hran. [2]



Obr. 15. Srážení hran [2]

## 1.2 Utváření třísky v závislosti na poloze frézy vůči obrobku

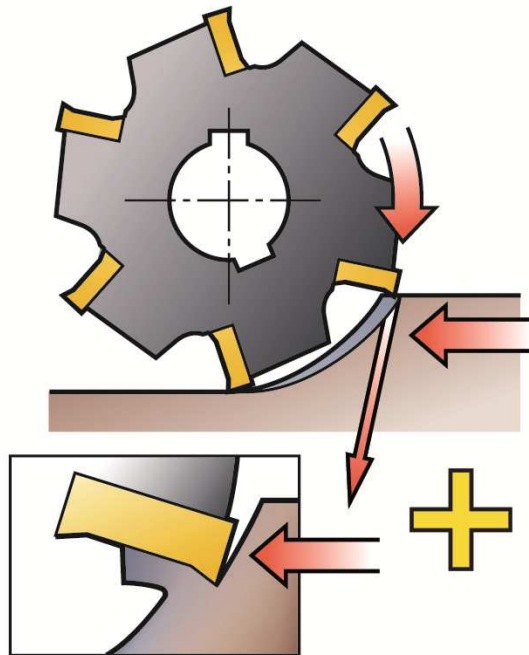
V závislosti na kinematice obráběcího procesu se rozlišuje frézování nesousledné (protisměrné, nesousměrné) a sousledné (sousměrné). [1]

### 1.2.1 Sousledné frézování

Při sousledném (sousměrném) frézování se obráběcí nástroj posouvá souhlasně se směrem otáčení.

- Sousledné frézování je třeba preferovat vždy, kdykoli to stroj, přípravek a obrobek umožňují.
- Při sousledném frézování obvodem frézy se od zahájení řezu tloušťka třísky postupně snižuje, až na konci řezu dosáhne nulové hodnoty. To chrání břit před ohlazováním a odíráním o obráběný povrch před vlastním zahájením řezu.

- Velká tloušťka třísky je příznivá a řezné síly mají tendenci přitahovat obrobek směrem k fréze a udržovat břit v řezu. [2]



Obr. 16. Sousedné frézování [2]

### 1.2.2 Nesousledné frézování

Při nesousledném (nesousměrném nebo také konvenčním frézování) je směr posuvu obráběcího nástroje opačný, než je směr jeho rotace.

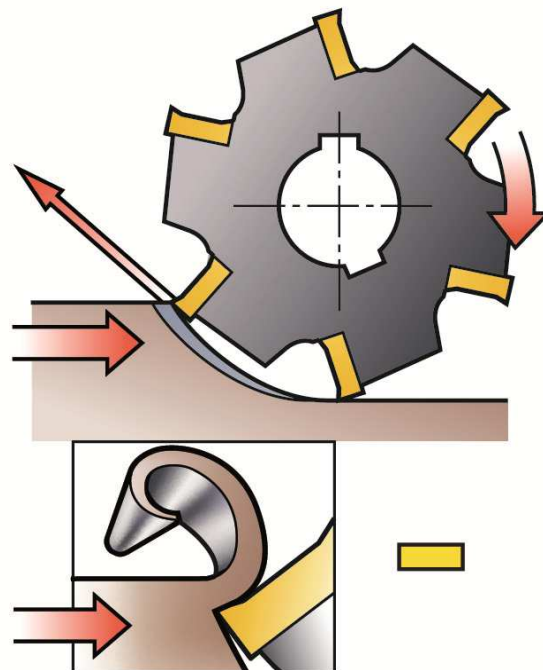
- Tloušťka třísky začíná na nulové hodnotě a směrem ke konci řezu se postupně zvyšuje. Řezné síly mají tendenci tlačit frézu a obrobek směrem od sebe.
- Velká tahová pnutí vznikající v okamžiku, kdy břit opouští záběr, mohou často vést k rychlému poškození břitu.
- Břit musí být do záběru přitlačován a dochází k ohlazování a odírání břitu v důsledku tření, vzniku vysokých teplot a v mnoha případech také kontaktu s mechanicky zpevněným povrchem vytvořeným předchozím břitem. Všechny tyto účinky vedou ke snížení životnosti nástroje.
- Síly, zejména pak radiální, mají tendenci zvedat obrobek ze stolu.
- Velká tloušťka třísky na výstupu z řezu má za následek snížení životnosti nástroje.

- Velká tloušťka třísky a vyšší teploty na výstupu z řezu jsou někdy důvodem k ulpívání nebo navařování třísek na břit, na kterém jsou unášeny až do zahájení dalšího řezu, nebo mohou způsobovat okamžité vylamování ostří.

Výjimky, kdy je nutné dát přednost nesouslednému frézování, jsou:

- V případě, že fréza má sklon nechat se vtahovat do obrobku, musí stroj umožňovat kompenzaci vůle pohybového šroubu stolu dovolující eliminaci zpětných pohybů.
- Pokud je nástroj vtahován do obrobku, posuv se nežádoucím způsobem zvyšuje, což může mít za následek nepřiměřeně velkou tloušťku třísky a vést až k lomu břitu.
- Nesousledné frézování může být výhodné, pokud se značně liší velikosti přídavek na obrábění.
- Nesousledné frézování se doporučuje při použití keramických břitových destiček pro obrábění žáruvzdorných slitin, protože řezná keramika je citlivá na rázy při vstupu do řezu.

[2]



Obr. 17. Nesousledné frézování [2]

## 2 CAD/CAM SYSTÉMY

Neustálý tlak konkurence nutí konstruktéry a technology pracovat na nových řešeních a potýkat se s novými problémy. Zkrácení výrobních časů, zlepšení kvality, rychlá změna výrobního programu a jiné nutné změny, to jsou jen některé aspekty, které se musí řešit. Východiskem pro řešení složitých situací, které se velmi často v praxi objevují, je použití integrované výroby počítačem (CIM – Computer Integrated Manufacturing) a s ním související CAD/CAM systémy. [3]

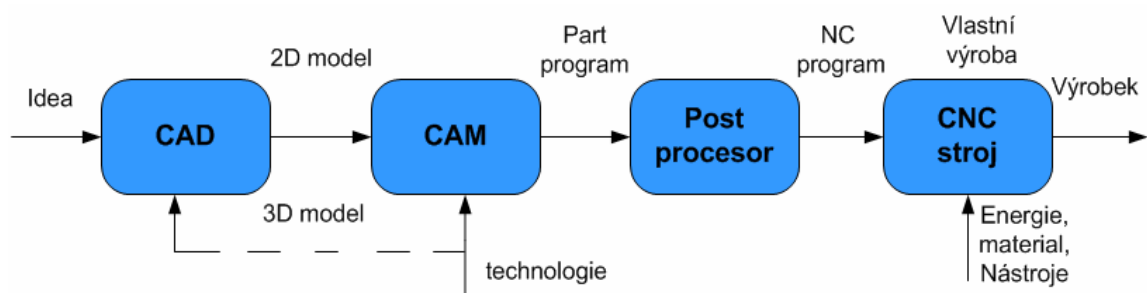
Aplikace CAD/CAM systému umožňuje systémový přístup konstruování při vývoji výrobků, kdy tvorba výrobku je komplexní proces konstruování, testování, korigování chyb, modifikování výroby. V rámci všeobecných trendů v počítačově podporované výrobě (CIM) vyvstává úloha použít data o obrobku vytvořené v CAD systému i na automatické měření obrobků na souřadnicových měřicích strojích. [3]

### 2.1 Uplatnění CAD/CAM systémů ve výrobě

Mnoho velkých i malých firem, ale také i soukromníků se snaží v současné době zavést do výrobního procesu počítačem řízené obráběcí stroje. Nutnost tohoto kroku vysvětluje konkurenční prostředí. Produktivita, efektivnost, přesnost a rychlost výroby jsou rozhodující existenční faktory firmy. Hlavní uplatnění CAD/CAM systémů je v oblasti výroby forem, zápusťek a jiných tvarově složitých součástek v různých odvětvích strojínského průmyslu. [3]

### 2.2 Postup výroby součásti v CAD/CAM systému

Strukturu výroby součástí v CAD/CAM systémech, lze chápat jako souhrn činností probíhajících na jednotlivých rozhraních, které provázejí zhotovení výrobku, od počáteční fáze návrhu, až po konečnou fázi výroby, jejíž výsledkem je konkrétní výrobek. Sled těchto činností je schematicky znázorněn na následujícím obrázku. [3]



Obr. 18. Postup výroby součásti pomocí CAD/CAM [4]

### 2.3 CAD systémy

CAD (Computer Aided Design) představuje počítačový návrh, resp. počítačem podporovaný návrh součásti nebo počítačovou podporu tvorby konstrukční dokumentace. Jde o software pro geometrické a matematické modelování součástí a jejich vlastností. Patří sem úlohy interaktivního modelování a konstruování, vytváření geometrických modelů a objektů, manipulace s modely a transformace těchto modelů do digitální formy. Kromě grafických činností CAD systémy umožňují realizovat různé inženýrské výpočty a analýzy. Nejznámější z nich je metoda konečných prvků. [5]

### 2.4 CAM systémy

CAM (Computer Aided Manufacturing) je označení pro oblast výroby podporovanou počítačem. CAM je možné chápat na dvou úrovních – jako nějaký konkrétní systém (CNC řízení a NC stroj) anebo jako určitý komplexní pohled na počítačovou podporu ve výrobě. Pod CAM je proto možné si představit i široký komplex strojního, manipulačního, transportního, měřicího, kontrolního a pomocného zařízení, které je řízeno počítačem po dobu realizace součásti ve výrobním procesu. [5]

### 2.5 CAD/CAM systémy

CAD/CAM (Computer Aided Design/ Computer Aided Manufacturing) je počítačem podporovaný systém s integrovanou podporou návrhu a současně i výroby součásti. [5]

Systémy CAD/CAM integrují modelování součásti a jeho konstrukční návrh, návrh technologické dokumentace ve formě NC programů a operativní řízená výroby do jednoho počítačového systému. [5]

Výhodou těchto integrovaných systémů je jejich schopnost řešit komplexní a složité úlohy. Bez jejich nasazení je v mnoha případech výroba zejména tvarových ploch velmi složitou a časově náročnou činností. Své uplatnění našly především v oblasti frézování 3D ploch. [5]

### 2.6 CAE systémy

CAE (Computer Aided Engineering) = počítačem podporované inženýrství. CAE systém se zabývá analýzou geometrických dat získaných v CAD návrhu. Umožňuje simulovat a studovat navržený objekt v extrémních pracovních podmínkách, pro které je tvořen a následně

chyby, které ovlivňují jeho funkci lze okamžitě eliminovat. Součásti lze zkoumat nejen jako statické, ale je možné je takzvaně „rozpohybovat“ a následně prověřovat jejich kinematiku a dynamiku. Některé systémy mohou používat metodu konečných prvků, výpočty přenosů tepla apod. [3]

## 2.7 Rozdělení CAM systémů

Rozdělení CAM systému je v podstatě podobné jako u systému CAD. CAM systémy můžeme dělit podle několika kritérií. Hlediska dělení mohou být různá a to např. podle ceny, podle použití nebo podle podpory ze strany výrobce daného software. CAM systémy mohou být rozlišovány dle velikosti systému. Velikosti systému myslíme konkrétní využití dané aplikace (množství doplňků nadstaveb, obráběcích operací atd.). [3]

Pod pojmem CAD/CAM lze chápat také technologii, která využívá číslicové počítače pro vykonávání určitých funkcí v předvýrobních etapách i v samotné výrobě. Tato technologie představuje maximální možnou integraci přípravných a výrobních procesů ve všech průmyslných činnostech. Vyvíjí se směrem k vyšší integraci předvýrobních a výrobních fází, které byly tradičně chápány jako oddělené činnosti výrobního podniku. [3]

Třetí pojem pro většinu technické veřejnosti znamená nejvýznamnější představa o CAD/CAM systému jako o softwaru. Tyto softwary zabezpečují podstatně méně funkcí a činností v porovnání s CAD/CAM jako vnitropodnikový útvar. [3]

Některé CAM lze také dodávat jako školní aplikace, které slouží jako výukové verze a nedovolují využívat veškeré možnosti těchto systémů. Slouží většinou pro obecné seznámení s principem konstruování a postupu tvorby NC programu bez možnosti aplikace na danou obráběcí operaci. Omezením může být nemožnost ukládání, nebo tvorby NC kódu. [3]

Podle úrovně systémů a na základě ceny lze CAM systémy rozdělit na:

- malé CAM systémy,
- střední CAM systémy,
- velké CAM systémy. [3]

### 2.7.1 Malé CAM systémy

Do této skupiny patří systémy s malou počítačovou podporou konstruování, která nepřesahuje hranici 2D zobrazování a slouží jen jako elektronické rýsovací desky. Z hardwarového hlediska nevyžadují náročné počítače a jejich ovládání je většinou velmi jednoduché.



Malé CAM systémy umožňují programovat dráhu nástroje na základě kontur definovaných pomocí základních geometrických entit (přímka, kruh, bod). Programování je možné provádět ve 2D a 2.5D, podobně jako u ručního. K ověření procesu obrábění se používá jednoduchá simulace. [3]

### 2.7.2 Střední CAM systémy

Jsou většinou zaměřeny pouze na oblast CAM, i když v poslední době se výrobci těchto softwarů snaží pojmout i oblast CAD. Střední systémy umožňují programovat dráhu nástroje na základě předem nadefinovaných kontur a ploch. Programování dráhy nástroje je možné provádět ve 2D, 2.5D, 3D i ve více osách. Modely předem vytvořené v jiných CAD systémech formou plošných popř. objemových modelářů je možné do těchto systémů importovat přes rozhraní IGES, VDA a dalších. Importovaný model lze ještě editovat pomocí jednoduchých CAD funkcí. Mimo jiné je možné provádět simulace a verifikaci procesu obrábění. Vygenerovaný NC program (většinou ve formě ISO kódu) na základě volby postprocesoru slouží jako řídicí instrukce pro CNC stroj. [3]

### 2.7.3 Velké CAM systémy

Velké systémy jsou zaměřeny na oblast kompletních CAD/CAM systémů. Zabývají se jak vytvářením modelů - konstrukcí, tak i přípravou NC programů – technologií. Na rozdíl od středních systémů mohou vytvářet a zpracovávat složitější plochy. [3]

Do této skupiny spadají často systémy v rámci velkých komplexních systémů CAD/CAM/CAE. Hlavní výhodou je provázanost jednotlivých modulů. Nevznikají zde problémy s přenosy dat, protože systémy pracují na jedné platformě. Mezi jejich hlavní nevýhody patří vysoké pořizovací náklady spojené s provozuschopností celého zařízení systému. [3]

Velké CAM systémy nacházejí uplatnění především v automobilovém a leteckém průmyslu, ale také ve výrobě strojů, přípravků, forem, zápusťek apod.

## 2.8 Přehled CAM systémů

S CAM systémy se uživatelé mohou setkat v několika variantách. Jedná se především o samostatné CAM aplikace, které pro svoji funkčnost nepotřebují žádný další software, dále CAM aplikace ve formě zásuvného modulu pro CAD (jako plug-in nebo nadstavba) a na-

konec jako velké modulární CAx systémy, kde je CAM jedním z mnoha modulů a pořídí si jej jen ti uživatelé, kteří ho potřebují. [6]

### 2.8.1 Creo Parametric (Pro/ENGINEER)

Pro/ENGINEER je základní konstrukční řešení systému Product Development System od společnosti PTC. Dokáže navrhnout formu, vlastnosti a funkce výrobků. Tvůrčí týmy mají díky dokonalému webovému propojení přístup ke zdrojům, informacím a funkcím, které potřebují – od koncepčního návrhu přes detailní konstrukci výrobku a vývoj výrobních nástrojů až po výrobu. V systému Pro/ENGINEER mají vysoce kvalitní modely plnou asociativitu, takže změny provedené v kterékoliv fázi vývoje se automaticky promítají do všech výskytů výrobku. [7]

Moduly pro NC obrábění:

- Expert Machinist Option – 2,5osé frézování prizmatických součástí a tříosé plošné i objemové frézování. Zahrnuje moduly Vericut a Pro/NC G-Post.
  - Production Machinist Option – zahrnuje Expert Machinist Option a rozšiřuje jej o podporu HSC do 3,5 os, dvou a čtyřosé soustružení a dvou a čtyřosé řezání drátem. Obsahuje také plošný modelář Pro/Surface.
  - Complete Machining Option – rozšiřuje funkcionalitu Production Machinist Option na pětiosé frézování a podporuje řízení obráběcích kombinovaných center.
  - NC Verification Option – simulace NC kódu, umožňuje export do formátu STL, porovnávání modelů s množinou bodů (CMM) a základní měřicí techniky.
  - NC Optimization Option – zahrnuje NC Verification Option, podporuje obrábění speciálními nástroji, optimalizuje posuvy a otáčky podle řezných podmínek a možností nástroje.
  - NC Simulation Option – rozšiřuje funkcionalitu NC Optimization Option o reálné kinematické simulace pracovního prostoru obráběcího stroje, kontrolu kolizí atd.
- [6]

### 2.8.2 Catia V5

Catia je nejrozšířenější CAx systém v automobilovém a leteckém průmyslu.

Jedním ze špičkových dílčích uplatnění je v oblasti CAM, kde Catia dosahuje skvělých výsledků v simulacích NC obrábění, a to jak u frézování, tak i soustružení od dvou- až po

pětiosé simultánní obrábění s možností přímé komunikace s CNC centry. Je to profesionální, všestranný nástroj pro obrábění součástí různých typů a tvarů z různých typů materiálů, jako je celá řada kovů, plastů, ale také dřeva, a to jak přírodního, tak i jeho umělých variant. [8]

Hlavní produkty Catia V5 NC jsou:

- Prismatic Machining – 2,5osé frézování - Tento produkt umožňuje jednoduše definovat a řídit vrtací a 2,5osé frézovací operace včetně technologie vysokorychlostního obrábění (HSM), kdy je dráha nástroje tvořena bez ostrých přechodů s konstantním úběrem materiálu.
- Surface Machining – 3osé frézování - Tento produkt slouží hlavně pro obrábění tvarových a geometricky složitých součástí. Obsahuje úplné portfolio tříosých operací a pro úplnost a univerzálnost tohoto modulu byl tento produkt doplněn také některými 2,5osými operacemi. Obsahuje jak hrubovací, tak dokončovací operace pro úplné pokrytí výrobního procesu. Technologie vysokorychlostního obrábění (HSM) je podporována u všech operací.
- Multi-Axis Surface Machining – víceosé frézování s vrtáním - Tento produkt se používá hlavně v případech, kdy nelze geometrii obrobit ve třech osách z důvodu nepřístupnosti obráběného tvaru nebo požadavku na velkou kvalitu výsledného povrchu. Obsahuje úplnou sadu víceosých operací: víceosé kopírovací řádkování, víceosé kopírování řízené křivkou, které může používat různé styly dráhy nástroje (mezi konturami, paralelně s konturou, kolmo na konturu), víceosé izoparametrické obrábění, které umožňuje získat vysoce kvalitní povrchové úpravy pomocí interpolace dráhy nástroje mezi hranicemi povrchů. Víceosé obrábění ploch také obsahuje podporu pro kontrolu kolizí obráběného dílu a upínek vůči nástroji a držáku.
- Lathe Machining – soustružení - umožňuje jednoduše naprogramovat 2osé soustružnické a vrtací operace pro horizontální vertikální soustruhy.
- Multi-Slide soustružení - umožňuje programátorům ovlivňovat produktivitu multislide obráběcích center s několika revolverovými hlavami a vřeteny. [8]

Samozřejmostí u všech produktů je realistická simulace odebírání materiálu pro verifikaci dráhy nástroje. [8]

### 2.8.3 Surfcam

SURFCAM je nejrozšířenějším CAM systémem na českém trhu. Představuje vyspělý CAM systém pro řízení CNC technologií umožňující řídit 2 až 5 osé frézky, soustruhy a soustružnická centra, vyvrtávačky, drátořezy a další. Mezi hlavní přednosti systému SURFCAM patří špičková technologie TrueMill, která výrazně zkracuje dobu obrábění a prodlužuje životnost nástrojů. [9]

Produkty Surfcam:

- SURFCAM Basic Edition - základní instalace pro 2-3-osé frézování, soustruhy a drátořezy
- SURFCAM Advanced Edition - rozšířená instalace pro 2-5-frézování, soustruhy a drátořezy
- TrueMill - revoluční patentovaná technologie v oblasti třískového obrábění
- SolidWorks PDA - parametrický 3D CAD systém umožňující tvořit díly a sestavy [9]

### 2.8.4 NX CAM

NX CAM je součástí komplexního CAD/CAM systému NX a umožňuje komplexní obrábění součástí v profesích frézování/vrtání, soustružení, drátové řezání a obrábění na multifunkčních obráběcích centrech. Kromě solid modelu lze také obrábět plošné modely, STL modely, 2D drátovou geometrii nebo kombinaci výše uvedených typů geometrie. Systém umožňuje také používat sestavy pro definici obráběných nebo upínacích prvků. Integrace do CAD/CAM systému NX zabezpečuje asociativitu obrobeneho modelu vzhledem ke geometrickým i technologickým změnám. [10]

### 2.8.5 EdgeCAM

Edgecam je kompletní softwarové CAM řešení jak pro produkční obrábění, tak i pro výrobu tvarových forem a zápusťek. S kompletním rozsahem 2 až 5-osých frézovacích cyklů, s podporou pro soustružení a soustružnicko/frézovací centra. [11]

Edgecam Solid Obráběč načítá nativní data ze všech hlavních CAD systémů, čímž zamezuje případným problémům s převodem dat přes rozhraní třetích stran. Při obrábění Solid

Modelů Edgcam automaticky rozpoznává útvary, kterým je následně přiřazena obráběcí strategie. Vazba drah na útvary a model je plně asociativní. [11]

### 2.8.6 WorkNC – CAM

Software firmy SESCOI, speciálně vyvinutý jako doplněk konstrukčních systémů pro přípravu NC dat 2D až 5ti-osého frézování. Systém původně navržený jako dílenský software umožňuje rychlou přípravu obráběcích dat složitých tvarových dílů vstřikovacích forem, lisovacích nástrojů a postupových nástrojů. [12]

WorkNC umožňuje:

- 2D a 2,5D obrábění - modul navržený rychlou přípravu frézovacích drah základních desek nástrojů, přípravků a vrtání otvorů včetně chladících okruhů dílů forem.
- 3D a 3+2 osé obrábění - umožňuje rychlou přípravu NC dat frézování strategiemi 3D s možností obrábění s vykloněnou hlavou stroje (obráběcí rovinou), zaručující použití efektivní délky vyložení nástroje nebo držáku, tedy tuhou sestavu obrábění pro přesné kvalitní obrábění složitých tvarových dílů forem, lisovacích nástrojů a obrábění podkosů.
- 5-ti osé obrábění - umožňuje přímé 5ti-osé obrábění složitých tvarů forem, nástrojů nebo lopatek na 5ti-osých strojích. Umožňuje automatický přepočítání 3D dráhy nástroje na 5ti-osou dráhu pro obrábění méně přístupných partií obrobku krátkým vyložením nástroje.
- Dílenský CAM prohlížeč – Viewer - doplňující modul určený pro dílenské prohlížení dráhy nástroje připravených v systému WorkNC-CAM. [12]

## 2.9 Postprocessor

Existuje velké množství typů obráběcích strojů s mnoha řídicími systémy, např. Heidenhain, Selca, Siemens, Fanuc, Acramatic a další. Proto je třeba přeložit NC data vygenerovaná CAM softwarem do jazyka konkrétního řídicího systému. K tomuto účelu slouží právě postprocessor. Postprocessor je program napsaný pro konkrétní řídicí systém, nebo v případě složitějších řídicích systémů přímo pro konkrétní stroj. Může být implementován přímo do

CAM systému, nebo pracovat jako samostatný program ve formě spouštěcího či dávkového souboru.

## 2.10 NC program

NC program je soubor číselných informací odděleně popisujících činnost stroje. Program se skládá z bloků (vět), zapsaných v jednom řádku. Každý blok obsahuje:

- geometrické informace – výsledkem jsou pohyby ve směru jednotlivých os.
- technologické informace – např. nastavení otáček, spuštění chlazení, atd.

Každý blok (věta) se skládá ze slov. Slovo popisuje jeden příkaz a je složeno z adresy a číselného kódu. Adresa určuje, kam bude informace směřována. Číselný kód určuje konkrétní hodnotu. Slovo může být:

- rozměrové – má významovou část tvořenou fyzikální veličinou a představuje např. polohu v příslušné ose, velikost otáček včetně, velikost posuvu, atd.
- bezrozměrové – podle významu je rozlišujeme na přípravné funkce, sdělují, jakým způsobem bude prováděn pohyb, a na pomocné funkce, které vyvolávají u určité činnosti stroje např. spuštění otáček.

Vygenerovaný NC program se odešle na příslušný obráběcí stroj. Přenos na obráběcí stroj může být uskutečněn například:

- pomocí sítí,
- bezdrátovým přenosem,
- fyzickým přenosem dat pomocí CD, flash disků apod. (dříve se používaly děrné štítky, děrné pásy, magnetofonové pásy, diskety).

NC program lze v řídicím systému stroje ještě znovu simulovat a odladit. Operátor NC stroje upne do příslušných nástrojových pozic nástroje, provede seřízení nástrojů a do tabulky korekcí zadá příslušné nástrojové korekce, připraví a upne polotovar. Dále pak následuje samotné obrábění. [3]

### 3 CNC OBRÁBĚCÍ CENTRA

CNC obráběcí centrum je číslicově řízený obráběcí stroj, který je schopný:

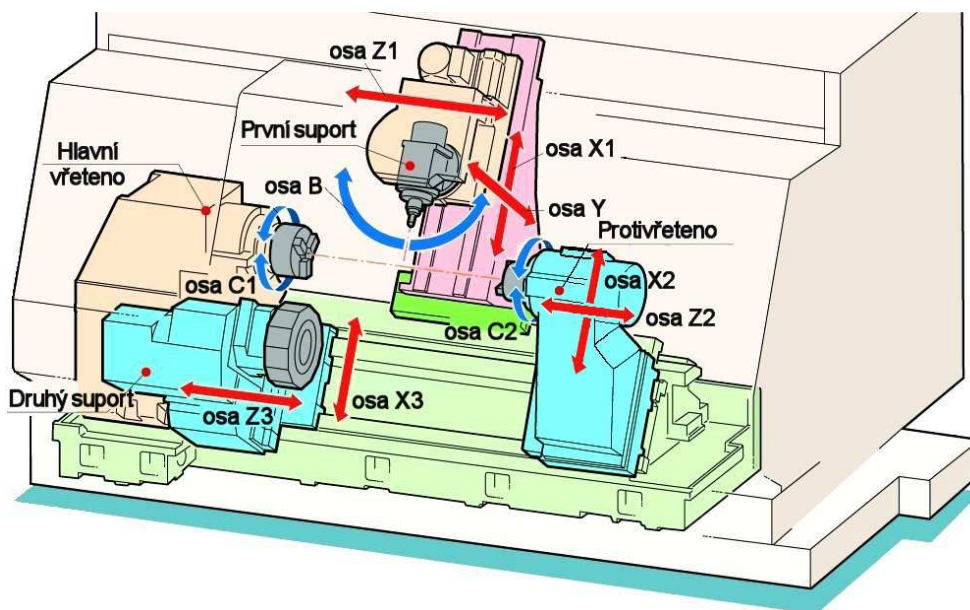
- provést různé operace při jednom upnutí obrobku,
- vybrat a vyměnit nástroje,
- nastavit vzájemnou polohu obrobku a nástroje,
- řídit otáčky, posuvy a pomocné úkony.

Z technologického hlediska jsou CNC obráběcí centra rozdělována na:

- obráběcí centra pro výrobu rotačních součástí (soustružnická OC, horizontální - s vodorovnou osou vřetena, vertikální - se svislou osou vřetena),
- obráběcí centra pro výrobu nerotačních součástí (frézovací, horizontální a vertikální jako v předchozím případě). [13]

#### 3.1 Soustružnická obráběcí centra

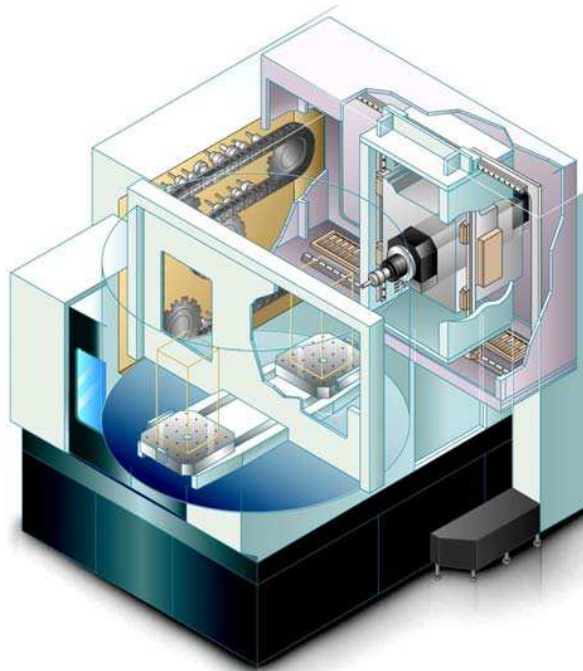
Soustružnická centra s horizontální osou vřetena jsou multiprofesní stroje s hlavním obrobkovým vřetenem a obrobkovým protivřetenem a dvěma nástrojovými suporty, pro obrábění přírubových rotačních součástí s přídavnými nerotačními nebo nesouose rotačními plochami, velmi často jsou vybavena zařízením pro manipulaci s obrobkem. Mají lože s vícenásobnými vodícími plochami pro první nástrojový suport s revolverovou hlavou a vřeteník protivřetena. [13]



Obr. 19. Soustružnické CNC obráběcí centrum [13]

### 3.2 Frézovací obráběcí centra horizontální

Frézovací obráběcí centra s horizontální osou vřetena jsou tří- až pětiosé multiprofesní stroje (lze na nich nejen frézovat, ale i vrtat, vyvrtávat, vystružovat, řezat závity) pro obrábění nerotačních obrobků většinou skříňovitého tvaru. Nosná část je obvykle rozdělena na neměnnou nástrojovou část s třemi navzájem kolmými řízenými osami (X, Y a Z) a na stavebnicově proměnnou obrobkovou část se dvěma rotačními osami A a B. [13]



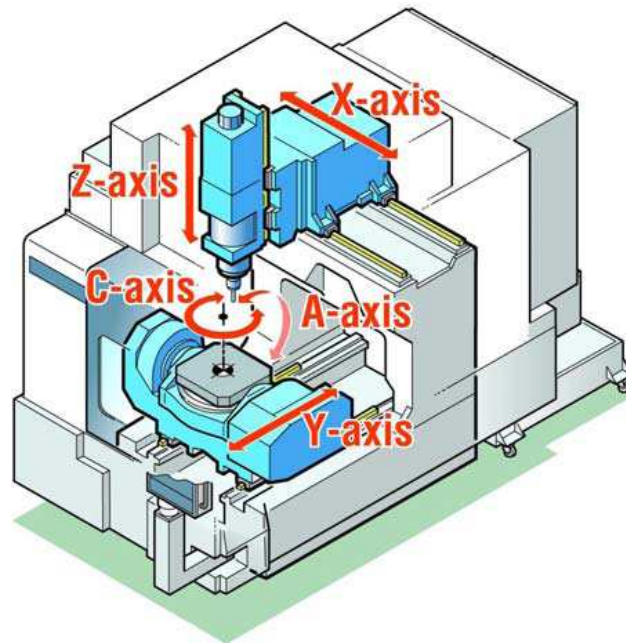
Obr. 20. Horizontální frézovací centrum [13]

### 3.3 Frézovací obráběcí centra vertikální

Frézovací obráběcí centra s vertikální osou vřetena jsou tří- a až pětiosé multiprofesní stroje na obrábění plochých nerotačních součástí. Vřeteno s třemi ovládanými osami (X, Y a Z) je umístěno na pojízdném portálu (existují též varianty s dvěma ovládanými osami X a Z, které mají v obrobkové části řízené osy Y, A a C). [13]

Vertikální frézovací centra (stejně též horizontální) jsou často doplněny zařízením pro kontinuální odvod třísek. [13]





Obr. 21. Vertikální frézovací centrum [13]

### 3.4 Univerzální frézovací centrum DMU 80 monoBLOCK

Na tomto CNC frézovacím centru byla provedena praktická část této bakalářské práce. Stroj byl vyroben a dodán v roce 2011 firmou DMG Czech. V základním provedení je stroj vyráběn jako 3-osý, volitelné provedení může být 3+2, 4 nebo 5-ti osé.



Obr. 22. Univerzální frézovací centrum DMU 80 monoBLOCK [15]

Hlavní znaky:

- Nejvyšší dynamika standardně se zrychlením 0,5 g, posuvem a rychloposuvem až 30 m/min a také rychlé rotační osy pro optimální použití ve výrobě forem
- HSC motorová vřetena s otáčkami 24.000 min<sup>-1</sup>, 30.000 min<sup>-1</sup> a také 42.000 min<sup>-1</sup> a motorové vřeteno s otáčkami 10.000 min<sup>-1</sup> pro vysoký výkon obrábění v oblasti oceli
- Zásobník nástrojů s 32 místy v zásobníku standardně, opčně řetězový zásobník s 60 místy
- Kompaktní konstrukce monoBLOCK®, malá výška stroje při velkém pracovním prostoru, velká dráha pojezdu v ose Z a integrovaný hřeblový dopravník třísek ve standardu [15]

Technická specifikace pro 5-ti osý paketový stroj:

- Pojezdy X/Y/Z: 880/630/630 mm
- NC otočný stůl integrovaný v pevném stole průměr 700 mm (osa C)
- NC řízená výklopná frézovací hlava (osa B)
- Rozsah naklápění -120°/+30°
- Motorové vřeteno SK 40 s vnitřním chlazením max. 18 000 ot/min
- 32 míst v zásobníku SK 40
- Pevný stůl 1250x700 mm
- Max. přípustné zatížení stolu 650 kg
- Měřicí infra sonda Renishaw PP60 optical
- Měření nástrojů v pracovním prostoru Blum Laser
- 3D řídicí systém Heidenhain iTCN 530
- 3D quckSET sada nástrojů pro kontrolu a korekci kinematické přesnosti stroje.

### 3.5 Příslušenství obráběcích center

Univerzálnost obráběcích center, zejména 3-osých, lze ještě rozšířit použitím dalšího příslušenství, jako jsou otočné a výklopné stoly nebo dělicí přístroje.

### 3.5.1 Otočný stůl

Otočný stůl se upíná na pracovní stůl obráběcího centra. Využívá se k obrábění rotačních tvarů, segmentů, drážek, vaček apod. stopkovými frézami. Existuje mnoho různých typů od jednoduchých mechanicky ovládaných až po vysoce přesné stoly ovládané systémem obráběcího stroje. Funguje jako neřízená nebo řízená čtvrtá osa.



Obr. 23. Otočný stůl RC-300 Tsudakoma [16]

### 3.5.2 Výklopný stůl

Výklopný stůl rozšiřuje 3-osý stroj o čtvrtou a pátou osu. Opět se může jednat o mechanické nebo systémem řízené naklápění a otáčení. Nevýhodou je zejména u menších CNC strojů významné zmenšení pracovního prostoru stroje.



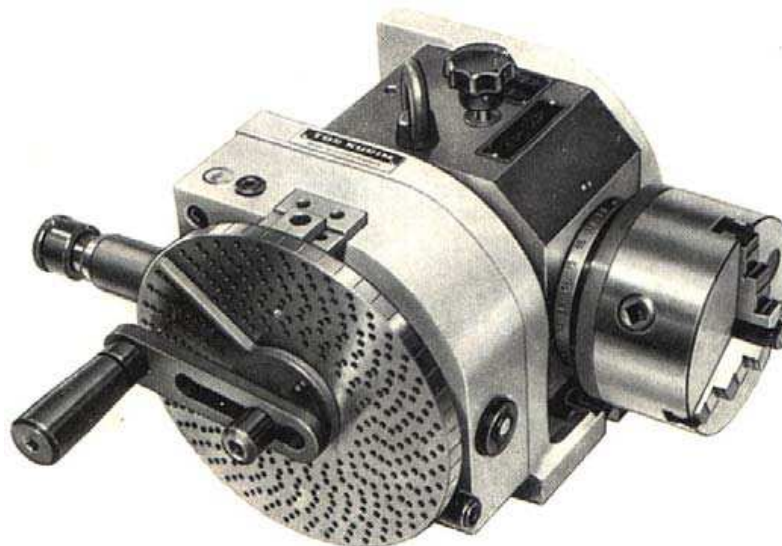
Obr. 24. Výklopný stůl THNC-251 Tsudakoma [16]

### 3.5.3 Dělicí přístroje

Dělicí přístroje umožňují pootáčení obrobku o určitý úhel nebo rozteč při frézování čtyřhranů a šestihranů, vícedrážkových hřídelů, ozubených kol, vícebřitých nástrojů, zářezů na čelních plochách apod. Používají se dva druhy dělicích přístrojů a to jednoduché a univerzální. [13]

Jednoduché dělicí přístroje mají vřeteno s kuželovou dírou pro hrot nebo kužel držáku sklíčidla. Pro dělení obvodu obrobku u nich slouží dělicí kotouč, který má na svém obvodu zářezy nebo díry. Vlastní dělení probíhá metodou přímého dělení, tj. pootočením vřetena dělicího přístroje o požadovaný díl obvodu a zajištění polohy buď západkou do zářezu dělicího kotouče, nebo kolíkem do díry dělicího kotouče. [13]

Univerzální dělicí přístroj se používá se pro přímé, nepřímé a diferenciální dělení. Pro přímé dělení má přístroj dělicí kotouč nasazený a upevněný na předním konci dělicího vřetena. V kotouči je vyvrtáno 24, 36, popř. 48 otvorů, do nichž zapadá odpružený kolík, uložený v tělese přístroje. Dělení probíhá jako u jednoduchého dělicího přístroje. Pro nepřímé a diferenciální dělení slouží kotouč, který má na čelní ploše v soustředných kruzích různé počty děr. [13]



Obr. 25. Univerzální dělicí přístroj DU400A [13]

## 4 NÁSTROJE PRO CNC OBRÁBĚCÍ CENTRA

Nástroje pro CNC obráběcí centra vykazují následující základní znaky:

- mají stavebnicovou konstrukci, obvykle s těmito členy (jednotlivé konkrétní nástroje nemusí vždy obsahovat všechny uvedené členy):
  - základní držák pro upnutí na obráběcím centru,
  - redukční členy (umožňují změnu velikosti příčného průřezu),
  - prodlužovací členy (umožňují změnu polohy špičky řezné části nástroje),
  - upínací členy pro upnutí řezných částí nástroje,
  - řezná část nástroje (nebo normalizovaný nástroj),
- seřizují se mimo stroj, na speciální seřizovacím přístroji (nutnost zabezpečení požadované polohy řezné části nástroje, s kterou pracuje řídicí program stroje),
- jejich řezné části jsou vyráběny z kvalitních nástrojových materiálů s vysokou řezivostí,
- jejich optimální trvanlivost obvykle nepřesahuje hodnotu  $T=15$  minut (pracují s vysokými řeznými rychlostmi). [13]

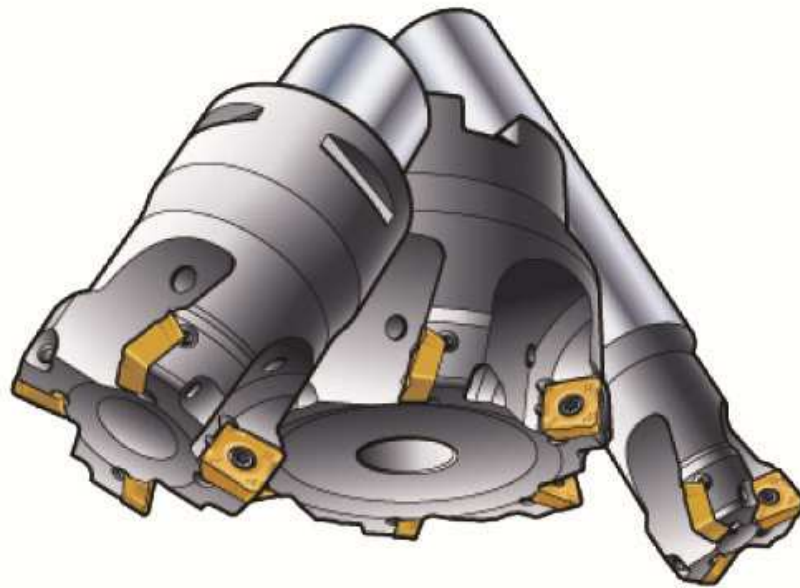
Všechny nástroje jsou na obráběcích centrech uloženy v zásobnících nástrojů (s kapacitou  $15\div 60$ , někdy i  $100\div 150$  nástrojů), které mohou být umístěny na pracovním vřeteníku, na stojanu nebo stole stroje, případně i mimo stroj. Podle konstrukce lze zásobníky nástrojů dělit na revolverové, bubnové, deskové, voštinové, regálové, řetězové, atd. Výměnu nástrojů zajišťuje speciální manipulační zařízení, které je schopno vyjmout nástroj z vřetena a uložit ho do zásobníku a dále vyjmout nový nástroj ze zásobníku a nasadit ho do vřetena stroje. [13]

### 4.1 Rozdělení frézovacích nástrojů

Vzhledem k mnohostrannému uplatnění frézování ve strojírenské výrobě a k velkému rozsahu technologie frézování se v současné době používá mnoho typů fréz. Frézy jsou vícebřitě, někdy i tvarově složité, nástroje, které lze v závislosti na jejich technologickém uplatnění třídit do jednotlivých skupin podle různých hledisek:

- podle umístění zubů na tělese nástroje se rozlišují frézy válcové (mají zuby na válcové ploše), čelní (mají zuby na čelní ploše), válcové čelní (mají zuby na čelní i válcové ploše).

- podle nástrojového materiálu zubů se rozlišují frézy z rychlořezné oceli, slinutých karbidů, cermetů, řezné keramiky, kubického nitridu bóru a polykrystalického diamantu.
- podle provedení zubů se rozlišují frézy se zuby frézovanými nebo podsoustruženými. U frézovaných zubů tvoří čelo i hřbet rovinné plochy, úzká fazetka o šířce 0,5 až 2 mm na hřbetě zpevňuje břit a ostření se provádí na hřbetě. Podsoustružené zuby mají hřbetní plochu vytvořenou jako část Archimédovy spirály, čelo zubu je tvořeno rovinnou plochou a ostření se provádí na čele. Předností podsoustružených zubů je, že při ostření na čele se jejich profil mění jen nepatrně, takže se využívají především pro tvarové frézy.
- podle směru zubů vzhledem k ose rotace frézy se rozlišují frézy se zuby příkými a zuby ve šroubovici, pravé nebo levé. Zuby ve šroubovici vnikají do záběru postupně, takže řezný proces je plynulý a klidnější. Sklon šroubovice je  $10^\circ$  až  $45^\circ$  a někdy i více.
- podle počtu zubů vzhledem k průměru frézy se rozlišují frézy jemnozubé, polohrubozubé a hrubozubé. Pro klidný chod frézy má být počet zubů takový, aby současně řezaly nejméně dva zuby.
- podle konstrukčního uspořádání se rozlišují frézy celistvé (těleso i zuby jsou z jednoho materiálu), s vloženými noži a frézy s vyměnitelnými břitovými destičkami, mechanicky upevněnými k tělesu frézy.
- podle geometrického tvaru funkční části se rozlišují frézy válcové, kotoučové, úhlové, drážkovací, kopírovací, rádiusové, na výrobu ozubení, atd.
- podle způsobu upnutí jsou frézy nástrčné (upínají se na centrální otvor) a stopkové (upínají se za válcovou nebo kuželovou stopku).
- podle smyslu otáčení při pohledu od vřetena stroje se frézy dělí na pravořezné a levořezné. [13]



Obr. 26. Frézy s vyměnitelnými břitovými destičkami [2]



Obr. 27. Monolitní frézy [2]

## 4.2 Materiály frézovacích nástrojů

Soudobé řezné nástroje pro strojní obrábění jsou vyráběny z různých materiálů, od nástrojových ocelí (zejména rychlořezných), přes slinuté karbidy (bez povlaků i s tvrdými, otěruvzdornými povlaky), cermety (včetně povlakovaných), řeznou keramiku (včetně povlakované) až po supertvrdé materiály (syntetický diamant a kubický nitrid boru). Tento široký sortiment materiálů je důsledkem dlouholetého a intenzivního výzkumu a vývoje v dané oblasti a má úzkou souvislost s rozvojem konstrukčních materiálů, které je třeba efektivně obrábět, i s vývojem nových obráběcích strojů, zejména s číslicovým řízením. [14]

Aplikační oblasti materiálů pro řezné nástroje jsou vymezeny jejich fyzikálními (měrná hmotnost, velikost zrna, součinitel tření), chemickými (inertnost, stálost), tepelnými (teplota tavení, pracovní teplota, tepelná vodivost, délková roztažnost), a mechanickými vlastnostmi (tvrdost, modul pružnosti, pevnost v tlaku a ohybu, lomová houževnatost). Nástrojové materiály s vysokou tvrdostí lze použít při vyšších řezných rychlostech a malých průřezích třísky (dokončovací obrábění), kde převládá spíše tepelné zatížení nad mechanickým, materiály s vysokou houževnatostí lze použít při vyšších posuvových rychlostech (hrubovací obrábění), kde v důsledku většího průřezu třísky převládá mechanické zatížení nad tepelným. [14]

#### 4.2.1 Nástrojová ocel

Podle chemického složení se dělí na:

- Nástrojové oceli nelegované – vhodné při menších nárocích na nástroj, nevýhodou je rychlý pokles tvrdosti vlivem popouštění při ohřevu v řezu.
- Nástrojové oceli legované – vhodné pro více namáhané nástroje, legované zejména Cr, Mo, V, W, Co, Ni. Používají se na výrobu stříhacích a řezacích nástrojů, nástrojů k tažení, ražení, funkčních částí forem apod.
- Rychlořezné oceli (RO) – jsou v podstatě legované nástrojové oceli s vyšším obsahem legujících prvků, nejčastěji W, Cr, Co. Ty zlepšují jejich řezné vlastnosti. Mechanické vlastnosti jako tvrdost, pevnost a houževnatost bývají zachovány i při vyšších teplotách obrábění. Rychlořezné oceli se používají pro výrobu soustružnických nožů, fréz, vrtáků, výstružníků, protahovacích trnů atd.

#### 4.2.2 Slinuté karbidy

Slinuté karbidy (SK) mají nejvyšší modul pružnosti, ohybovou pevnost a lomovou houževnatost a proto mohou být použity pro obrábění vysokými posuvovými rychlostmi a pro těžké přerušované řezy. [14]

Slinuté karbidy jsou materiály vyráběné práškovou metalurgií; jsou směsí částic karbidu wolframu (WC) a kovového pojiva bohatého na kobalt (Co). Slinuté karbidy používané pro obráběcí operace obsahují více než 80% částic tvrdé fáze WC. Další důležitou součástí jsou příměsi kubického karbonitridu titanu, zvláště u gradientně slinovaných tříd. Tvar těla ná-



stroje ze slinutého karbidu je vytvářen buď lisováním prášku, nebo metodou vstřikování do formy a takto vytvořený polotovár je dále slinován až na plnou hustotu. [2]

Slinuté karbidy mají vyšší tvrdost než rychlořezné oceli a také odolávají vyšším teplotám, než RO. Nástroje ze slinutých karbidů se používají k obrábění různých druhů materiálů, od měkkých (mosaz, slitiny Al) přes konstrukční oceli až po špatně obrobitelné materiály jako jsou např. žárovečné slitiny.

- Povlakovaný slinutý karbid - V současnosti reprezentují slinuté karbidy 80-90% veškerých břitových destiček používaných pro obráběcí nástroje. Jejich úspěch, jakožto nástrojového materiálu, je dán jejich unikátní kombinací odolnosti proti opotřebení a houževnatosti, ale také jejich schopností nechat se formovat do složitých tvarů. Povlakované slinuté karbidy představují kombinaci slinutého karbidu s povlakem. Společně tvoří třídu, která je přizpůsobena pro daný způsob aplikace. [2]
- Nepovlakovaný slinutý karbid - Třídy z nepovlakovaných slinutých karbidů tvoří pouze velmi malou část celkového sortimentu. Tyto třídy se buď skládají přímo z WC/Co nebo obsahují velké množství kubických karbonitridů. Typickými aplikacemi jsou obrábění žárovzdorných slitin nebo titanových slitin a soustružení tvrdých materiálů při nízkých řezných rychlostech. [2]

### 4.2.3 Cermet

Cermet je slinutý karbid tvořený tvrdými částicemi na bázi titanu. Název cermet je kombinací slov keramika (ceramic) a kov (metal). Původně se cermety skládaly z TiC a niklu. Moderní cermety nikl neobsahují a jejich důmyslné složení je tvořeno, jakožto základním stavebním prvkem, částicemi karbonitridů titanu Ti(C,N), částicemi sekundárních tvrdých fází (Ti,Nb,W)(C,N) a pojivem bohatým na kobalt. [2]

Ve srovnání s běžnými slinutými karbidy má cermet vyšší odolnost vůči otěru a menší tendence k ulpívání materiálu obrobku na břitu. Na druhou stranu, cermet má také nižší úroveň vnitřních tlakových pnutí a z toho důvodu i nižší odolnost proti vzniku tepelných trhlin. Za účelem zvýšení jejich odolnosti proti otěru, je cermet rovněž možné povlakovat. [2]

Použití cermetových tříd je vhodné u aplikací, kde dochází k ulpívání materiálu obrobku na břitu a kde činí problémy tvorba nárůstku. Jejich typický způsob opotřebení se samoostřicí schopností umožňuje udržení nízké úrovně řezných sil, dokonce i pro velmi dlouhé časy v

řezu. Jejich použití pro dokončovací operace přispívá k dosažení dlouhé životnosti nástroje a úzkých tolerancí a projevuje se vysokým leskem obrobené plochy. [2]

Typické příklady použití jsou dokončování korozivzdorných ocelí, nodulární litiny, nízkouhlíkových ocelí a feritických ocelí. Cermety je rovněž možné použít pro řešení potíží při obrábění všech materiálů na bázi železa. [2]

#### 4.2.4 Řezná keramika

Veškeré obráběcí nástroje využívající řeznou keramiku se vyznačují mimořádnou odolností proti otěru při použití vysokých řezných rychlostí. Existuje celá řada tříd řezné keramiky vhodných pro širokou oblast aplikací.

- Oxidická keramika se skládá z oxidu hlinitého ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), s přísadou oxidu zirkoničitého ( $\text{ZrO}_2$ ), která brání vzniku a šíření trhlin. Takto vytvořený materiál je chemicky velice stabilní, ale postrádá odolnost proti tepelným šokům.
- Smíšená keramika je vyztužená částicemi, konkrétně přísadou kubických karbidů nebo karbonitridů ( $\text{TiC}$ ,  $\text{Ti(C,N)}$ ). Tím je dosaženo zvýšení houževnatosti a zlepšení tepelné vodivosti.
- Keramika vyztužená whiskery, jmenovitě whiskery karbidu křemíku ( $\text{SiC}_w$ ), se vyznačuje razantním nárůstem houževnatosti a umožňuje použití řezné kapaliny. Řezná keramika vyztužená whiskery je ideální pro obrábění slitin niklu.
- Keramika z nitridu křemíku ( $\text{Si}_3\text{N}_4$ ) představuje další skupinu keramických materiálů. Krystaly podlouhlého tvaru tvoří materiál se schopností “samovyztužení” a s vysokou houževnatostí. Třídy na bázi nitridu křemíku jsou velmi vhodné pro obrábění šedé litiny, ale nedostatečná chemická stabilita limituje jejich použití pro ostatní typy obráběných materiálů.
- Sialon ( $\text{SiAlON}$ ) jsou třídy, které kombinují pevnost “samovyztužitelné” sítě z nitridu křemíku a vysokou chemickou stabilitu. Sialonové třídy jsou ideální pro obrábění žárovzdorných slitin. [2]

#### 4.2.5 Polykrystalický nitrid bóru

Polykrystalický kubický nitrid bóru, CBN, je materiál s mimořádně vysokou tvrdostí za tepla, který lze používat při velmi vysokých řezných rychlostech. Vyznačuje se také velmi dobrou houževnatostí a odolností proti tepelným rázům. [2]

CBN třídy se používají zejména pro dokončovací soustružení tvrzených ocelí o tvrdosti nad 45 HRC. Nad hodnotou 55 HRC je CBN jediným nástrojovým materiálem, který může nahradit tradičně používané metody broušení. Měkčí oceli, pod 45 HRC, obsahují vyšší množství feritu, který má negativní vliv na odolnost CBN proti otěru. CBN umožňuje použití také pro vysokorychlostní hrubování šedé litiny při soustružnických i frézovacích operacích. [2]

#### **4.2.6 Polykrystalický diamant**

Polykrystalický diamant se skládá z diamantových částic slinutých dohromady pomocí kovového pojiva. Diamant je nejtvrdší, a tudíž proti otěru nejodolnější, ze všech materiálů. Jako nástrojový materiál má velmi dobrou odolnost proti otěru, ale postrádá chemickou stabilitu za zvýšených teplot a má vysokou afinitu k železu. [2]

Použití nástrojů z PKD je omezeno na neželezné materiály, jako například slitiny hliníku s vysokým obsahem křemíku, kompozity s kovovou maticí a plasty vyztužené uhlíkovými vlákny. S dostatečně bohatým příívodem řezné kapaliny lze použít PKD také pro velmi jemné dokončovací operace (superfinašování) v titanu. [2]

## 5 SHRNU TÍ TEORETICKÉ ČÁSTI

V teoretické části byly popsány základní druhy a způsoby frézování. Dále bylo popsáno využití CAx systémů ve výrobě, přehled některých známých CAM systémů a na to navazující CNC obráběcí stroje a jejich příslušenství. Poslední část je věnována rozdělení frézovacích nástrojů pro CNC obrábění a materiálům pro jejich výrobu.

## **II. PRAKTICKÁ ČÁST**

## 6 ÚVOD PRAKTICKÉ ČÁSTI

V této části práce je řešeno obrábění negativních částí forem, které nelze bez přepínání nebo použití dalšího příslušenství – otočného a výklopného stolku – obrobit na 3-osém CNC stroji. Bude popsána původní používaná metoda výroby využitím otočně výklopného stolu s mechanickým nastavením a srovnána s obráběním na 5-ti osém stroji DMU 80 monoBLOCK.

Zvolené modely jsou části formy na výrobu hlavové opěry sedáku automobilu z polyuretanové pěny.

## 7 VÝROBA NA OTOČNĚ VÝKLOPNÉM STOLKU

Ještě před několika lety byl počet případů, kdy bylo nutno řešit obrábění negativní části forem velmi malý, což bylo dáno především orientací firmy na výrobu obuvnických, sklářských a jednodušších technických forem. Malé množství tvarových dílů, které bylo nutno obrábět vykloněné nebo natočené pod určitým úhlem, bylo realizováno pomocí ručně stavitelného otočně výklopného stolu TSK-250. Stolek umožňuje rotaci 360° a náklon až 90°.



Obr. 28. Otočně výklopný stůl TSK-250

### 7.1 Příprava NC programů v CAM systému

Tvorba NC programů byla realizována v systému Creo, známějším pod svým původním názvem PRO/Engineer. Aby bylo možné definovat přesně náklon, případně vytočení stolu, bylo třeba vymodelovat celý stolek včetně přípravné desky, na kterou se obráběný díl upíná. Změna polohy je řešena editací dvou kót – jedna na náklon, a druhá na rotaci.

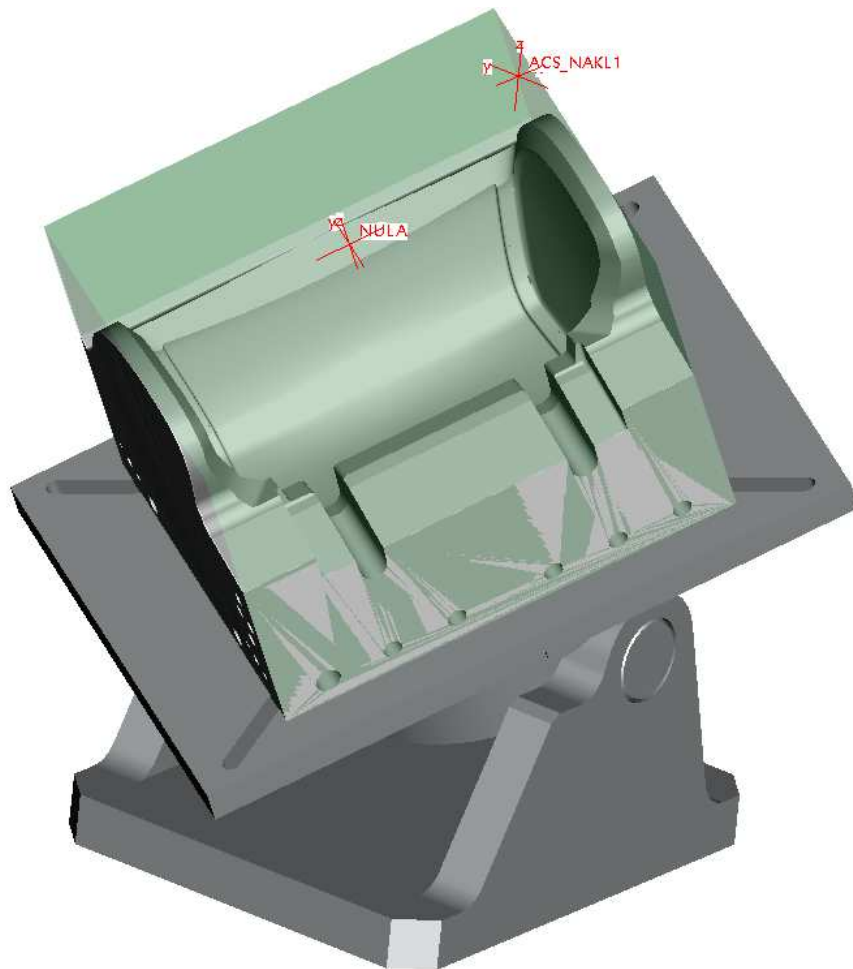


Obr. 29. 3D model otočně výklopného stolu TSK-250

Model stolku se vložil do obráběcí sestavy po naprogramování všech částí, které je možné obrobit pomocí 3-osého obrábění. Následně bylo nutno vytvořit nový souřadný systém pro najetí nulového bodu na CNC stroji, tento byl z důvodu jednoduchosti najetí zvolen ve středu rotace stolku. Následnou editací kót byla sestava umístěna tak, aby bylo možno obrobit negativní část tvaru.

Takový postup byl zvláště při potřebě více náklonů poměrně zdoluhavý, pomalý a vyžadoval pečlivou volbu referencí při skládání sestavy stolku a obráběného dílu, a vytváření navazujících prvků tak, aby nedocházelo ke kolizi referencí při změně náklonu a regeneraci sestavy.





Obr. 30. Sestava stolku TSK-250 a obráběného dílu

## 7.2 Příprava a výroba na 3-osém CNC obráběcím centru

Samotná výroba se původně realizovala na 3-osém obráběcím centru Eumach VMC-1200 s řídicím systémem Selca S4045. Nejdříve se na stůl stroje upnul výklopný stůl seřízený do roviny rovnoběžné se stolem stroje, aby bylo možno najet osy X a Y na stroji do středu rotace stolku. Pak se na stůl upne dílec přes přípravkovou desku a dle požadavku programátora provede operátor stroje vyklonění, případně natočení stolku. Vzhledem k tomu, že se jedná o mechanické pohyby, docházelo k nepřesnostem vlivem lidské chyby i vůlemi v uložení pohyblivých částí. Zdlouhavé najíždění, často i opakované, značně prodlužovalo čas výroby takto obráběných dílů. Každá změna náklonu stolku zabrala okolo 30 min. času na nové najetí, kontrolu správnosti k tvaru dílce a korekce. Složitější tvarové plochy byly i tak často viditelně nepřesně napojeny.



Obr. 31. Výroba tvaru pomocí otočně výklopného stolku TSK-250

Celkový čas výroby na otočném stole pro spodní díl byl 320 min a pro horní díl 235 min.

Se zvyšujícím se počtem takto obráběných dílů bylo nezbytné řešit výrobu jinak, a proto byl strojní park rozšířen o 5-ti osé CNC obráběcí centrum DMU 80 monoBLOCK (obr.22).

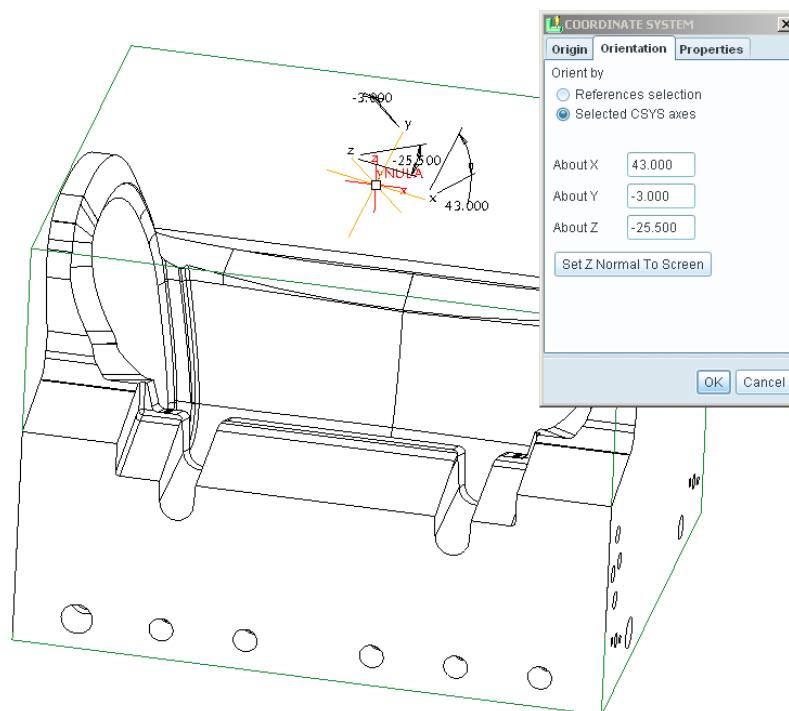
## 8 VÝROBA NA 5-TI OSÉM CNC STROJI

CNC obráběcí centrum DMU 80 monoBLOCK má pojezdy v osách X/Y/Z 880/630/630, otočný stůl integrovaný v pevném stole o průměru 700 mm (osa C) a řízenou výklopnou frézovací hlavu s rozsahem naklápění  $-120^{\circ}/+30^{\circ}$  (osa B). Vřeteno SK 40 má vnitřní chlazení a maximální otáčky 18 000 1/min. Řídicí systém je Heidenhain iTCN 530.

Polotovary lze upínat přímo na stůl stroje pomocí rozpěrných upínek umístěných v drážkách stolu, do strojního svěráku, nebo na přípravky. Způsob upnutí závisí na velikosti a rozsahu obrobění dílce.

### 8.1 Příprava NC programů pro 5-ti osé obrábění

Hlavní rozdíl v programování 3-osém a víceosém v systému Creo je v tom, že u 3-osého obrábění je souřadný systém jeden pro operaci i všechny sekvence, u víceosého programování je běžné použití více souřadných systémů. Souřadný systém operace je definován jako nulový bod, který musí být shodný s najetím na obráběcím stroji. Souřadný systém sekvence, obvykle vytvořený odsazením nebo otočením od základního souřadného systému definuje otočení stolu a náklon vřetene.



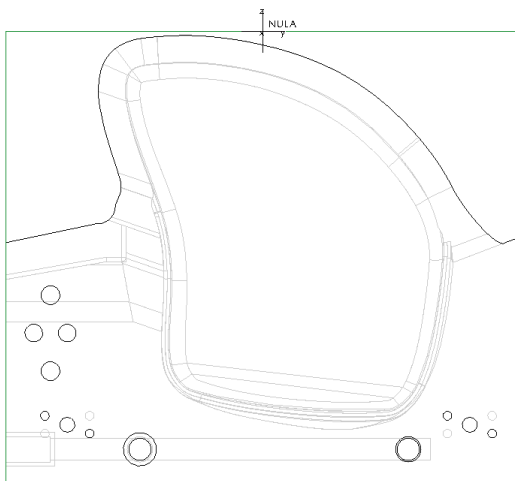
Obr. 32. Definice souřadného systému pro 5-ti osé obrábění

### 8.1.1 Programování spodního dílu

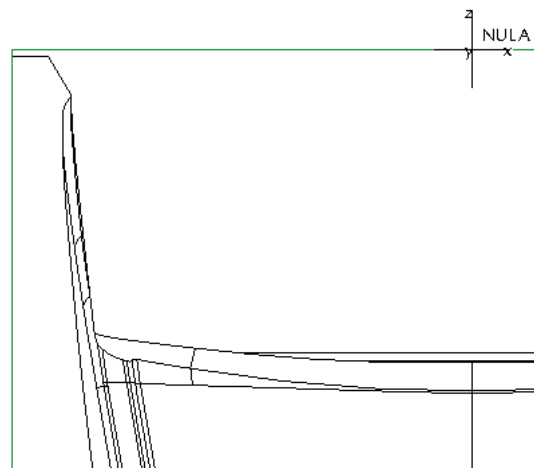
Stejně jako u 3-osého obrábění jsou nejprve obrobena všechny části tvaru, které je možné obrobit pomocí 3 os. U spodního dílu bylo třeba dokončit negativní část dělicí roviny (obr.32) a boky dutiny (obr.33). Společně s bokem dutiny byl obroben pod náklonem i zbytek tvaru v dutině.

V první operaci je nejdříve vyhrubován zbývající materiál z dělicí roviny pomocí objemového obrábění Volume milling čelní válcovou frézou o průměru 8 mm (obr.35). Následuje dokončení kulovou frézou průměr 8R4 v sekvenci Surface milling (obr.36). Protože je forma osově symetrická, programována je pouze jedna strana a druhá bude zrcadlena pomocí transformace na obráběcím stroji.

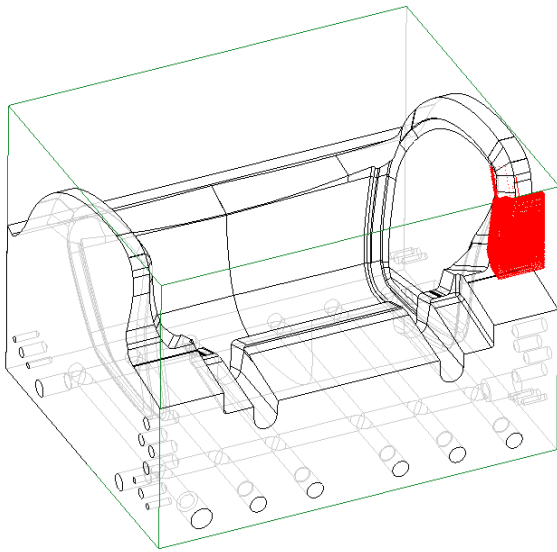
Ve druhé operaci je nejprve odebrán zbytkový materiál sekvencí Profile milling čelní válcovou frézou o průměru 8 mm (obr.37), následuje obrábění boku a dna dutiny načisto postupně několika sekvencemi Surface milling kulovou frézou průměr 8R4 (obr.38). Malé rádiusy jsou dokončeny kulovou frézou průměr 2R1 opět pomocí několika sekvencí Surface milling (obr.39). Nakonec je dokončena nejhůře dostupná část tvaru, zaoblení boku v horní části, kde bylo nutné největší vyklonění vřetene o  $68^\circ$ . Použita kulová fréza průměr 6R3 a sekvence Surface milling (obr.40). Opět je využito symetrie tvaru a možnosti zrcadlení programu na stroji.



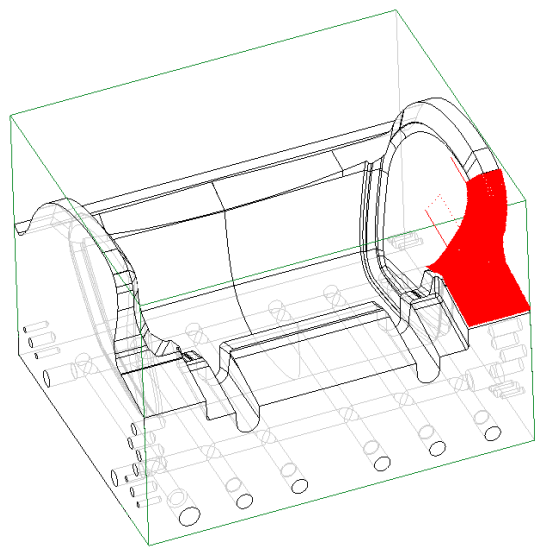
Obr. 33. Negativní část dělicí roviny  
spodního dílu



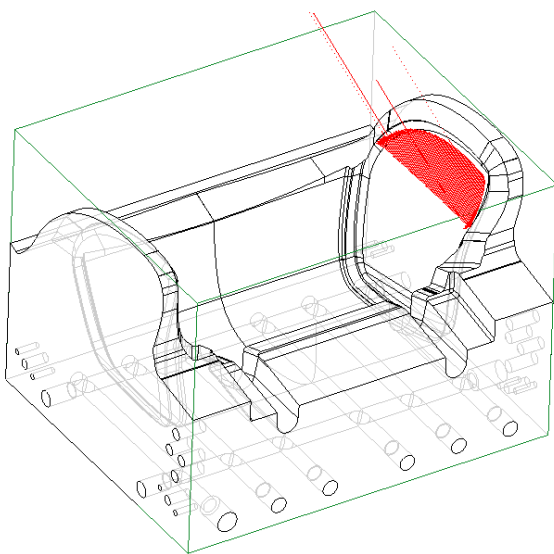
Obr. 34. Negativní část dutiny spodního  
dílu



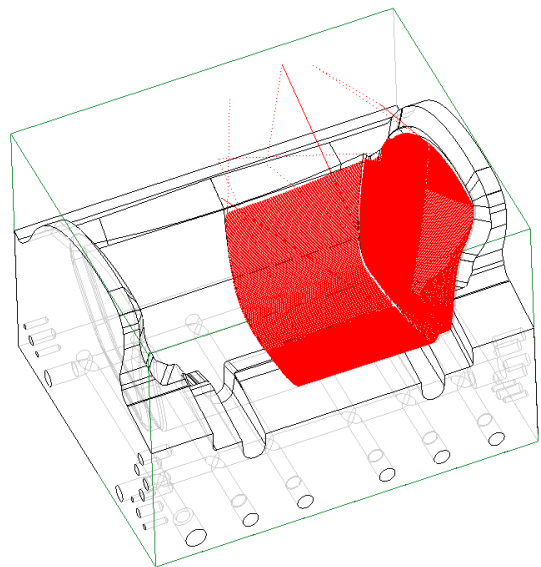
Obr. 35. Hrubování dělení Volume milling



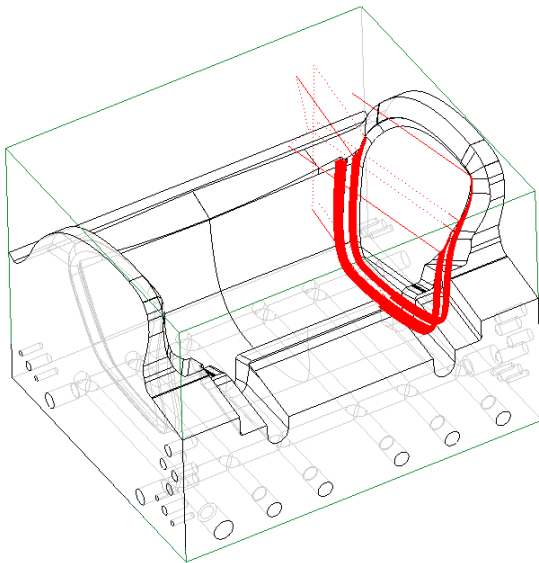
Obr. 36. Obrábění dělení načisto Surface milling



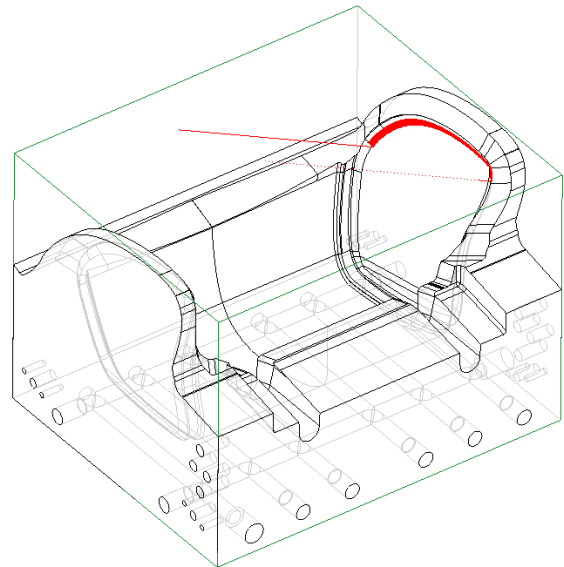
Obr. 37. Hrubování boku Profile milling



Obr. 38. Obrábění boku a dna dutiny načisto Surface milling



Obr. 39. Dokončení radiusů Surface milling



Obr. 40. Dokončení zaoblení boku Surface milling

Teoretický čas obrábění je 30 min pro první operaci a 70 min pro druhou operaci, celkem 200 min včetně zrcadlení. Obráběcí parametry, výpis sekvencí, nástrojů a dalších informací pro obsluhu jsou v tabulce 1.

Tabulka 1. Obráběcí parametry pro spodní díl

Operace	Sequence	Nástroj	Otáčky	Posuv	Z Max	Z Min	Program
03_3_2_0SY_NAKLON_1	VOL_HRUB1	D8	5000	1600	-96.3	51.543	Z_VAMI_3
	SRF_CIS	D8R4	3500	1800	-125.465	475	
	PREDHRUB	D8R4	3500	1800	-144.318	925	
	SRF_DOCIS	D3R1_5	6000	1000	-144.323	925	
Operace	Sequence	Nástroj	Otáčky	Posuv	Z Max	Z Min	Program
04_3_2_0SY_NAKLON_2	Classic Profile	D8	5000	1600	-77	71.54	Z_VAMI_4
	CTR_DUT_CIS1	D8R4	3500	1800	-190	49.006	
	CTR_DUT_CIS2	D8R4	3500	1800	-213.356	914	
	CTR_DUT_CIS3	D8R4	3500	1800	-190.373	427	
	CTR_DUT_CIS4	D8R4	3500	1800	-185.179	128	
	CTR_DUT_DOK1	D2R1	6000	1000	-190.758	767	
	CTR_DUT_DOK2	D2R1	6000	1000	-186.764	479	
	CTR_DUT_DOK3	D2R1	6000	1000	-184.550	889	
	CTR_DUT_DOK4	D2R1	6000	1000	-181	78.103	
	CTR_DUT_RAD	D6R3	3500	1800	-120.366	836	



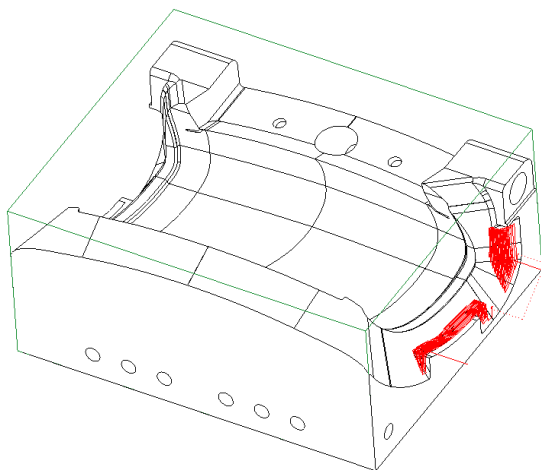
### 8.1.2 Programování horního dílu

Také u tohoto dílu jsou nejprve obrobena všechny části tvaru, které lze vyrobit pomocí 3-osého obrábění. Jedná se o vyhrubování dutiny a obrobení načisto horní části tvaru a části dutiny.

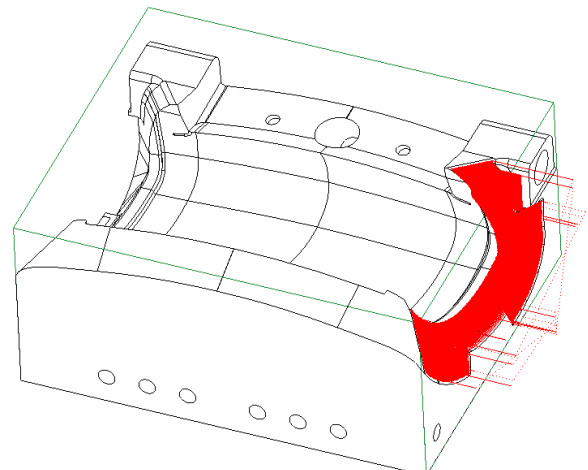
V první operaci je využito možnosti vyklonění vřetene o  $90^\circ$  a obrobení boků dílce s výstupky pro tzv. zámky formy. Nejprve je dohrubován zbytkový materiál čelní válcovou frézou o průměru 8 mm pomocí sekvence Volume milling (obr.41) a následně dokončení boční části dělicí roviny s výstupkem pro zámek kombinací několika sekvencí typu Surface milling a Profile milling kulovými frézami průměr 8R4 a 3R1,5 (obr.42). Stejným způsobem je obrobena i druhý bok, protože jsou symetrické.

Ve druhé operaci se vyrobí negativní část dutiny. Vyhrubování pomocí objemové sekvence Volume milling hrubovací frézou s vyměnitelnými destičkami průměr 20R1. Fréza od firmy Pokolm je určena pro obrábění neželezných kovů a plastů, destičky jsou leštěné. Tam, kde se tento nástroj nedostane, dohrubuje se zbytkový materiál opět objemovým obráběním Volume milling čelní válcovou frézou průměr 8mm (obr.43). Dokončení tvaru dutiny načisto sekvencí Surface milling kulovou frézou 12R6 (obr.44).

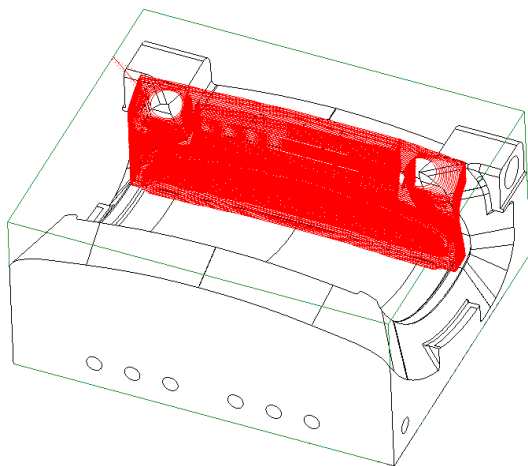
V poslední operaci jsou dokončeny malé radiusy na bocích dutiny postupně pomocí několika sekvencí Surface milling a kulových fréz průměr 6R3 a 2R1 (obr.45 a 46)



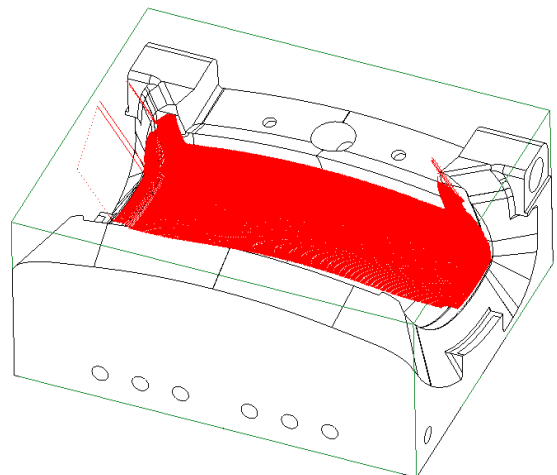
Obr. 41. Hrubování boku Volume milling



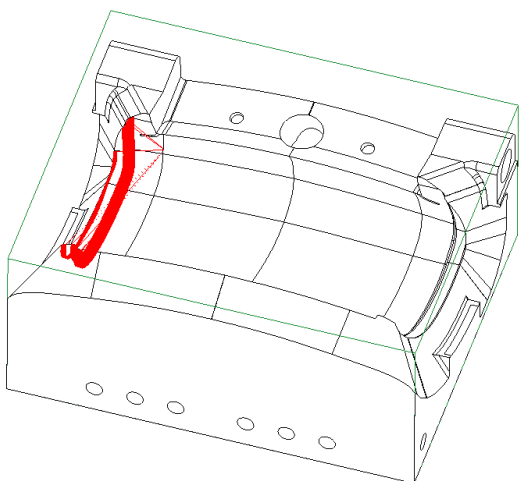
Obr. 42. Bok načisto Surface a Profile Milling



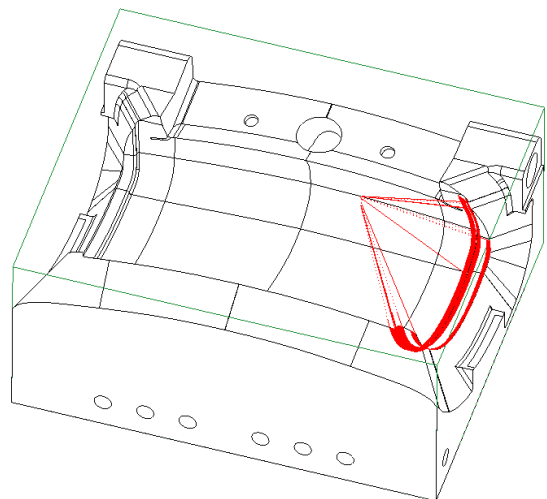
Obr. 43. Hrubování tvaru dutiny Volume milling



Obr. 44. Obrábění dutiny načisto Surface milling



Obr. 45. Dokončení prvního boku dutiny Surface milling



Obr. 46. Dokončení druhého boku dutiny Surface milling

Teoretické časy obrábění jsou 30 min pro boky, 60 min pro obrobění negativu dutiny a 35 min dokončení tvaru dutiny, celkem 155 min včetně zrcadlení. Obráběcí parametry, výpis sekvencí, nástrojů a dalších informací pro obsluhu jsou v tabulce 2.



Tabulka 2. Obráběcí parametry pro horní díl

Operace	Sequence	Nastroj	Otacky	Posuv	Z Max	Z Min	Program
03_BOK1	HRUB1	D8	4000	2500	-115	5-57.562	Z_VIMI_3
	Volume Milling	D8	4000	2500	-51	-21	
	CIS_BOK	D8R4	3500	2500	-62	-27	
	Classic Profile	D8R4	3500	2500	-117.5	-83.654	
	CIS1	D8R4	3500	2500	-119.6	-11.797	
	DOC1	D3R1	5500	2000	-117	5-86.12	
	DOCIS	D3R1	5500	1200	-120.8	-80.792	

Operace	Sequence	Nastroj	Otacky	Posuv	Z Max	Z Min	Program
04_BOK2	HRUB11	D8	4000	2500	-115	5-57.562	Z_VIMI_4
	Volume Milling	D8	4000	2500	-50.7	-21.3	
	CIS_BOK1	D8R4	3500	2500	-62	-27	
	Classic Profile	D8R4	3500	2500	-117.5	-83.646	
	Surface Milling	D8R4	3500	2500	-119.5	-11.882	
	DOC11	D3R1	5500	2000	-117.5	-86.024	
	Surface Milling	D3R1	5500	1200	-120.8	-77.853	

Operace	Sequence	Nastroj	Otacky	Posuv	Z Max	Z Min	Program
05_DUT	HRUB2	D20R1	5500	2800	-97.1	52.9	Z_VIMI_5
	DOHRUB1	D8	4000	2500	-97	32.258	
	CIS3	D12R6	3000	2500	-115.2	40.761	

Operace	Sequence	Nastroj	Otacky	Posuv	Z Max	Z Min	Program
06_5_OS_DOK	DOC6_1	D6R3	4500	1600	-93.9	35.491	Z_VIMI_6
	DOC6_2	D6R3	4500	1600	-93.9	35.492	
	DOC2_1	D2R1	5800	1200	-94.2	35.508	
	DOC2_2	D2R1	5800	1200	-94.2	34.382	
	DOC2_3	D2R1	5800	1200	-91.3	35.387	
	DOC2_4	D2R1	5800	1200	-94.2	35.468	
	DOC2_5	D2R1	5800	1200	-91.3	35.388	

### 8.1.3 Vytvoření NCL souborů, kontrola a postprocessing

Jakmile jsou jednotlivé operace a sekvence připraveny, mohou se vytvořit ncl soubory s obráběcími daty. Pomocí příkazu Output lze generovat data podle operací, sekvencí nebo uživatelsky nadefinovat výběr. V dalším kroku lze zadat, zda se vytvářený ncl soubor přímo převede příslušným postprocesorem pomocí zatržení volby MCD File. Tím je možné ušetřit jeden krok v postupu, ale data můžeme převést kdykoliv později. Následuje kontrola vytvořených dat na podřezání, neboli zajetí do materiálu dílce příkazem Gouge Check. Je

možná i grafická kontrola postupu obrábění Material Removal Simulation nebo vyspělejší integrovaným programem Vericut.

Zkontrolovaná data převedená postprocesorem se mohou zkopírovat na pevný disk stroje. Na obr. 47 je část obráběcích dat převedených postprocesorem pro systém Heidenhain iTCN 530.

```

; NAZEV MODELU: M_VIKO
; STROJ: DMU 80 + HEIDENHAIN ITNC530 (5-OSE SOUVISLE)
N1 G90 G40
N2 L98
N3 M126]
N4 ; OPERATION COMMENTS
N5 G30 G17 X-140 Y-115 Z-128
N6 G31 G90 X140 Y115 Z0
; SEZNAM NASTROJU V PROGRAMU
; NASTROJ T3 : D6R3
; NASTROJ T8 : D2R1
N7 ; OPERATION NAME : 06_5_OS_DOK
N8 ; NC SEQUENCE NAME : DOC6
N9 ; TOOL NAME : D6R3
N10 ; CUTTER DIAM : 6.000000
N11 T3 M6 G17
N12 L99
N13 S4500 M3
N14 M129
N15 G00 B-54.554 C-124.075 M8
N16 M128
N17 G00 X-62.836 Y-29.192 Z34.397
N18 G00 X-96.948 Y-79.623 Z-8.946
N19 G01 X-99.23 Y-82.997 Z-11.845 F200
N20 G01 X-99.395 Y-82.869 Z-13.073 B-53.887 C-124.246 F1600
N21 G01 X-99.656 Y-82.609 Z-14.963 B-52.864 C-124.542
N22 G01 X-99.926 Y-82.269 Z-16.884 B-51.827 C-124.883
N23 G01 X-100.205 Y-81.846 Z-18.838 B-50.774 C-125.271
N24 G01 X-100.498 Y-81.332 Z-20.84 B-49.699 C-125.713
N25 G01 X-100.792 Y-80.738 Z-22.842 B-48.624 C-126.199
N26 G01 X-101.082 Y-80.078 Z-24.805 B-47.572 C-126.719
N27 G01 X-101.371 Y-79.35 Z-26.745 B-46.533 C-127.278
N28 G01 X-101.649 Y-78.578 Z-28.618 B-45.53 C-127.86
N29 G01 X-101.909 Y-77.788 Z-30.381 B-44.587 C-128.447
N30 G01 X-102.161 Y-76.968 Z-32.082 B-43.678 C-129.052
N31 G01 X-102.417 Y-76.078 Z-33.807 B-42.757 C-129.707
N32 G01 X-102.675 Y-75.123 Z-35.546 B-41.831 C-130.411
N33 G01 X-102.936 Y-74.098 Z-37.303 B-40.897 C-131.17
N34 G01 X-103.202 Y-72.986 Z-39.102 B-39.944 C-131.997
N35 G01 X-103.471 Y-71.79 Z-40.931 B-38.978 C-132.894
N36 G01 X-103.736 Y-70.524 Z-42.767 B-38.012 C-133.853
N37 G01 X-103.994 Y-69.192 Z-44.605 B-37.048 C-134.871
N38 G01 X-104.246 Y-67.795 Z-46.44 B-36.092 C-135.955
N39 G01 X-104.489 Y-66.353 Z-48.25 B-35.154 C-137.092
N40 G01 X-104.726 Y-64.868 Z-50.036 B-34.238 C-138.287
N41 G01 X-104.955 Y-63.341 Z-51.796 B-33.344 C-139.54
N42 G01 X-105.03 Y-62.823 Z-52.378 B-33.051 C-139.971
N43 G01 X-105.091 Y-62.404 Z-52.843 B-32.818 C-140.324
N44 G01 X-105.35 Y-60.351 Z-55.048 B-31.714 C-142.063
N45 G01 X-105.602 Y-58.177 Z-57.265 B-30.624 C-143.962
N46 G01 X-105.847 Y-55.898 Z-59.479 B-29.561 C-146.022
N47 G01 X-106.086 Y-53.499 Z-61.697 B-28.525 C-148.268
N48 G01 X-106.273 Y-51.49 Z-63.469 B-27.721 C-150.21
N49 G01 X-106.451 Y-49.448 Z-65.194 B-26.961 C-152.241
N50 G01 X-106.617 Y-47.417 Z-66.834 B-26.262 C-154.318
N51 G01 X-106.77 Y-45.407 Z-68.387 B-25.625 C-156.427
N52 G01 X-106.912 Y-43.393 Z-69.871 B-25.038 C-158.591
N53 G01 X-107.043 Y-41.377 Z-71.289 B-24.503 C-160.806
N54 G01 X-107.162 Y-39.358 Z-72.642 B-24.017 C-163.068
N55 G01 X-107.292 Y-36.988 Z-74.146 B-23.511 C-165.776
N56 G01 X-107.404 Y-34.752 Z-75.488 B-23.096 C-168.375
N57 G01 X-107.517 Y-32.237 Z-76.912 B-22.699 C-171.34
N58 G01 X-107.613 Y-29.861 Z-78.183 B-22.389 C-174.171
N59 G01 X-107.696 Y-27.598 Z-79.331 B-22.152 C-176.883
N60 G01 X-107.771 Y-25.409 Z-80.383 B-21.976 C-179.51
N61 G01 X-107.838 Y-23.241 Z-81.367 B-21.853 C-182.105
N62 G01 X-107.901 Y-21.039 Z-82.314 B-21.776 C-184.727
N63 G01 X-107.977 Y-18.058 Z-83.517 B-21.748 C-188.233
N64 G01 X-108.042 Y-15.042 Z-84.653 B-21.802 C-191.711
N65 G01 X-108.099 Y-12.012 Z-85.717 B-21.935 C-195.111
N66 G01 X-108.147 Y-8.966 Z-86.714 B-22.142 C-198.419
N67 G01 X-108.188 Y-5.821 Z-87.672 B-22.426 C-201.703

```

Obr. 47. Ukázka NC kódu

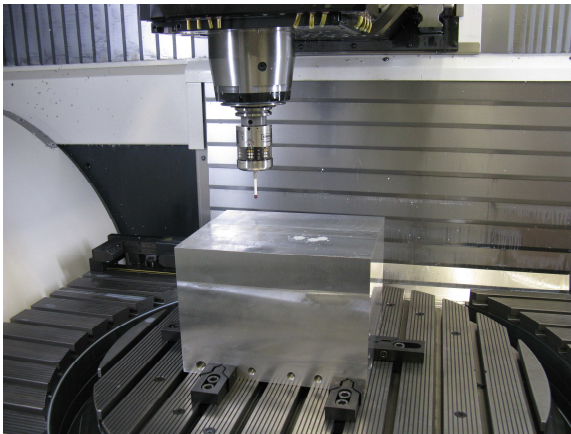
## 8.2 Vlastní výroba na stroji

K vlastní výrobě lze přistoupit, jakmile jsou připraveny polotovary na rozměry dle požadavku programátora. Příprava obvykle probíhá souběžně s tvorbou programů.

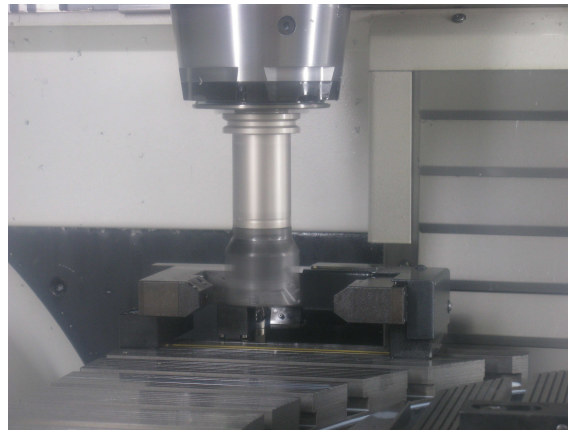
### 8.2.1 Výroba spodního dílu

Spodní díl byl upnut přímo na stůl stroje a upevněn rozpěrnými upínkami v drážkách stolu. Nejdříve je třeba najet tzv. nulový bod polotovaru, shodný se souřadným systémem definovaným v CAM software. Ten ve většině případů volíme ve středu a na povrchu polotovaru. K najetí slouží najížděcí sonda, v tomto případě je to Renishaw PP60 optical (obr.48).

Dále je třeba najet všechny nástroje použité v programu. K tomu slouží příslušenství stroje Blum Laser umístěné v rohu stolu stroje (obr.49).

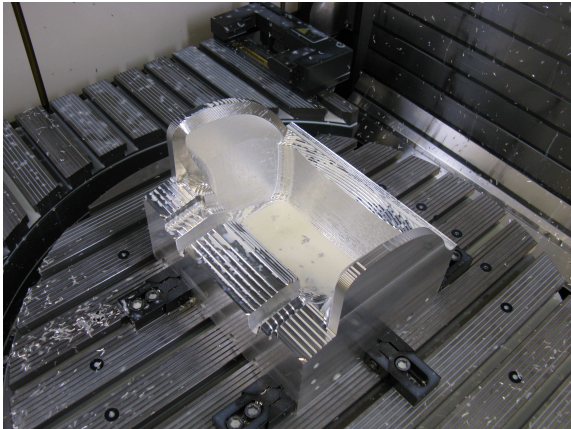


Obr. 48. Upnutí a najetí spodního dílu

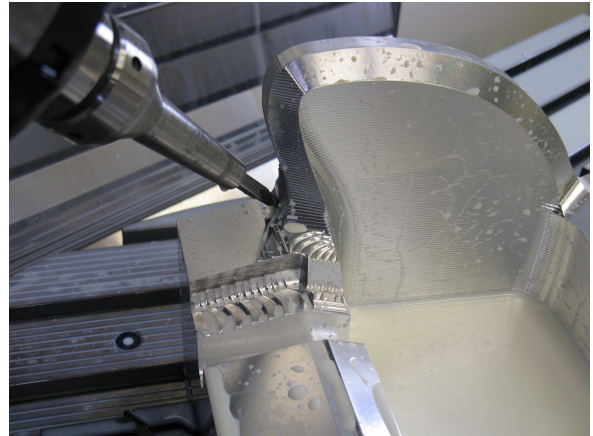


Obr. 49. Najetí nástroje

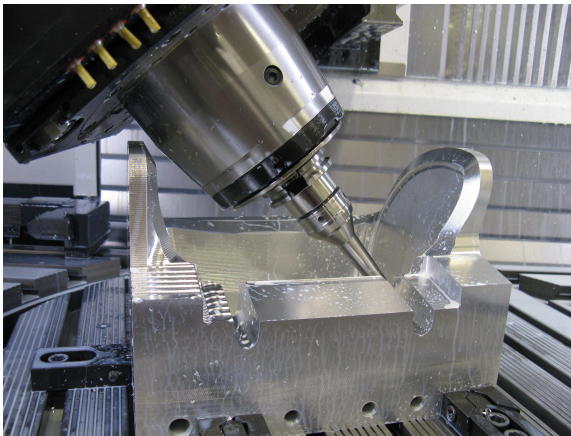
Postupným pouštěním všech programů je nejprve vyhrubován tvar (obr.50) a následuje dokončení tvarových částí pomocí naklonění vřetene a otáčení stolu, vnější část tvaru (obr.51) a dutina formy (obr.52 a 53).



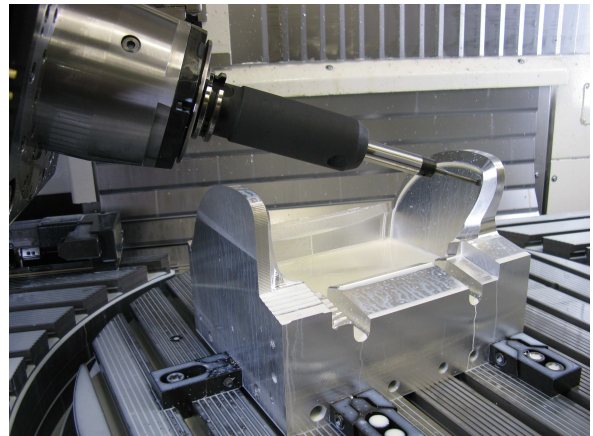
Obr. 50. Vyhrubovaná dutina spodního dílu



Obr. 51. Dokončení vnější části tvaru



Obr. 52. Obrábění dutiny



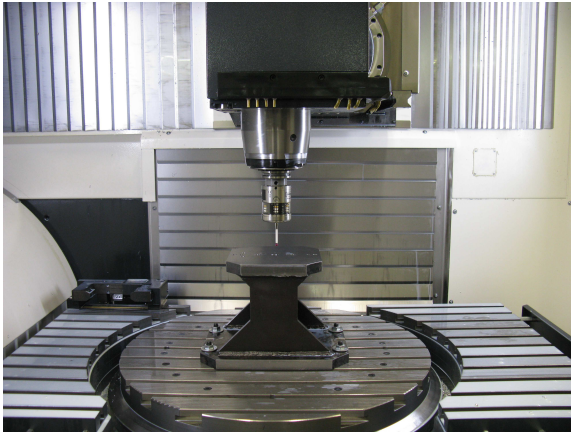
Obr. 53. Dokončení tvaru dutiny

### 8.2.2 Výroba horního dílu

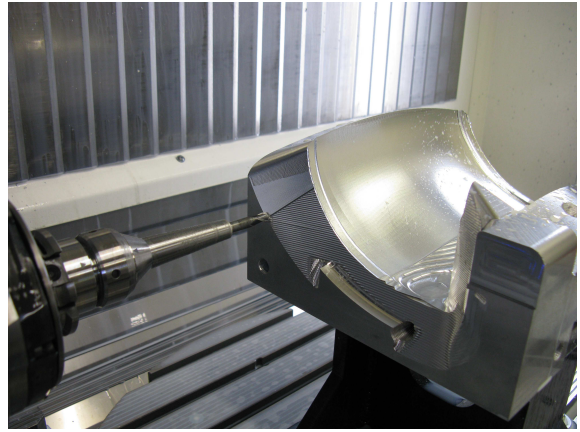
Horní díl byl z důvodu obrábění boků upnut na přípravek. Ten se najíždí obdobným způsobem jako dílec s využitím kalibrického otvoru ve středu přípravku (obr.54).

Opět se nejprve obrobil tvar pomocí 3-osého obrábění a následovaly operace obrobení boků (obr.55), negativní části dutiny (obr.56) a dokončení rádiusů v dutině (obr.57).

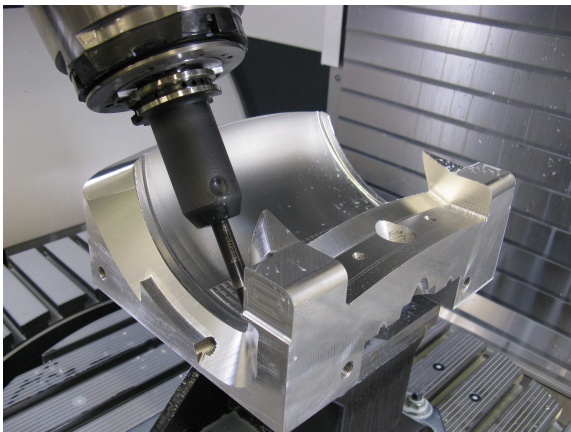




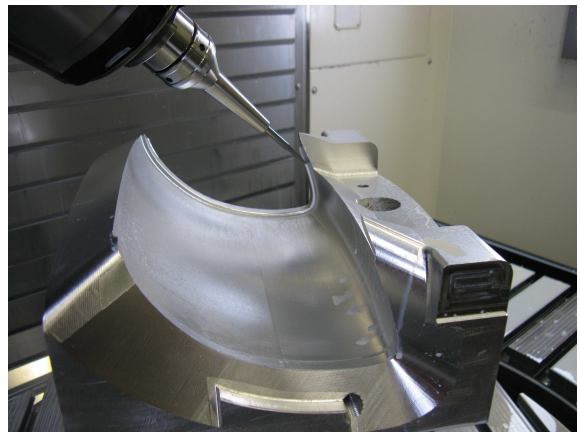
Obr. 54. Najetí přípravku



Obr. 55. Obrábění boku



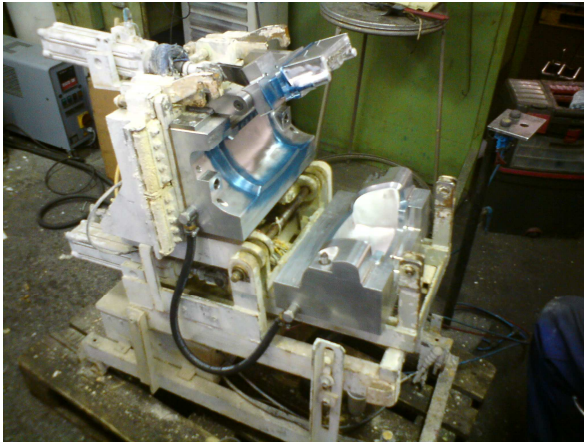
Obr. 56. Obrábění dutiny



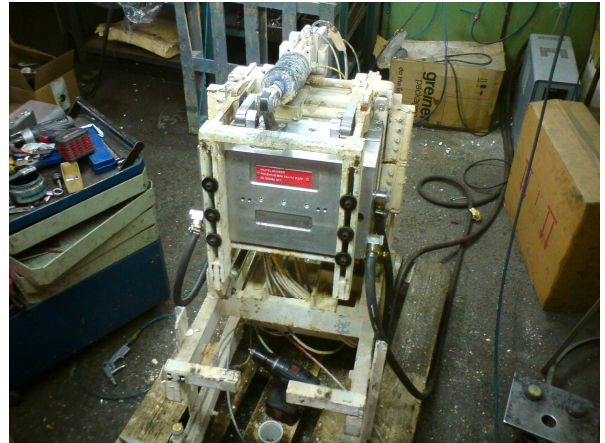
Obr. 57. Dokončení boků dutiny

### 8.3 Dokončení formy – kompletace a spasování

Jednotlivé části formy je třeba zkompletovat, tj. osadit vodící čepy, pouzdra, panty, pneu-válce, příslušenství pro temperaci apod. Pak se jednotlivé díly namontují do nosiče formy a ručně dopasují tak, aby lícovaly. Na obr.58 je vidět pasování tzv. na barvu, kdy se zavře-ním formy kontroluje přesnost otiskem na protidíl. Kvalita a přesnost obrobení tvarových částí má výrazný vliv na čas potřebný pro dokončení formy. Na obr.59 je kompletní forma v nosiči.



Obr. 58. Spasování formy na barvu



Obr. 59. Kompletní forma v nosiči

## ZÁVĚR

Bakalářská práce se zabývá srovnáním výroby tvarových částí forem na 3-osém obráběcím stroji s otočným výklopným stolem a 5-osém obráběcím stroji. Využití 5-osého stroje splnilo předpoklady zrychlení a zkvalitnění výroby. Výrazně se zkrátily nebo zcela eliminovaly vedlejší časy přepínání dílců, přestavování otočného stolku, opakované najíždění a kontrola přesnosti napojení tvarů.

U spodního dílu byl výrobní čas negativních částí dílce zkrácen z původních 320 min na 200 min, tedy o 37,5%. U horního dílu došlo ke zkrácení výrobního času z 235 min na 155 min, což je 34% úspora.

Další důležitá vlastnost je výrazné zlepšení kvality obrobeného povrchu, která je daná vysokou tuhostí a přesností obráběcího stroje. To snižuje náročnost a čas na ruční dokončení a spasování jednotlivých částí formy.

Montáž do nosiče a následné spasování bylo u této formy zkráceno z původních 18 hodin na 15 hodin, což představuje časovou úsporu 17%.

**SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY**

- [1] KOCMAN, K.: *Technologické procesy obrábění*, Akademické nakladatelství CERM, s.r.o., 2011, 332 s., ISBN 978-80-7204-722-2.
- [2] AB SANDVIK COROMANT - SANDVIK CZ s.r.o.: *Technická příručka - soustružení, frézování, vrtání, vyvrtávání, upínání nástrojů*, 2010, 802 s.
- [3] SADÍLEK, M.: *CAM systémy v obrábění I*, VŠB – TU Ostrava, 2008, 145 s., ISBN 978-80-248-0980-9.
- [4] KELLER, P.: *Programování a řízení CNC strojů - Prezentace přednášek-2.část* [online]. Liberec: Katedra výrobních systémů, FS, 2005. Skripta elektronická. Dostupné z [www:< http://www.kvs.tul.cz/prognc>](http://www.kvs.tul.cz/prognc)
- [5] PETERKA, J., JANÁČ, A.: *CAD/CAM systémy*, STU Bratislava, 2002, 63 s., ISBN 80-227-1685-5
- [6] ČÍHAL, M.: *Aplikace CAD/CAM při tvorbě řídicích programů pro CNC stroje*, Diplomová práce, FT UTB Zlín, 2009
- [7] Aveng.cz. [www.aveng.cz](http://www.aveng.cz) [online]. [cit. 2012-02-05]. Dostupné z: <http://www.aveng.cz/technologie/proengineer.aspx>
- [8] Cad.cz. [www.cad.cz](http://www.cad.cz) [online]. [cit. 2012-02-05]. Dostupné z: <http://www.cad.cz/strojirenstvi/38-strojirenstvi/1564-catia-v5-cam-s-kterym-obrobite-i-drevo.html>
- [9] Surfcam - 3E Praha Engineering. [www.3epraha.cz](http://www.3epraha.cz) [online]. [cit. 2012-02-05]. Dostupné z: <http://www.3epraha.cz/surfcam>
- [10] AXIOM TECH. [www.axiomtech.cz](http://www.axiomtech.cz) [online]. [cit. 2012-02-05]. Dostupné z: <http://www.axiomtech.cz/page/68126.nx-cam/>
- [11] Nexnet a.s. - Edgecam. [www.edgecamcz.cz](http://www.edgecamcz.cz) [online]. [cit. 2012-02-05]. Dostupné z: <http://www.edgecamcz.cz/produkty-edgecam/edgecam-produkty/prehled>
- [12] WorkNC CAM. [www.semaco.cz](http://www.semaco.cz) [online]. [cit. 2012-02-05]. Dostupné z: <http://www.semaco.cz/cz/rubriky/software-pro-nastrojarny/cad-cam/worknc-cam/>



- [13] HUMÁR, A.: *Technologie I - Technologie obrábění - I. část. Studijní opory*. VUT-FSI v Brně, ÚST, Odbor technologie obrábění. 2003. [online]. [cit. 2012-02-06]. Dostupné z: [http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/opory-save/TI\\_TO-1cast.pdf](http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/opory-save/TI_TO-1cast.pdf).
- [14] HUMÁR, A.: *Materiály pro řezné nástroje. Interaktivní multimediální text pro všechny studijní programy FSI*. VUT-FSI v Brně, ÚST, Odbor technologie obrábění. 2006, 192 s.
- [15] DMG | DECKEL MAHO | GILDEMEISTER - DMU: *CNC universal milling machines* [online]. [cit. 2012-02-11]. Dostupné z: <http://cz.dmg.com/en,milling,dmu>
- [16] TSUDAKOMA: *Machine Tool Attachments* [online]. [cit. 2012-02-12]. Dostupné z: <http://www.tsudakoma.co.jp/mta/english/index.html>

**SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK**

- CAD Computer Aided Design.
- CAM Computer Aided Manufacturing.
- CAE Computer Aided Engineering.
- CNC Computer Numerical Control.
- NC Numerical Control.
- $D_c$  Vnější průměr nástroje.
- RO Rychlořezná ocel.
- SK Slinuté karbidy.
- CBN Polykrystalický nitrid bóru.
- PKD Polykrystalický diamant.

**SEZNAM OBRÁZKŮ**

Obr. 1. Čelní frézování [2].....	13
Obr. 2. Válcové frézování (do rohu) [2] .....	14
Obr. 3. Tvarové frézování [2] .....	15
Obr. 4. Rotační frézování [2].....	16
Obr. 5. Frézování kotoučovými frézami [2] .....	16
Obr. 6. Frézování stopkovými frézami [2].....	17
Obr. 7. Frézování závitů [2].....	17
Obr. 8. Lineární zahlubování [2].....	18
Obr. 9. Frézování kruhovou interpolací [2] .....	19
Obr. 10. Zahlubování šroubovicovou interpolací [2].....	19
Obr. 11. Ponorné frézování [2] .....	20
Obr. 12. Zavrtávací frézování [2] .....	21
Obr. 13. Trochoidální frézování [2].....	22
Obr. 14. Frézování uzavřené dutiny [2] .....	22
Obr. 15. Srážení hran [2] .....	23
Obr. 16. Sousedné frézování [2] .....	24
Obr. 17. Nesousedné frézování [2] .....	25
Obr. 18. Postup výroby součásti pomocí CAD/CAM [4].....	26
Obr. 19. Soustružnické CNC obráběcí centrum [13].....	35
Obr. 20. Horizontální frézovací centrum [13] .....	36
Obr. 21. Vertikální frézovací centrum [13] .....	37
Obr. 22. Univerzální frézovací centrum DMU 80 monoBLOCK [15].....	37
Obr. 23. Otočný stůl RC-300 Tsudakoma [16].....	39
Obr. 24. Výklopný stůl THNC-251 Tsudakoma [16] .....	39
Obr. 25. Univerzální dělicí přístroj DU400A [13].....	40
Obr. 26. Frézy s vyměnitelnými břitovými destičkami [2].....	43
Obr. 27. Monolitní frézy [2] .....	43
Obr. 28. Otočně výklopný stůl TSK-250 .....	51
Obr. 29. 3D model otočně výklopného stolu TSK-250 .....	52
Obr. 30. Sestava stolku TSK-250 a obráběného dílu.....	53
Obr. 31. Výroba tvaru pomocí otočně výklopného stolku TSK-250 .....	54

Obr. 32. Definice souřadného systému pro 5-ti osé obrábění.....	55
Obr. 33. Negativní část dělicí roviny spodního dílu .....	56
Obr. 34. Negativní část dutiny spodního dílu .....	56
Obr. 35. Hrubování dělení Volume milling.....	57
Obr. 36. Obrábění dělení načisto .....	57
Obr. 37. Hrubování boku Profile milling.....	57
Obr. 38. Obrábění boku a dna dutiny načisto Surface milling.....	57
Obr. 39. Dokončení radiusů Surface milling .....	58
Obr. 40. Dokončení zaoblení boku Surface milling .....	58
Obr. 41. Hrubování boku Volume milling.....	59
Obr. 42. Bok načisto Surface a Profile Milling .....	59
Obr. 43. Hrubování tvaru dutiny Volume milling .....	60
Obr. 44. Obrábění dutiny načisto Surface milling .....	60
Obr. 45. Dokončení prvního boku dutiny Surface milling .....	60
Obr. 46. Dokončení druhého boku dutiny Surface milling.....	60
Obr. 47. Ukázka NC kódu .....	62
Obr. 48. Upnutí a najetí spodního dílu.....	63
Obr. 49. Najetí nástroje.....	63
Obr. 50. Vyhrubovaná dutina spodního dílu.....	64
Obr. 51. Dokončení vnější části tvaru.....	64
Obr. 52. Obrábění dutiny .....	64
Obr. 53. Dokončení tvaru dutiny .....	64
Obr. 54. Najetí přípravku .....	65
Obr. 55. Obrábění boku .....	65
Obr. 56. Obrábění dutiny .....	65
Obr. 57. Dokončení boků dutiny.....	65
Obr. 58. Spasování formy na barvu .....	66
Obr. 59. Kompletní forma v nosiči .....	66

**SEZNAM TABULEK**

Tabulka 1. Obráběcí parametry pro spodní díl .....	58
Tabulka 2. Obráběcí parametry pro horní díl.....	61

## SEZNAM PŘÍLOH

**P I.**                    CD ROM