

Česká zemědělská univerzita v Praze

Technická fakulta

Katedra materiálu a strojírenské technologie



## **Porovnání možností programování CNC strojů**

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

*Vedoucí práce:* Ing. Petr Hrabě, Ph.D.

*Autor práce:* **Ondřej Kliment**

Praha 2016

# ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Katedra materiálu a strojírenské technologie

Technická fakulta

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Ondřej Kliment

Inženýrství údržby

Název práce

**Porovnání možností programování CNC strojů**

Název anglicky

**Comparison of possibilities of CNC machines programming**

---

### Cíle práce

Shromáždit literární poznatky o CNC obráběcích strojích. Možnosti programování CNC obráběcích strojů.

### Metodika

- současný stav řešeného problému (literární rešerše),
- závěry a přínos práce.

## Doporučený rozsah práce

cca 30 stran

## Klíčová slova

CNC stroje, obrábění, řezný čas

---

## Doporučené zdroje informací

Byrne, P.: Turning, milling and grinding processes. London : Arnold, 1996. 122 s.

Časopisy: Manufacturing technology, MM průmyslové spektrum, Strojárstvo – Strojírenství, Strojírenská technologie, Technický týdeník, Technik.

Doyle, L. E.: Manufacturing processes and materials for engineers. Englewood Cliffs : Prentice-Hall, 1961. 797 s.

Firemní literatura: katalogy, prospekty, prezentace.

Hlásek, P.: Technologická cvičení : Výrobní postupy pro NC stroje. Praha : Nakladatelství techn. lit., 1990. 44 s.

Jacobs, H. J., Jacob, E., Kochan, D.: Optimizacija rezanija : Parametrizacija sposobov obrabotki rezanijem s ispolzovanijem tehnologičeskoj optimizacii. Moskva : Mašinostrojenije, 1981. 278 s.

Kalpakjian, S.: Manufacturing processes for engineering materials. 3. ed. Menlo Park : Addison-Wesley Publishing Company, 1997. 950 s.

Mádl, J.: Optimalizace řezných podmínek v teorii obrábění. Praha : Ediční střed. Čes. vys. uč. techn., 1988. 58 s.

Modern metal cutting: A practical handbook. Sandviken: Sandvik Coromant, 1994.

Smith, G. T.: CNC machining technology. London : Springer-Verlag, 1993. 434 s.

Urbánek, J.: Automatizace výrobních procesů obrábění. Brno : Ediční středisko Vysokého učení technického, 1990. 165 s.

---

## Předběžný termín obhajoby

2015/05 (květen)

## Vedoucí práce

Bc. Ing. Petr Hrabě, Ph.D.

---

Elektronicky schváleno dne 4. 7. 2014

**doc. Ing. Miroslav Müller, Ph.D.**

Vedoucí katedry

---

Elektronicky schváleno dne 30. 3. 2015

**prof. Ing. Vladimír Jurča, CSc.**

Děkan

V Praze dne 18. 10. 2015

**Čestné prohlášení:**

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma „*Porovnání možností programování CNC strojů*“ vypracoval samostatně a použil jen pramenů, které cituji a uvádím v seznamu použitých zdrojů. Jsem si vědom, že odevzdáním bakalářské práce souhlasím s jejím zveřejněním dle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů, ve znění pozdějších předpisů, a to i bez ohledu na výsledek její obhajoby. Jsem si vědom, že moje bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitní databázi a bude veřejně přístupná k nahlédnutí. Uvědomuji si, že se na moji bakalářskou práci plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů, ve znění pozdějších předpisů, především ustanovení § 35 odst. 3 tohoto zákona, tj. o užití tohoto díla.

V Praze dne 7. dubna 2016

.....

***Poděkování:***

Rád bych poděkoval vedoucímu bakalářské práce **Ing. Petru Hraběti, Ph.D.** za cenné rady a poznatky, které mi pomohly k vypracování této bakalářské práce. Rovněž bych rád poděkoval řediteli společnosti 3E Praha Engineering, a.s., **Ing. Josefu Malému** za poskytnutí softwaru Surfcam 2016 R1 a v neposlední řadě svým rodičům za velikou morální i finanční podporu po celou dobu mého studia.

**Abstrakt:** Cílem práce je porovnat a charakterizovat odlišné metody a strategie obrábění, které jsou využívány u CNC obráběcích strojů, konkrétně na CNC frézkách a obráběcích centrech. V teoretické části je definován CNC stroj a jeho jednotlivé typy. Dále je popsána konstrukce CNC tříosé frézky, struktura programu a možnosti programování. V praktické části jsou analyzovány strategie frézování, které jsou prakticky aplikovány na modelu strojní součásti pro závodní monopost Formula Student (FSAE). Tato část rovněž porovnává dvě metody obrábění a vyhodnocuje efektivnější, která vede ke zkrácení řezného času, minimalizaci plného zatížení nástroje a v neposlední řadě předchází poškození nástroje i stroje.

**Klíčová slova:** CNC stroje, obrábění, řezný čas

## **Comparison od possibilities of CNC machines programming**

**Summary:** The aim of this work is to characterize and compare the different methods and machining strategies that are used in CNC machine tools, specifically on CNC milling machines and machining centers. The theoretical part is defined by the CNC machine and its various types. It is also described the construction of a three-axis CNC milling machine, program structure and programming options. In the practical part are analyzed milling strategies that are practically applied to a model machine components for racing monopost Formula Student (FSAE). This section also compares the two methods of machining and evaluates effective, which leads to a reduction of the cutting time, minimizing the full load tool and ultimately prevents damage to the tool and machine.

**Keywords:** CNC machines, machining, cutting time

## **Obsah:**

<b>1. Úvod.....</b>	<b>1</b>
<b>2. Cíl práce a metodika.....</b>	<b>2</b>
2.1 Cíl práce .....	2
2.2 Metodika.....	2
<b>3. CNC stroje .....</b>	<b>3</b>
3.1 CNC stroje - charakteristika.....	3
3.1.1 Základní rozdělení CNC obráběcích strojů.....	3
3.1.2 Souřadnicový systém stroje.....	5
3.1.3 Obrábění 1D až 5D .....	6
3.1.4 Provozní režimy CNC obráběcích strojů.....	7
3.2 Popis CNC obráběcího stroje .....	9
3.2.1 Schéma elektronického řízení CNC obráběcího stroje .....	9
3.2.2 Popis hlavních částí CNC frézky .....	10
3.2.3 Vztažná soustava bodů stroj – nástroj – obrobek.....	12
<b>4. Řídicí program CNC strojů.....</b>	<b>14</b>
4.1 Absolutní a přírůstkové programování.....	15
4.2 Struktura programu .....	17
<b>5. Možnosti programování CNC obráběcích strojů.....</b>	<b>19</b>
5.1 Ruční programování .....	20
5.1.1 Ruční programování v ISO kódu .....	20
5.1.2 Ruční programování v interaktivním prostředí.....	21

5.1.3	Sestavení výrobního postupu z ovládacího pultu stroje .....	22
5.2	Strojní programování .....	23
5.2.1	PC softwaru pro strojní programování .....	23
5.2.2	Postup při strojním programování .....	25
<b>6.</b>	<b>Praktická část.....</b>	<b>30</b>
6.1	Tradiční technologie obrábění .....	31
6.1.1	Technologický postup při tradičním obrábění .....	31
6.1.2	Výsledný řezný čas při tradičním obrábění .....	32
6.2	Technologie HSC obrábění (TrueMill) .....	33
6.2.1	Technologický postup při obrábění metodou TrueMill .....	33
6.2.2	Výsledný řezný čas při HSC (TrueMill) obrábění .....	34
<b>7.</b>	<b>Závěr .....</b>	<b>35</b>
<b>8.</b>	<b>Seznam literatury .....</b>	<b>36</b>
<b>9.</b>	<b>Seznam obrázků .....</b>	<b>37</b>
<b>10.</b>	<b>Seznam tabulek.....</b>	<b>38</b>
<b>11.</b>	<b>Přílohy .....</b>	<b>39</b>



# 1. Úvod

Výroba v průmyslovém a strojním odvětví je v současnosti z velké části závislá na použití výpočetní techniky, zejména při procesu samotného návrhu strojní součásti, ale také v oblasti samotné výroby. Jsou kladeny veliké nároky na produktivitu výroby, kvalitu a přesnost daného výrobku a v neposlední řadě také na maximální využití strojního času stroje, na kterém samotná výroba probíhá. V minulosti se k jednodušším výrobním operacím využívaly především konvenční stroje a většina složitějších strojních součástí se vyráběla jinými technologiemi. Kvalita a přesnost výrobku byla z velké části závislá na zkušenostech obsluhy stroje a míra produktivity byla nízká.

Na počátku 50. let, s nástupem prvních programovatelných strojů, které označujeme jako NC stroje, bylo možné začít vyrábět rychleji, přesněji a spolehlivěji. Tyto stroje již nebyly manuálně řízeny obsluhou, ale jednotlivé operace zajišťoval program, který byl vyznačen na děrném štítku nebo děrné pásce. V této podobě se NC stroje prosadily zejména ve výrobě složitějších součástí a při větších výrobních sériích. Prostoje v seřizování a výrobě byly zmenšeny a tím docházelo ke zvýšení produktivity, tedy i zvýšení využití strojního času. To mělo za následek snižování nákladů a zvyšování zisku. Nicméně tyto stroje byly většinou jednoúčelové a nebyla zde možnost okamžité změnit, nebo upravit program při výrobě.

Po roce 1970 se začaly ve velkém rozšiřovat CNC stroje, které byly již plně řízeny počítačem a jejich velikou výhodou byla jejich univerzálnost a zejména možnost úpravy programu přímo ve stroji. Programování bylo díky počítači mnohem snadnější a nástup CAD/CAM softwaru otevřel nové možnosti i strategie v třískovém obrábění s efektivním využitím řezného času.

## **2. Cíl práce a metodika**

### **2.1 Cíl práce**

Cílem bakalářské práce je shromáždit literární poznatky o CNC strojích, možnostech jejich programování s primárním zaměřením na technologii obrábění pro tříosou CNC frézku a také porovnání dvou metod strojního programování s ohledem na maximální využití řezného (strojního) času a zamezení zvýšeného opotřebení břitu nástroje.

### **2.2 Metodika**

Na základě rozboru odborné tuzemské literatury a ostatních zdrojů informací bude zpracována rešerše na dané téma. Podrobně bude popsána teoretická podstata CNC obráběcích strojů, jejich programování a vlivy různých technologií na zkrácení řezného času. Součástí práce je i návrh a porovnání dvou technologií obrábění pro CNC obráběcí stroje.

## **3. CNC stroje**

### **3.1 CNC stroje - charakteristika**

*CNC (Computer Numeric Control)*, tedy počítačem řízené výrobní stroje, jsou charakteristické tím, že ovládání pracovních funkcí stroje je prováděno řídicím systémem pomocí vytvořeného programu. Informace o požadovaných činnostech jsou zapsány v programu pomocí alfanumerických znaků. Vlastní program je dán posloupností oddělených skupin znaků, které se nazývají bloky nebo věty. Program je určen pro řízení silových prvků stroje a zaručuje správný průběh požadované výroby součástí. [1]

Výhodou těchto strojů je jejich „pružnost“, lze je tedy v krátkém čase přizpůsobit jiné výrobě. Pracují v automatizačním cyklu, který je zajištěn číslicovým řízením pomocí průmyslového počítače. Stroje CNC se uplatňují ve všech oblastech strojírenské výroby (obráběcí, tvářecí, montážní, měřicí) a jejich typickými představiteli jsou číslicově řízené soustruhy a frézky. [1]

#### **3.1.1 Základní rozdělení CNC obráběcích strojů**

##### **CNC frézovací stroje - frézky**

Frézovací stroje patří k nejrozšířenějším a nejvýkonnějším obráběcím strojům. Jsou určeny převážně pro obrábění rovinných ploch a zakřivených ploch ale i děr, drážek, závitů, zubů ozubených kol apod. Ve většině případů koná hlavní řezný pohyb nástroj a vedlejší pracovní pohyb obrobek. [1]

Princip frézování je založen na využití vícebřitého nástroje (frézy), kde jednotlivé břity (zuby) vnikají při obrábění do záběru postupně a opět záběr opouštějí. Z toho vyplývá neustálá cyklická proměnlivost výsledné řezné síly nebo momentu na nástroj. Tento poznatek potvrzuje základní požadavek na statickou a dynamickou tuhost všech částí CNC frézky jako je rám a jednotlivé pohony. [2]

Frézovací stroje umožňují mimo frézování i další operace třískového obrábění (vrtání, řezání závitů, vystružování) a mohou být doplněny zásobníkem nástrojů

(hvězdicovým, kruhovým, řetězovým, centrálním, nebo plošným) a zásobníkem palet s jejich automatickou výměnou. Má-li stroj tyto výše uvedené charakteristiky, hovoříme o *obráběcím centru*. [3]

### **CNC soustružnické stroje – soustruhy**

Soustružnické stroje představují nejrozšířenější typ obráběcích strojů určených pro výrobu součástí rotačního tvaru. Je pro ně charakteristický hlavní rotační pohyb, který koná obrobek. Vedlejší pracovní pohyb koná nástroj. Lze obrábět vnější i vnitřní válcové a kuželové plochy, čelní rovinné plochy, řezat závit, vrtat, vystružovat ale i brousit. [1]

Nástrojem je nejčastěji soustružnický nůž s geometricky definovaným břitem. Ten je přesně uložen v pohyblivé části stroje (nožové hlavě), která se pohybuje v podélném směru (rovnoběžně s osou rotace obrobku) a příčném směru (kolmo na osu rotace obrobku). Na přesnosti uložení rotující činné části soustruhu (vřetena a sklíčidla), její tuhosti, tvarové přesnosti a statické tuhosti jejího uložení zásadně závisí přesnost výroby. [2]

### **CNC vyvrtávací stroje – vyvrtávačky**

Vyvrtávací stroje tvoří významnou skupinu obráběcích strojů určených jak na výkonné, tak i přesné obrábění čelních ploch, středně velkých otvorů a velkých otvorů. S rostoucím vývojem je možné na těchto strojích provádět i zjednodušené operace soustružení, zejména pak u velkých obrobků. [1]

Nástroj (nejčastěji vyvrtávací hlava) koná hlavní rotační řezný pohyb ale i vedlejší přímočarý posuvný pohyb ve třech osách. Obrobek je umístěn na otočném pracovním stole a umožňuje pouze rotační pohyb okolo svislé osy. Finální kinematika pohybů os proto závisí na zvolené koncepci stroje, zejména na velikosti pracovního prostoru a hmotnosti obrobku. [2]

### **CNC brousící stroje – brusky**

Brousící stroje spadají do rozsáhlé skupiny strojů pracujících s geometricky nedefinovaným břitem. Můžeme sem zařadit také stroje honovací a lapovací. [2]

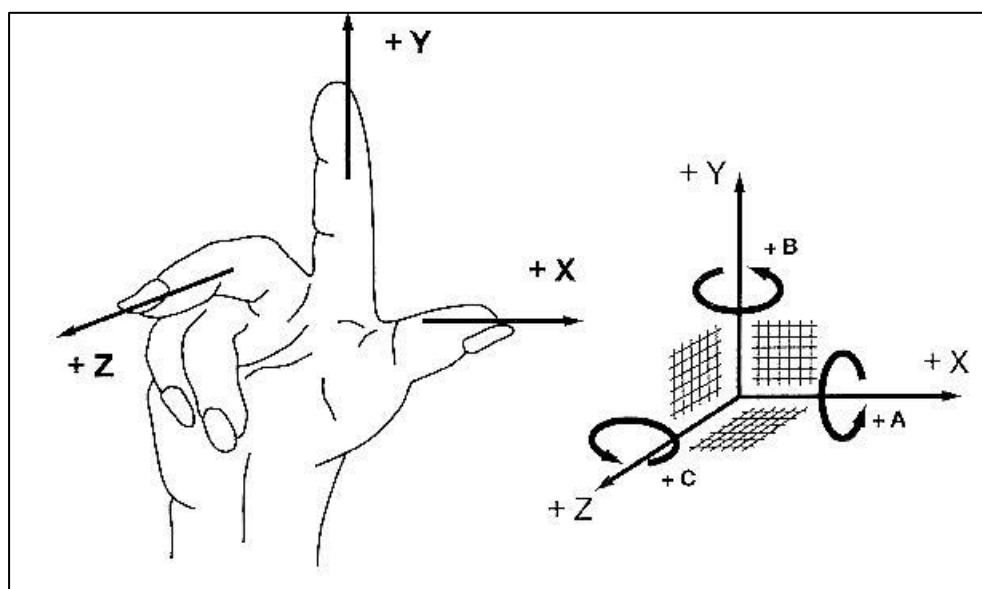
Používají se převážně při dokončovacích operacích, kde je kladen velký důraz na přesnost požadovaného tvaru (např. kruhovitost pod 0,2  $\mu\text{m}$ ) a jakost obrobené plochy, které nemůže být docíleno jinou technologií třískového obrábění. [3]

Nástrojem je ve většině případů brusný kotouč s různými typy zrn a pojiv, který koná hlavní rotační řezný pohyb. Přímočarý posuvný pohyb buď vykonává obrobek vůči stroji, nebo nástroj vůči obrobku. [2]

### 3.1.2 Souřadnicový systém stroje

*Souřadnicový systém* (tzv. kartézský) je tříosová soustava pravoúhlých souřadnic, které se označují písmeny X, Y, a Z. Tento systém se vzhledem ke stroji vždy orientuje tak, aby jeho souřadné osy byly rovnoběžné s vodíci plochami stroje. Tak jsou určeny souřadnice pohybujícího se nástroje vzhledem k obrobku, přičemž kladný smysl pohybu způsobuje narůstání rozměru obrobku. [4]

Základní rotační pohyby kolem normálních os X, Y, a Z se označují velkými písmeny postupně A, B, a C. Kladný smysl těchto pohybů je shodný se směrem a smykem posuvu pravotočivých šroubů v kladných osách X, Y, a Z. [4]



Obr. 1: Definování kartézské soustavy souřadnic a pravotočivé soustavy [1]

### **3.1.3 Obrábění 1D až 5D**

Jedním z ukazatelů konstrukční vspělosti CNC stroje (nebo obráběcího centra) je počet os souřadnicového systému, které mohou být při obrábění současně v pohybu. [1]

#### **Jednoosé obráběcí stroje – 1D**

Tyto stroje se vyznačují jednoduchou konstrukcí z hlediska vykonávání pouze jednoho řízeného pohybu. Příkladem mohou být jednoúčelové vrtací stroje, kde dochází pouze k řízenému vertikálnímu pohybu – po ose Z. [1]

#### **Dvouosé obráběcí stroje – 2D**

Dvouosé obráběcí stroje se vyznačují současným řízením obou os, tedy osy X a Y. Tento systém řízení nachází nejčastěji uplatnění u soustruhů, jednoduchých frézek ale také u vyřezávacích strojů, kde je použita technologie řezání pomocí vodního paprsku, laseru a plasmy. [1]

#### **Dvou a půlosé obráběcí stroje – 2,5D**

Tyto stroje jsou na pomezí obrábění 2D a 3D. Při frézování dochází nejprve k najetí na hloubku třísky (osa Z) a následně k obrábění ve dvou rovinách (v osách X a Y). [1]

#### **Tříosé obráběcí stroje – 3D**

U těchto strojů dochází k řízení všech tří os (X, Y, Z) současně. Osa nástroje (frézy) je orientována kolmo na roviny X a Y. Při hrubovacím cyklu dochází k řízení 2,5D, tedy najetí na hloubku třísky a následný pohyb v osách X a Y. Pouze při frézování načisto, kde se obrábějí rozmanité prostorové tvary, jsou všechny tři osy řízeny současně. Při frézování kulovou frézou však bohužel dochází k odebírání třísky středem nástroje s řeznou rychlostí blízkou nule. Obrábění je tak méně efektivní, protože odebíraný materiál se v místě středu nástroje neodřezává, ale pěchuje. [1]

## **Čtyřosé obráběcí stroje – 4D**

Stroje s možností současného pohybu čtyř os (X, Y, Z a A) se v podstatě nijak zásadně neliší od strojů 3D. Jsou pouze doplněny o čtvrtou přídatnou osu. Ta bývá nejčastěji konstrukčně řešena pomocí sklíčidla, které se otáčí okolo osy X. [1]

## **Pětiosé obráběcí stroje – 5D**

Nezávislé řízení pěti os může být řešeno několika možnými způsoby. [1]

- Posuvy os X, Y, Z a přídatným kolébkovým otočným stolem, kde se obrobek naklápí podél osy A nebo B, ale může se otáčet i kolem osy C.
- Použitím výkyvné frézovací hlavy (vřetena) ve dvou osách A a B. Tyto možnosti ovládní všech pěti os eliminují neduhy při frézování kulovou frézou u strojů 3D. Ostří kulové frézy je nakloněno a střed nástroje není v záběru.

### **3.1.4 Provozní režimy CNC obráběcích strojů**

Při programování a obsluze CNC obráběcího stroje je možné rozlišit několik druhů provozních režimů stroje nebo jeho řídicího systému. Tyto režimy lze nastavit a vyvolat přímo na ovládacím panelu příslušnými tlačítky. V této podkapitole jsou uvedeny základní režimy, které obsahuje většina CNC obráběcích strojů. Přesné názvy a technické specifikace jsou závislé na konkrétním typu stroje a výrobci. Pro příklad jsou uvedeny funkce CNC frézky Style BT-1500. [1, 5]

#### **Režim AUTO (automatické ovládní stroje)**

Při volbě režimu AUTO, nebo-li režimu plynulého chodu, se program spustí ovládacím tlačítkem „START“ a postupně se načítá z paměti stroje. Při výrobním cyklu se stroj řídí načteným řídicím programem (G - kódem) a čte jednotlivé bloky popořadě od začátku až po konec programu. V případě, že se objeví chybové hlášení při samotném procesu spouštění, program se nespustí a je nutné ho opravit, a to buď pomocí diagnostického režimu, nebo ručně. V případě vážné nehody je

možné zastavit pracovní proces stroje tlačítkem „CENTRAL-STOP“ po jehož stisknutí se okamžitě zastaví všechny pohyby stroje i bez dokončení aktuálního bloku. [1, 5]

### **Režim MANUAL (ruční provoz)**

Ruční režim umožňuje řízení základních pracovních funkcí stroje prostřednictvím ručního ovládání, nebo směrových tlačítek na ovládacím panelu. Pohyb trvá tedy jen po dobu stisku tlačítka. Po ručním nastavení rychloposuvu a následném stisknutí příslušného směrového tlačítka se posuvový mechanismus pohybuje rychloposuvem pro urychlení manipulace. Dle potřeby je tedy možné ručně ovládat jednotlivé pojezdy stroje, výměnu nástrojů, velikost otáček apod. Na obrazovce se zobrazují aktuální hodnoty souřadnic všech tří os. Tato funkce je nejčastěji využívána pro jednoduché operace, např. úpravy rozměrů polotovaru, vrtání, definování nulového bodu obrobku pomocí měřicí sondy, nebo také v případech, kde není potřeba vytvářet složitější program. [1, 5]

### **Režim B-B (Blok po Bloku)**

Stroj je v „poloautomatickém“ režimu, kdy se po stisknutí tlačítka „START“ a přečtení jednoho bloku zastaví a po opakovaném spuštění obsluhou (opět pomocí tlačítka „START“) čte a zpracovává další blok. Takto lze přehrávat celý program až do jeho konce. Režim je primárně určen pro simulaci obrábění a ke kontrole správnosti CNC programu. [1, 5]

### **Režim TOOL MEMORY (paměť nástrojových dat)**

Tento režim umožňuje nastavovat a ukládat podrobná data o jednotlivých nástrojích, včetně délkových a radiusových korekcí. U většiny systémů lze vyčíst i informace o časovém vytížení konkrétního nástroje z hlediska jeho opotřebení, které nutně vede k jeho nahrazení za nový. Toho je často využíváno při obrábění velkých sérií, kde může mít degradace nástrojů vliv na přesnost a kvalitu výroby. [1]

### **Režim EDITACE (úprava programu)**

Úprava nesprávného bloku je nedílnou součástí pro bezproblémový chod celého programu a následného výrobního procesu. V režimu EDITACE se analyticky kontroluje, zda byl zvolený program sestaven správně, přičemž není nutné uvádět



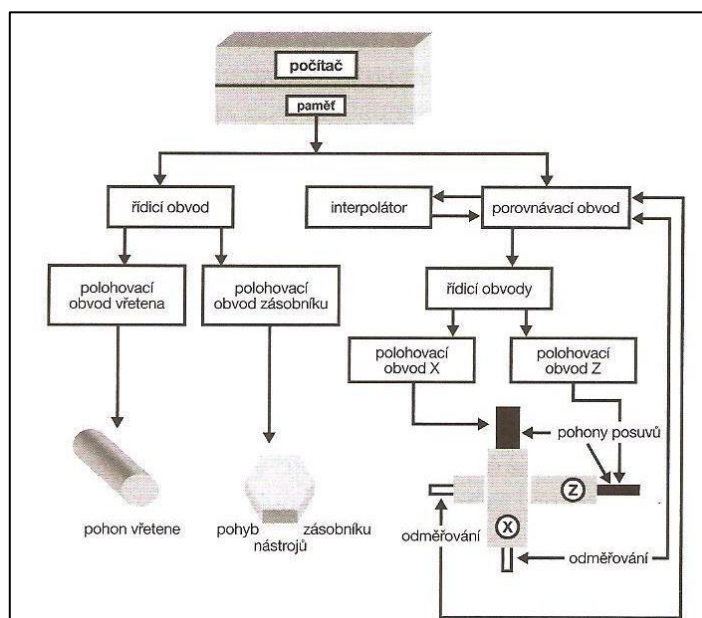
pracovní části stroje do chodu (nepohybují se osy ani vřetena). Testování vlastního programu je prováděno před každým startem, a pokud systém objeví chybu, test se okamžitě zastaví. Chyba se nachází v bloku, při kterém došlo k zastavení, nebo bezprostředně před ním. Současně se na obrazovce objeví chybové hlášení, které specifikuje charakter chyby. Lze tak odhalit následující chyby:

- překročení rozsahů pojezdů stroje,
- překročení rozsahu otáček vřetena,
- překročení hodnot posuvů a rychloposuvů,
- nelogické zadání parametrů (např. zdvojené zadání osy).

## 3.2 Popis CNC obráběcího stroje

V této kapitole jsou vysvětleny a znázorněny hlavní části CNC obráběcích strojů. Jsou zde popsány základní principy a schémata elektronického řízení, hlavní komponenty stroje a jeho vztažné souřadnicové body (pracovní body stroje).

### 3.2.1 Schéma elektronického řízení CNC obráběcího stroje



Obr. 2: Zjednodušené schéma CNC obráběcího stroje [1]

**Počítač** – Jedná se o průmyslový počítač s nahraným řídicím systémem, který je součástí stroje. Uživatelské rozhraní je dáno obrazovkou, ovládacím panelem a ovladačem ručního ovládání. Pomocí ovládacího panelu lze provádět potřebné

příkazy nutné při ruční obsluze, pro seřizování CNC obráběcího stroje a pro práce v dalších režimech stroje, také ale umožňuje pomocí příslušného softwaru řídicího systému vytvářet požadovaný CNC program. [1]

**Porovnávací obvod** – Stroj je vybaven zpětnou vazbou, která přenáší informace o dosažených geometrických hodnotách posuvů v souřadných osách, v jednotlivých bodech dráhy pohybu. Tyto souřadnice se porovnávají s hodnotami, které jsou zadány programem. Pokud je zjištěn rozdíl, pohony posuvů dostanou povel k dosažení požadovaných hodnot souřadnic. [1]

**Řídicí obvody** – V těchto obvodech se logické signály převádějí na silnoproudé elektrické signály, kterými se přímo ovládají jednotlivé části stroje (motory včetně a posuvů, ventily atd.). [1]

**Interpolátor** – Řeší dráhu nástroje, která je zadaná geometrií, a výpočty délkových i rádiusových korekcí nástroje. Zaručuje geometrickou přesnost a správnost výrobku. [1]

### 3.2.2 Popis hlavních částí CNC frézky

Tato podkapitola popisuje hlavní komponenty tříosé CNC frézky, na jejíž programování je bakalářská práce zaměřena. Konkrétně je na obrázku 3 vyobrazena tříosá CNC frézka BT-1500 od nizozemského výrobce Style. [1, 2, 4]

Hlavním nosným a montážním prvkem celé frézky je *rám (1)*. Na jeho tuhosti, odolnosti proti opotřebení vodících ploch a dynamické stabilitě závisí v převážné míře přesnost obrábění. Rám se dále skládá z lože, stojanu, příčnicku a pomocných prvků (sloupů a konzol). Uspořádání a konstrukce těchto komponentů rámu musí zajistit bezpečnost proti trvalé deformaci a zlomení, statickou a dynamickou tuhost celku, trvalou přesnost a tepelnou stabilitu.

O přívod elektrické energie a silové řízení stroje se stará *rozvodová skříň (2)*, v níž se nacházejí frekvenční měniče pro ovládání lineárních servomotorů, průmyslový počítač a ostatní elektronika. Rozvodová skříň je od zbytku stroje tepelně

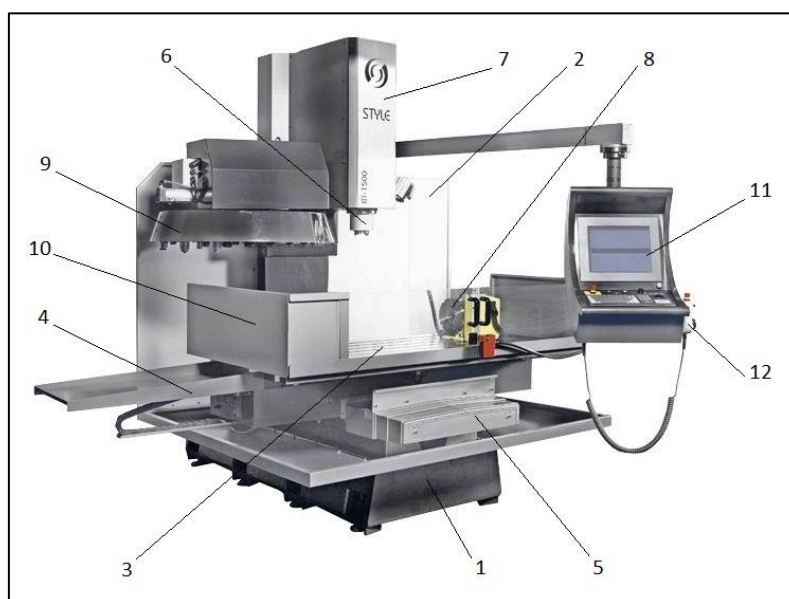
izolována, aby nedocházelo k přestupu vzniklého tepla do ostatních částí stroje a nebyla tak ovlivněna výrobní přesnost.

*Pracovní stůl (3)* s T-drážkami je posuvný ve dvou osách, a to v podélném směru – ose X (4) a příčném směru – ose Y (5). *Vřeteník (6)* je umístěn na svislé ose Z (7) spolu s vřetenem stroje. Některé tříosé frézky mohou být doplněny o dodatečnou čtvrtou osu A (8), která umožňuje dodatečné otáčení obrobku okolo osy X.

*Zásobník nástrojů (9)*, v tomto případě kruhový, slouží k bezpečnému uložení nástrojů a zajištění nástrojových jednotek v blízkosti pracovního prostoru. Výhodou konstrukce kruhového zásobníku je jednoduchost a menší stavební rozměry. Kapacita zásobníku se pohybuje v rozmezí 20 až 40 míst. U větších frézek a obráběcích center, kde jsou použity vysokokapacitní řetězové zásobníky, se kapacita pohybuje v rozmezí 50 až 200 nástrojů.

*Ochranné kryty (10)* chrání obsluhu a okolí stroje proti odletujícím třískám, odstříku chladicí kapaliny a pohybujícím se částem stroje. V případě nehody chrání i před úlomky nástroje nebo obrobku. Čelní posuvné dveře umožňují přístup do pracovního prostoru a musí mít průzorová okna z bezpečnostního materiálu.

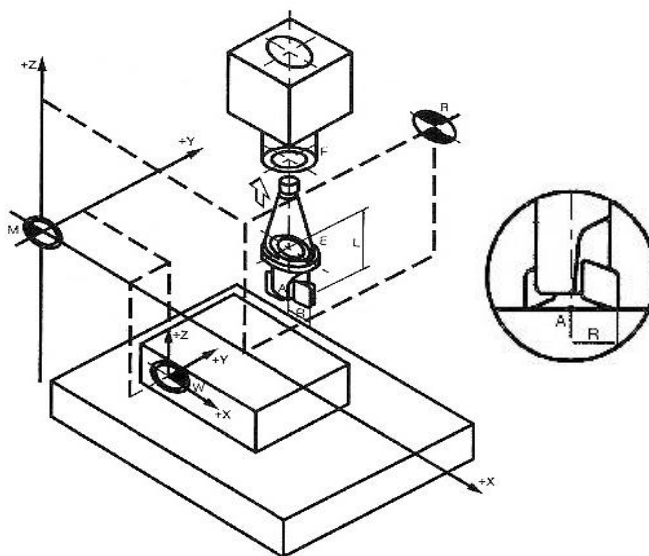
*Ovládací panel (11)* se skládá z monitoru, klávesnice, signalizačních prvků a datového rozhraní. Panel je umístěn na otočném rameni, pro umožnění manipulace celého uživatelského rozhraní i s *přístrojem ručního ovládání (12)*.



Obr. 3: CNC frézka Style BT-1500 [autor]

### 3.2.3 Vztažná soustava bodů stroj – nástroj – obrobek

Při každém spuštění CNC stroje a jeho systému dochází automaticky k aktivaci souřadnicového systému. Souřadnicový systém musí mít vždy přesně stanovený počátek, který se nazývá *nulový bod*. Tento bod je definován jak pro stroj, tak pro nástroje a obrobek (obr. 4). [1, 4, 6]



Obr. 4: Vztažná soustava bodů stroj – nástroj – obrobek [1]

#### Nulový bod stroje – M

Stanovuje se v závislosti na výrobci daného stroje. Slouží jako výchozí bod pro všechny ostatní souřadnicové systémy a vztažné body na stroji. U CNC frézek se zpravidla nachází v místě krajní polohy pracovního stolu v obou osách (X a Y), tedy z pohledu obsluhy vlevo vpředu.

#### Nulový bod nástroje – A

V případě frézování se jedná o bod na středu čela frézy. Dráha tohoto nulového bodu se nazývá *dráha nástroje* a je to tedy bod, jehož pohyb řídí jednotlivé bloky programu. Pomocí tohoto bodu se rovněž stanovuje tzv. *délková korekce nástroje – L*, která udává vzdálenost nulového bodu nástroje (v ose Z) od *vztažného bodu vřetene – F*. Velikost této korekce se stanovuje při kalibraci každého nástroje, který bude použit při výrobním procesu (např. frézy, vrtáky, závitníky a výstružníky).

### **Nulový bod obrobku – W**

Umístění nulového bodu obrobku určuje programátor v závislosti na použitém řídicím systému stroje a technologickém postupu výroby. Lze ho nadefinovat za pomoci buď přírůstkového, nebo absolutního zadání z nulového bodu stroje. Výhodou této metody je rychlá automatizace výrobního procesu u velkosériové výroby, kdy se nulový bod nadefinuje k určité části přípravku a odpadá tak nutnost jeho měření u každého nového polotovaru. Nulový bod lze určit také za pomoci 3D dotykových sond. Měření s 3D sondou řídí obsluha většinou manuálně, tedy postupným odměřením všech tří os polotovaru a následným zápisem pozic nulového bodu obrobku  $X=0,000$ ;  $Y=0,000$  a  $Z=0,000$ .

### **Referenční bod stroje – R**

Tento bod je stanoven z výroby a realizován pomocí koncových spínačů na pohyblivých osách. Spolu s *nulovým bodem stroje – M* tvoří jednou ze základních veličin stroje. Vzdálenost mezi oběma body je výrobcem přesně odměřena a uložena v řídicí paměti stroje jako strojní konstanta. Kvůli přírůstkovému odměřování polohy je nutné, aby stroj po každém zapnutí dokázal „rozpoznat“ svou současnou polohu. Toho docílí posuvem všech pracovních os (X, Y a Z) na koncové spínače, čímž dokáže spolehlivě určit i polohu nulového bodu stroje.

### **Vztažný bod vřetene – F**

Pro automatickou výměnu nástroje ze zásobníku je nutné, aby řídicí systém CNC stroje (v tomto případě frézky) rozpoznal polohu vřetena vůči zásobníku nástrojů. K tomu slouží *vztažný bod vřetene*, který je umístěn na čele vřetene a v ose jeho rotace. K tomuto bodu se také vztahuje délková korekce nástroje – L, tedy poloha *nulového bodu nástroje – A*.

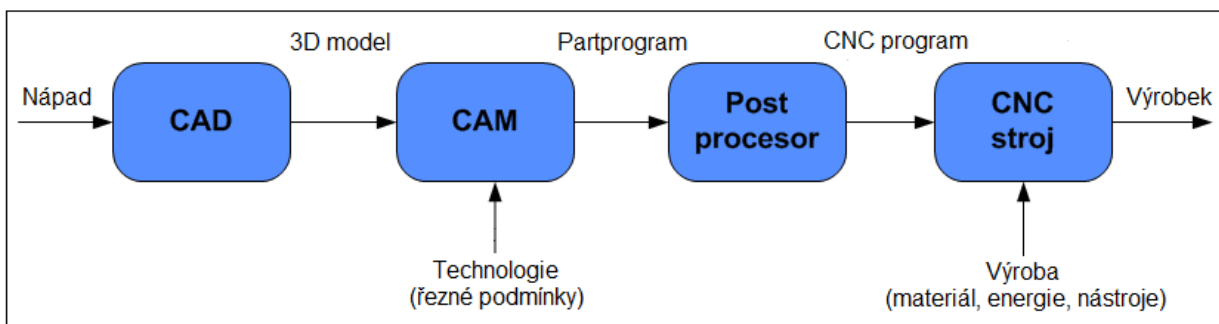
### **Bod nastavení nástroje – E**

Tento bod určuje polohu držáku nástroje (upínacího kužele), který se při upnutí do vřetena stroje ztotožňuje se *vztažným bodem vřetene – F*. Využívá se také pro měření délkové korekce nástroje – L za předpokladu, že není nastavována a odměřována přímo ve stroji, ale na jiném měřicím zařízení.

## 4. Řídicí program CNC strojů

Programování je definováno jako souhrn všech činností programátora, potřebných k sestavení a vyhotovení technologicky správného řídicího programu (partprogramu) pro následné obrábění strojní součást na CNC stroji. Přenos programu do paměti systému stroje se provádí ručně (ruční programování) z řídicího panelu systému, nebo načtením do paměti stroje z externího zdroje dat (strojní programování). V závislosti na použité metodě programování jsou vstupními hodnotami technická dokumentace s technologickými údaji, nebo prostorový 3D model strojní součásti vymodelovaný pomocí CAD softwaru. [1, 6, 7]

Pro strojní programování se celý *postup návrhu a výroby strojní součásti* (obr. 5) skládá z dílčích částí a pro efektivní využití času musí být dodrženo jejich následné pořadí. Každá z částí bude podrobněji vysvětlena v dalších podkapitolách.



Obr. 5: Postup návrhu a výroby strojní součásti [autor]

Výrobní proces u CNC obráběcích strojů probíhá na vysokém stupni automatizace. Jeho řízení a samotná realizace probíhá z převážné části bez účasti člověka, který stroj pouze kontroluje, organizuje a v případě potřeby na něj i dohlíží. Je proto nezbytné, aby byl CNC stroj řízen pomocí detailního plánu, který obsahuje všechny geometrické, technologické a pomocné informace. [6]

Všechny tyto informace, uspořádané ve vhodném pořadí a formě, vytvářejí tzv. *řídicí program*. Řídicí program stroje komunikuje s řídicím systémem stroje a jednotlivé informace v programu převádí na signály ovládající akční členy CNC stroje, jako jsou motory posuvů, vřetena a další. [6]

Informace obsažené v programu mají následující charakteristiky:

**Geometrické** – Popisují přesné dráhy nástroje v kartézském souřadnicovém systému, které jsou závislé na geometrickém tvaru obráběné strojní součásti (obrobku). U frézování obsahují geometrické informace hodnoty posuvů všech pracovních os (X, Y a Z), jejichž počátek je v nulovém bodu obrobku – W. Je tedy možné vyčíst z těchto informací např. nájezd nástroje do obrobku, nebo odjezd od něj. [1]

**Technologické** – Definují technologické parametry obrábění z hlediska řezných podmínek (např. otáčky, posuvy, řeznou rychlost, případně hloubku třísky). Jednotlivé parametry jsou v programu uváděny bez jednotek. [1]

**Pomocné (doplňkové)** – Jedná se o dodatečné povely pro stroj, které jsou definovány pomocí příkazů dle normy ČSN ISO 6983. Příkladem těchto informací je levotočivá a pravotočivá orientace otáček vřetene (CCW / CW) nebo přívod chladicí kapaliny či vzduchu. [1]

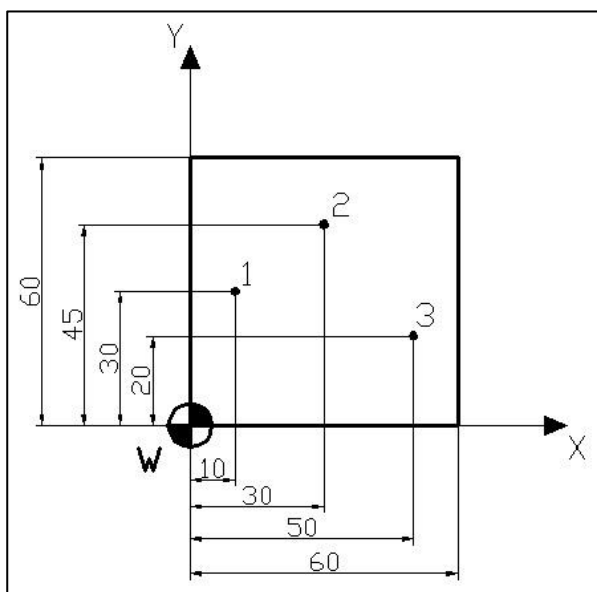
## 4.1 Absolutní a přírůstkové programování

Tato podkapitola popisuje absolutní a přírůstkovou metodu programování a na praktickém příkladu (obr. 6) je znázorněno, jak každá z uvedených metod pracuje se souřadnicovým systémem. [1, 2, 6].

**Absolutní programování** – Program popisuje jednotlivé body v souřadnicích, které odpovídají vzdálenosti od počátku souřadnicového bodu (nulového bodu obrobku – W). V současné době je tato metoda využívána nejvíce převážně pro okamžitou orientaci a dobrou přehlednost ve struktuře programu.

**Přírůstkové programování** – Souřadnice prvního bodu je závislá na počátku souřadnicové soustavy (nulového bodu obrobku – W). Další, v pořadí následující bod je vzdálen od bodu prvního o přírůstek vzdálenosti dráhy (v obou osách X a Y). Je tedy zřejmé, že tato metoda postupně postupuje po všech bodech a souřadnice jednotlivých bodů jsou na sobě navzájem závislé.

Na následujícím příkladu jsou aplikovány obě metody, které definují pozice po sobě následujících bodů 1, 2 a 3. Počátek souřadnicového systému je v nulovém bodě obrobku –  $W$  ( $X = 0,000$ ;  $Y = 0,000$ ).



Obr. 6: Absolutní a přírůstkové programování – příklad [autor]

#### Absolutní programování:

Bod číslo:	Souřadnice X	Souřadnice Y
1	10 [mm]	30 [mm]
2	30 [mm]	45 [mm]
3	50 [mm]	20 [mm]

Tab. 1: Absolutní programování

#### Přírůstkové programování:

Bod číslo:	Souřadnice X	Souřadnice Y
1	10 [mm]	30 [mm]
2	20 [mm]	15 [mm]
3	20 [mm]	- 25 [mm]

Tab. 2: Přírůstkové programování



## 4.2 Struktura programu

V následující podkapitole je popsána struktura řídicího programu a jeho jednotlivých prvků. Tabulka 3 obsahuje příklad jednoduchého CNC programu pro frézování ve třech osách. [1, 6, 7, 8]

Základní informační jednotkou řídicího programu, nesoucí údaje o geometrii a technologii obrábění pro jeden operační úsek, je blok (věta). Bloky se skládají ze slov a každé slovo je uvedeno adresou, za níž následuje několikamístné číslo, případně i znaménko. Na začátku programu je vždy před prvním blokem (větou) uveden znak %, za kterým se nachází číslo programu. Před tímto znakem lze v hlavičce zapisovat potřebné informace a poznámky, které CNC stroj nebude při následném obrábění zpracovávat. Poznámky je možné zapisovat i v samotném programu pomocí funkce G29, nebo je uvádět k jednotlivým blokům do kulaté závorky.

### Příklad CNC programu pro frézování (absolutní adresování):

<b>%13</b>	← začátek programu číslo 13
<b>N01 G90</b>	← absolutní programování
<b>N02 M06 T1</b>	← výměna nástroje (nástroj číslo 1)
<b>N03 G00 X0,000 Y0,000 Z20,000</b>	← lineární interpolace (rychloposuv)
<b>N04 M03 S800</b>	← start otáček vřetena ( $800 \text{ min}^{-1}$ )
<b>N05 M08</b>	← zapnutí přívodu chladicí kapaliny
<b>N06 G00 X20,000 Y20,000 Z20,000</b>	← lineární interpolace (rychloposuv)
<b>N07 G01 X20,000 Y20,000 Z-5,000 F100</b>	← lineární interpolace (posuv)
<b>N08 G01 X40,000 Y40,000 Z-5,000 F200</b>	← lineární interpolace (posuv)
<b>N09 G01 X40,000 Y40,000 Z1,000 F200</b>	← lineární interpolace (posuv)
<b>N10 G00 X40,000 Y40,000 Z20,000</b>	← lineární interpolace (posuv)
<b>N11 G00 X0,000 Y0,000 Z20,000</b>	← lineární interpolace (rychloposuv)
<b>N12 M09</b>	← vypnutí přívodu chladicí kapaliny
<b>N13 M05</b>	← vypnutí otáček vřetena
<b>N14 M30</b>	← konec programu

Tab. 3: CNC programu pro frézování - příklad

Z předchozího příkladu CNC programu (tab. 3) je vybrán jeden blok, na kterém bude vysvětleno jeho složení a význam jednotlivých symbolů a hodnot. Následující pořadí adres a jednotlivých slov v bloku je závislé na použití konkrétního řídicího systému stroje. Pro tento příklad je konkrétně použita struktura programu řídicího systému frézky Style BT-1500 (obr. 4).

Příklad					Název
N06 G00 X20,000 Y20,000 Z20,000					blok (věta)
N40	G00	X20,000	Y 20,000	Z 20,000	slova (příkazy)
N	G	X	Y	Z	adresy
06		00			významová část
20,000					rozměrová část

Tab. 4: Složení bloku programu

**Adresy** – V následující tabulce 5 jsou uvedeny nejčastěji používané adresy jednotlivých slov (příkazů). Tyto adresy je nutné znát jednak pro sestavení samotného programu při ručním programování CNC stroje, ale i pro kontrolu již vytvořeného programu pomocí softwaru z externího zdroje dat (CAM).

Označení	Význam adresy
X, Y, Z	základní osy souřadnicového systému, měřící dráhy pohybů v osách
A, B, C	rotace kolem základních os. (doplňkové osy stroje)
P, Q, R	paralelní osy pohybu podél základních os
I, J, K	parametry interpolací ve směru základních os
U, V, W	druhý typ paralelního pohybu podél základních os
D	parametr délkových, nebo rádiusových korekcí nástrojů
F	hodnota posuvu nástroje v $\text{mm} \cdot \text{min}^{-1}$
G	funkce pevného cyklu
L	volání pomocného podprogramu
N	pořadí bloku (věty) v programu
M	pomocná funkce programu
R	speciální parametry v podprogramu (pouze u některých systémů)
S	otáčky vřetene, nebo konstantní řezná rychlost (závisí na systému)
T	číselné označení konkrétního nástroje v zásobníku

Tab. 5: Adresy v programu

**Významová část** – Je dvoumístné číslo přesně definující pracovní činnost, která má být v daném bloku provedena. Dle druhu řídicího systému stroje je možné

zjednodušovat významovou část adresy tím, že se vynechá symbol, který je pro daný systém přebytečný (např. funkce rychloposuvu G00 → G0, nebo funkce posuvu G01 → G1). Tato část se týká především programovacích funkcí G, M a N.

**Rozměrová část** – Aby bylo možné přesně definovat velikost pohybu každé osy, je nutné znát vzdálenost pohybu, nebo úhel naklopení podél konkrétní osy. Hodnoty přímočarého pohybu jsou udávány s přesností na tisíce milimetru a úhel natočení ve stupních.

**Funkce** – Pro usnadnění a urychlení programování má každý systém definovány pevné cykly (G) a pomocné funkce (M). Tyto funkce jsou při sestavování programu zadávány buď přímo do příkazového řádku (ruční programování), nebo je automaticky generuje CAM software (strojní programování). V přílohách 1 a 2 jsou uvedeny nejpoužívanější pevné cykly a pomocné funkce, které jsou obsaženy v programu pro frézování.

Uspořádání vět a označení jednotlivých slov je doporučeno normou dle ČSN ISO 6983, ale vlastní struktura závisí vždy na konkrétním výrobcu softwaru. U strojního programování je tato struktura navíc ovlivňována postprocesorem, který zajišťuje maximální kompatibilitu s řídicím systémem CNC stroje, a proto jsou předchozí označení uvedena v obecném tvaru.

## 5. Možnosti programování CNC obráběcích strojů

Technologie obrábění na CNC obráběcích strojích se v principu výrazně neliší od obrábění na konvenčních strojích. Při tvorbě řídicího programu se vychází z obecných principů a technologických operací (přípravných, hrubovacích a dokončovacích), nebo logicky po sobě jdoucích postupů, které umožňují realizaci požadovaného technologického výsledku. CNC technologie, na rozdíl od konvenčního obrábění, klade velký důraz na detaily samotného výrobního procesu. Je tedy nutné respektovat technologie frézování (sousedné, nesousedné atd.), dynamické charakteristiky a možnosti stroje. S tím také souvisí vyšší nároky na kvalifikaci obsluhy. Technolog – programátor musí proto k problému zpracování technologických postupů přistupovat mnohem komplexněji. [9, 10]

## 5.1 Ruční programování

Tato podkapitola se zaměřuje na ruční programování CNC obráběcích strojů (konkrétně na technologii frézování). Jsou zde představeny jednotlivé metody, které se nejčastěji vyskytují v praxi. [1, 8, 9, 10].

Způsob ručního programování CNC obráběcích strojů se využívá v první řadě pro konstrukčně jednodušší a tvarově nenáročné strojní součásti. Má velké zastoupení v především v opravárenském odvětví a malosériové výrobě, kde stroj není tolik vytížen a jeho programování je tak možné přímo z ovládacího panelu. Navíc lze program sestavit i v případech, kde pro výrobu nejsou dostupná vstupní data ve formě CAD modelu, ale pouze technická dokumentace součástí. Programování se týká výhradně CNC obráběcích strojů, které umožňují souvislé řízení dvou nebo tří os současně (2D; 2,5D; 3D).

Ruční programování CNC obráběcích strojů je možné následně rozdělit do několika skupin, z nichž každá má opodstatnění v určitém strojním odvětví výroby.

### 5.1.1 Ruční programování v ISO kódu

Tímto způsobem se programuje výroba jednoduchých strojních součástí, převážně na CNC strojích 2D a 2,5D. Souřadnice drah nástroje jsou zapisovány do textového bloku pomocí absolutního programování.

V minulosti, kdy bylo číslicové řízení na úplném počátku a řídicí program byl ve formě děrné pásky nebo děrného štítku, bylo nutné zadávat souřadnice drah přírůstkově. Hlavní nevýhodou tohoto způsobu programování je jeho veliká časová náročnost. Při zápisu programu do textového bloku je nutné zadávat číselné pořadí bloků s určitým rozestupem (obr. 7) z důvodu možnosti rychlého doplnění dalších bloků při následném upravování a odlaďování celého programu.

Na obr. 7 jsou mezi číslováním jednotlivých bloků programu vynechány čtyři volná místa (např. mezi bloky N5 a N10). Je tedy možné dodatečně vepsat úpravu programu s čísly bloků N6, N7, N8 a N9.

ISO program – Poznámkový blok					
Soubor	Úpravy	Formát	Zobrazení	Nápověda	
N5	G29	D50x141	mat. 11	370	
N10	M6	T1			
N15	G98	X160	Z-121		
N20	G00	X51	Z0		
N25	M3	S800			
N30	G68	X0	Z-1	H0.2	F100
N35	G54				
N40	G00	X50	Z1		
N45	G64	X40	Z-70	H1	F200
N50	G00	X40	Z1		
N55	G64	X20	Z-25	H1	F200
N60	G00	X20	Z-25		
N65	G3	X40	Z-35	R10	F200
N70	G00	X41	Z-45		
...					
N135	G00	X48	Z-69		
N140	G01	X48	Z-70		
N145	G01	X50	Z-72		
N150	G00	X50	Z1		
N155	G00	X18	Z1		
N160	G01	X18	Z0		
N165	G01	X20	Z-2		
N170	G00	X20	Z10		
N175	M6	T2			
N180	G83	Z-15	H3	F100	
N185	G00	X20	Z10		
N190	M6	T3			
N195	G83	Z-15	H3	F100	
N200	G53				
N205	M05				
N210	M30				

Obr. 7: Textový blok – ISO kód [autor]

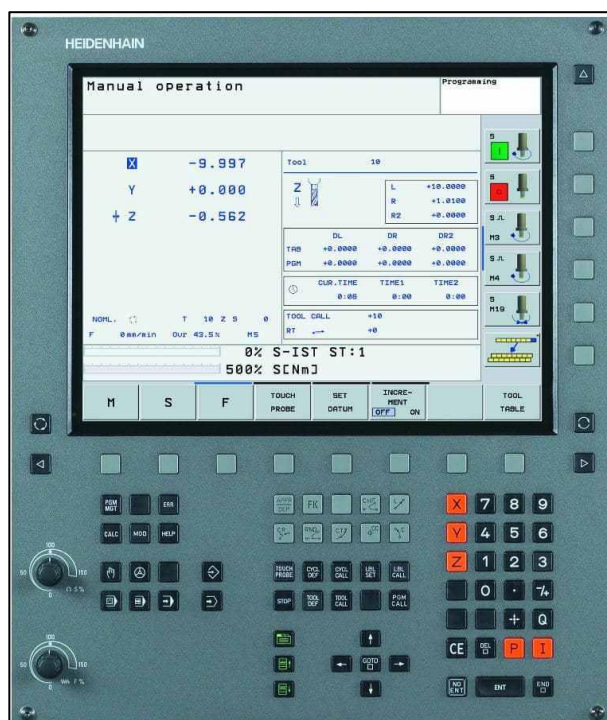
### 5.1.2 Ruční programování v interaktivním prostředí

Jedná se o lehčí a časově úspornější způsob programování než v ISO kódu za pomoci interaktivního rozhraní mezi obsluhou (programátorem) a řídicím systémem CNC stroje. Jednotlivým pracovním úkonům CNC stroje jsou v softwaru přiřazeny konkrétní ikony. Při zadávání programových bloků jsou postupně vybírány ikony, do kterých se doplňují základní parametry bloku (např. vzdálenosti pohybů v osách, otáčky, rychlosti posuvů). Tato metoda je opět používána u 2D a 2,5D CNC obráběcích strojů.

Příkladem je být interaktivní systém *Style Control* od společnosti CNC Style Machines, nebo režim *Dialog* u systému Heidenhain.

### 5.1.3 Sestavení výrobního postupu z ovládacího pultu stroje

Časově nejméně náročně je programování výrobního postupu, kde se za pomoci tlačítek na ovládacím pultu vyplňují geometrické a technologické parametry jednotlivých prvků obráběné strojní součásti (kontura, kapsa, vybrání, drážka atd.). Systém navíc komunikuje s obsluhou pomocí technologicky orientovaného prostředí a symbolů. Umožňuje jaké použití všech postupů obrábění včetně měřících cyklů. Výhodou tohoto způsobu programování je úprava sestavovaných řídicích programů, v tomto případě výrobních postupů, které jsou přehledné a srozumitelné i pro operátory CNC strojů, kteří program jako takový nesestavovali. Mezi další výhody patří fakt, že obsluha nemusí dokonale znát jednotlivé funkce ISO kódu. U vyspělých řídicích systémů je navíc možné současně obrábět strojní součást a programovat nový řídicí program (výrobní postup). Příkladem takového systému je systém Heidenhain (obr. 8) s obsáhlým řídicím panelem, kterým je vybaven každý CNC obráběcí stroj.



Obr. 8: Ovládací panel – Heidenhain [1]

Pro obrábění složitých tvarových ploch není možné využít ruční programování především kvůli délce a složitosti celého programu. V lidských silách nikdy nebude možné, aby byl programátor schopný ručně zadávat program pro stroje s plynulým ovládáním více os (3D, 4D a 5D), protože délka programu při ručním programování je mnohonásobně kratší, než při programování pomocí softwaru CAM.

Z hlediska úspory času je výhodné, když jsou náročnější programy vytvářeny mimo stroj. Použití vhodného PC, které obsahuje příslušný software řídicího systému, značně urychlí výrobní proces a umožní maximální využití strojního času CNC obráběcího stroje.

## 5.2 Strojní programování

Následující podkapitola se zaměřuje na představení, rozdělení a uplatnění CAD/CAM systémů v obrábění na CNC obráběcích strojích. Obsahuje i seznámení s jednotlivými strategiemi obrábění, které jsou využívány při tvorbě řídicího programu. [5, 8, 9, 10, 11]

Strojní programování využívá pokročilého grafického rozhraní mezi PC a programátorem. Účelem je virtuálně navrhout proces obrábění tak, jak bude později reálně probíhat na CNC obráběcím stroji. Hlavní výhodou strojního programování, oproti ručnímu, je možnost vytvářet programy pro tvarově velice komplikované strojní součásti (např. formy). Výroba poté probíhá na 2D, 3D, 4D a 5D CNC strojích.

### 5.2.1 PC softwary pro strojní programování

Všechny softwary využívané pro strojní programování spadají do jedné skupiny CIM (*Computer Integrated Manufacturing*) = výroba integrovaná počítačem. Tato skupina zahrnuje řízení celého výrobního podniku za využití počítačové podpory. Hlavním úkolem těchto softwarů je usnadnit všechny výrobní a inženýrské činnosti od návrhu a tvorby výrobku až po jeho konečnou expedici zákazníkovi. Jednotlivé softwary pro strojní programování lze rozdělit do následujících skupin:

#### **CAD (*Computer Aided Design*) = počítačem podporovaný návrh**

Vstupní prvek pro CNC programování je definován jako *model*. Jedná se o vymodelovaný 3D objekt, který má reálné parametry a rozměry. Pro návrh a realizaci samotného modelu se využívá interaktivní prostředí softwaru CAD jako počítačová podpora pro návrháře a konstruktéry. V současné době se používá celá

škála softwarů CAD od různých výrobců, všechny ale pracují na stejném principu, tedy převedení myšlenky (nápadu) do reálného prostředí.

Při vytváření jednotlivých modelů se konstruktér nejčastěji setkává s následujícími situacemi, jako je:

- tvorba základních geometrických objektů ve 2D (např. body, přímky, kružnice atd.),
- tvorba prostorových objektů pomocí různých příkazů (např. vysunutí, odebrání, rotace, zrcadlení, zkosení atd.),
- spojování jednotlivých prostorových objektů do jedné soustavy (tvorba sestav, celků, atd.),
- tvorba dodatečných a pomocných souborů (technické dokumentace, výrobních postupů, atd.).
- ostatní (simulace zatížení jednotlivých dílů i celých soustav)

Na obrázku 9 je jako příklad výstupu CAD softwaru SolidWorks zobrazen model excentrického držáku diferenciálu pro závodní monopost Formula Student (FSAE).



Obr. 9: Model CAD – excentrický držák diferenciálu [autor]



## **CAM (Computer Aided Manufacturing) = počítačem podporovaná výroba**

Po nahrání vstupních dat v podobě modelu je úkolem CAM softwaru a technologa - programátora navrhnout vhodný výrobní postup a efektivní dráhy nástroje. Tyto operace u všech programů usnadňuje interaktivní prostředí. Nástroje uložené v tzv. „*toolboxu*“ jsou volně definovatelné dle potřeby programátora a je tak možné simulovat prakticky jakýkoliv obráběcí proces (frézování, soustružení, vrtání, řezání vodním paprskem a laserem). Bohužel CAM software neumožňuje 3D model nijak upravovat, což je jeho nejzásadnější nedostatek. Z toho důvodu byly vyvinuty softwary CAD/CAM.

## **CAD/CAM = kombinovaný návrh a výroba**

Tento typ softwaru kombinuje oba předchozí typy. Je v něm tedy možné jak modelovat 3D objekty, tak i navrhovat výrobní postupy a programovat dráhy nástroje. Převážně se CAD/CAM softwary využívají při výrobním procesu, nebo menších úpravách modelu. Návrh samotného modelu strojní součásti probíhá v CAD softwaru, který je variabilnější a pro konstruování vhodnější z hlediska jeho vybavenosti.

### **5.2.2 Postup při strojním programování**

**a) Tvorba vstupních dat pro programování** – Návrh samotné strojní součásti vytváří konstruktér a probíhá v systému CAD, který vygeneruje vstupní data pro následný návrh výrobního postupu (přesný prostorový model, výkresovou dokumentaci atd.). Je důležité, aby byl model strojní součásti uložen ve formátu, který následující software CAM podporuje. Pro software Surfcam R1 je vhodné ukládat model strojní součásti do formátu parasolid\_x.t. Formát obsahuje jednak plošný model, ale i síťový (drátový) model, který je pro následující definování drah nástroje nezbytný.

**b) Import vstupních dat do prostředí CAM** – Konstruktér po vytvoření modelu požadované strojní součásti předává model technologovi - programátorovi.

Importem vstupních dat je myšleno:

- vytvoření složky v softwaru CAM, kde budou ukládána všechna importovaná data (model, technická dokumentace, části programu, seřizovací listy atd.),
- otevření modelu v podporovaném formátu softwaru CAM (případně modelů, bude-li výroba všech součástí probíhat současně),
- upravit orientaci modelu do vhodné polohy vzhledem k pohledovému a globálnímu souřadnicovému systému programu (software Surfcam R1 umožňuje tuto operaci pomocí příkazu *Transformace*),
- importování upínacích prvků a ostatních částí stroje (tento krok není vždy bezpodmínečně nutný a závisí na druhu konkrétního použitého softwaru).

**c) Vytvoření a definice polotovaru obrobku** – Polotovar je definován jako výchozí tvar pro následující obrábění. V softwaru CAM se vytváří pomocí jednoduchého síťového modelu (válce, krychle, kvádrů) v závislosti na technologii obrábění (soustružení, frézování atd.) a tvaru obrobku. Tvarově složitější polotovary lze navrhnout současně s modelováním samotné strojní součásti v softwaru CAD (např. je-li polotovar odlitek). Pokročilé softwary umožňují automatický návrh polotovaru, ale ten bývá většinou neefektivní jak z hlediska využití materiálu, tak i z hlediska prodloužení strojního času. V praxi se rozměry polotovaru určují podle aktuální nabídky skladových zásob.

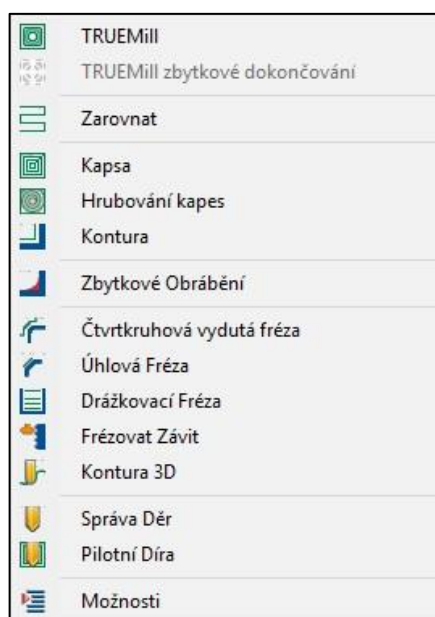
**d) Volba polohy nulového bodu obrobku (W)** – Po volbě polotovaru a jeho rozměrů je nutné definovat nulový bod obrobku (W), od kterého se budou odvíjet všechny souřadnice obsažené v programu. Neexistuje žádný přesný návod na umístění nulového bodu obrobku a záleží tak na zkušenostech a úsudku programátora. Je ale nutné si uvědomit, že nulový bod se bude před výrobou odměřovat pomocí obrobkové 3D sondy. U polotovarů s pravidelným hranatým tvarem (krychle, kvádr) se pozice nulového bodu nejčastěji umísťuje na bližší levý horní roh (obr. 10) a pro polotovary s válcovým tvarem je vhodné umísťovat nulový bod na jeho horní plochu doprostřed.



Obr. 10: Polotovar s pravidelným hranatým tvarem [autor]

**e) Návrh výrobního postupu** – Před samotným navrhováním drah nástroje je nutné určit, v jakém pořadí budou jednotlivé výrobní a technologické operace následovat. Na správnosti tohoto postupu závisí rychlost výroby (úspora řezného času), přesnost výroby, opotřebení nástrojů a jakost výrobku.

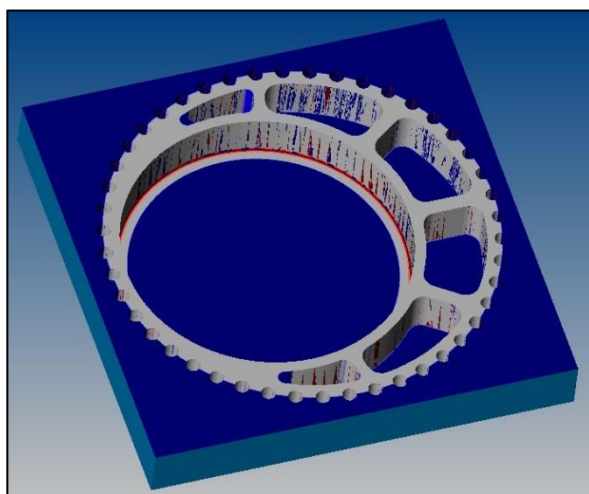
**f) Vyhotovení řídicího programu a drah nástroje** – Tento bod je časově nejnáročnější. Účelem je přesně definovat jednotlivé výrobní operace jak z programovacího hlediska (výběr obrobených ploch, kapes, kontur, atd.), tak i z technologického hlediska (výběr konkrétního nástroje, volba otáček a posuvů atd.). Při tvorbě řídicího programu (v softwaru Surfcam R1) se využívá interaktivního prostředí a předem definované funkce pro konkrétní druh obrábění (2D až 5D). Příkladem mohou být následující definované funkce (obr. 11) v softwaru Surfcam R1.



Obr. 11: Definované funkce – Surfcam R1 [autor]

- *TrueMill* – revoluční technologie vysokorychlostního obrábění, která automaticky přizpůsobuje dráhu nástroje tak, aby úhel styku nástroje s materiálem zůstal stále na stejné maximálně povolené hodnotě,
- *Zarovnat* – obrobení plochy obrobku, která je kolmá na osu nástroje a není ohraničena stěnami,
- *Kapsa a Hrubování kapes* – odebrání materiálu v uzavřeném prostoru ohraničeném stěnami,
- *Kontura* – odebrání kontury materiálu v neuzavřeném prostoru zleva, nebo zprava,
- *Zbytkové obrábění* – obrobení zbytků materiálu v místech, kam se nemohl větší nástroj dostat (provádí se menším nástrojem),
- *Správa děr* – obrábění ve svislé ose nástroje (vrtání, navrtávání, vystružování, vyvrtávání, řezání závitů, atd.),
- Ostatní.

**g) Simulace a verifikace řídicího programu** – Pro zajištění bezpečného a bezproblémového výrobního procesu obrábění na CNC obráběcím stroji je nutno vytvořený program zkontrolovat pomocí simulace a verifikace drah nástroje. Prostředí verifikace umožňuje nasimulovat jednotlivé pohyby všech pracovních částí CNC stroje a odhalit případné kolize (náraz nástroje nebo upínacího kužele do obrobku, atd.). Pomocí grafického rozlišení (obr. 12) je také možné při verifikaci zjistit dodržení přesnosti výroby, kde červené plochy vyznačují podřezání materiálu (obrobek je „zmetek“ a nedá se opravit) a modré plochy zbytkový materiál (je možné opravit).



Obr. 12: Kontrola dodržení přesnosti výroby – Verifikace [autor]

**h) Postprocessing řídicího programu** – Vzhledem k tomu, že softwary CAM vytvářejí univerzální CLD (*Cutter Location Data*) řídicí programy, je vždy nutné pomocí postprocesoru „přeložit“ tyto univerzální soubory do formátu konkrétního řídicího systému CNC obráběcího stroje. To u softwaru Surfcam R1 probíhá v manažeru operací formou stisknutím příslušné ikony „PostProces“. Je tedy zřejmé, že výstupem postprocesoru je konečný odladěný řídicí program pro konkrétní CNC obráběcí stroj. Postprocesor jako takový vytváří výrobce nebo distributor softwaru CAM a jeho přesné doladění pro konkrétní řídicí systém CNC stroje vyžaduje velké množství času, simulací a zkušebních obrobků.

**i) Tvorba průvodní dokumentace** – Tvorba dodatečné dokumentace nemusí být pravidlem, ale značně urychluje činnosti operátora CNC strojů. Vzhledem k tomu že se výrobní proces skládá z více operací a vyžaduje i více nástrojů pro výrobu (fréz, vrtáků, výstružníků, atd.) je vhodné k vyhotovenému řídicímu programu přikládat další dokumenty. Příkladem takových dokumentů jsou seřizovací listy a technická dokumentace polotovaru (s vyznačeným nulovým bodem – W), případně výrobku. V seřizovacím listu jsou přesně definovány potřebné nástroje a jejich pořadí ve výrobním procesu. Operátor CNC obráběcího stroje tak může dané nástroje připravit do upínacích kuželů a přesně je zkalibrovat.

**j) Import řídicího programu do systému CNC stroje** – Konečným krokem pro strojní programování je předání řídicího programu a průvodní dokumentace operátorovi CNC obráběcího stroje, na kterém bude již probíhat samotná výroba. Opět je nutné (jako v případě konstruktéra a technologa - programátora), aby byl operátor v kontaktu s technologem – programátorem. V případě výskytu jakéhokoliv problému při výrobě musí být řídicí program upraven tak, aby to daný problém eliminovalo a zajistilo plynulý průběh výrobního procesu.

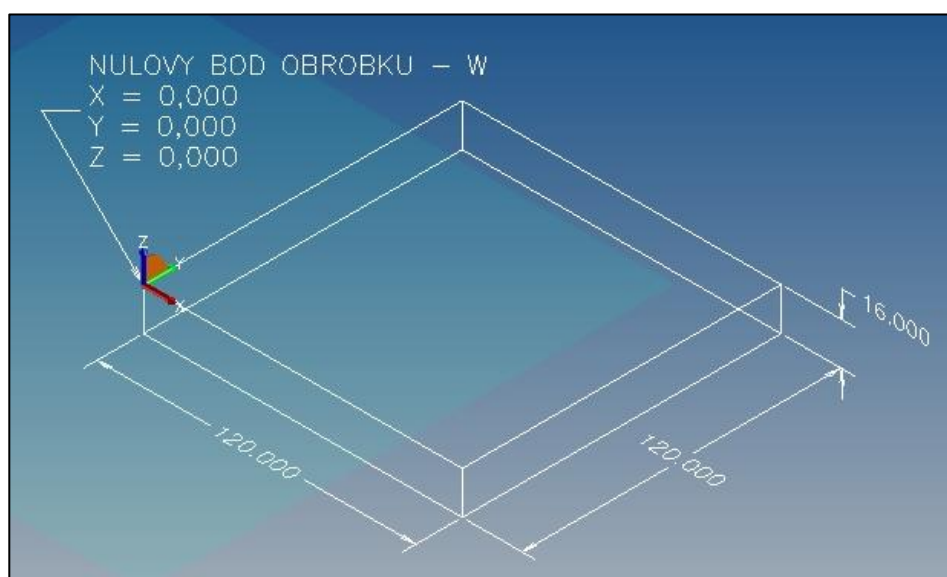
Na důležitost správné metody strojního programování poukazuje prezident společnosti Gibbs and Associates Bill Gibbs [2013]: *„Bez CAM podpory je nemožné, aby CNC obráběcí stroj dělal to, co má, tedy vyráběl kvalitní výrobky 24 hodin denně sedm dní v týdnu. Nejdražší čas při CNC obrábění je čas, kdy pracuje CNC obráběcí stroj. Dobu obrábění je tedy potřeba zkrátit a maximálně využít. Jakýkoliv čas, kdy nedochází k obrábění kvalitních součástí, představuje ztrátu. Bez dobrého postprocesoru je řada CNC obráběcích strojů využita méně, než by mohla být.“* [12]

## 6. Praktická část

V této části práce jsou porovnány dvě technologie návrhu drah nástrojů u strojního programování pomocí CAD/CAM softwaru Surfcam R1. Obě metody jsou aplikovány na stejném modelu obrobku, aby bylo možné je mezi sebou porovnat. Hlavním požadavkem je zkrácení řezného (strojního) času a tedy i celkové urychlení výrobního procesu a snížení nákladů na výrobu.

**Model** – Jako model strojní součásti je použit opět excentrický držák diferenciálu pro závodní monopost Formula Student (FSAE), pro jehož kompletní výrobu je potřeba obrobit daný polotovar z obou stran. Pro ukázkou a účel měření postačí obrobení pouze jedné strany polotovaru, která obsahuje nejvíce jednotlivých operací.

**Polotovar** – Hliníkový polotovar s číselným označením 7075 - T6 o rozměrech 120 x 120 x 16 [mm] má nulový bod obrobku – W umístěn v bližším horním levém rohu (obr 13). Na horní ploše polotovaru je ponechán přídavek 1 [mm] pro zarovnání.



Obr. 13: Polotovar pro výrobu držáku diferenciálu [autor]

**Nástroje** – Seznam použitých nástrojů je uveden v příloze 3 spolu s řeznými podmínkami, které jsou odvozeny z katalogu nástrojů firmy Dormer Pramet, s.r.o.

Jednotlivé dráhy nástroje, které jsou řízeny pracovním posuvem (funkce G01, G03, G04, atd.) jsou vyznačeny křivkami zelené barvy. Přejezdové dráhy a dráhy rychloposuvu (funkce G00) jsou vyznačeny křivkami červené barvy.

## 6.1 Tradiční technologie obrábění

Při tradiční technologii obrábění dochází především u obrábění kapes k nerovnoměrnému překrývání poloměru nástroje (frézy), které dosahuje kritické hodnoty  $180^\circ$ . To má v první řadě negativní vliv na trvanlivost a poškození břitu nástroje ale také na prodlužování řezného času. Aby nástroji nehrozilo trvalé poškození, je nutné hloubku záběru (v ose Z) zmenšit na hodnotu, která odpovídá přibližně jedné polovině průměru nástroje.

### 6.1.1 Technologický postup při tradičním obrábění

Jak bylo zmíněno v předchozí kapitole, je nutné před samotným programováním drah nástroje určit sled jednotlivých operací (výrobní postup), které na sebe musí postupně navazovat. Tyto operace se v praxi definují jako přípravné, hrubovací a dokončovací. V tomto případě na sebe jednotlivé operace navazují v tomto pořadí.

- 1) Zarovnání (tradiční)** – Zarovnání horní plochy polotovaru je přípravná operace, která zajistí přesnost obrobené plochy a kolmost této plochy k později frézovaným kapsám a vrtaným dírám. Nástroj (T1) se pohybuje pouze v ose X nebo Y a do dalšího záběru najíždí v rovném směru (viz příloha 4).
- 2) Správa děr (tradiční)** – Tato hrubovací a dokončovací operace zajišťuje obrobení otvorů po obvodu držáku (viz příloha 5). Obsahuje jednotlivé operace a nástroje od navrtáváku (T2), vrtáku (T3) až po výstružník (T4).
- 3) Frézování vnitřní kapsy (tradiční)** – Další hrubovací a dokončovací operací je frézování vnitřní kapsy držáku pomocí válcové frézy (T5). Vzhledem k tomu, že zde bude umístěno ložisko, je nutné tuto kapsu obrobít přesně v rozsahu tolerančního pole uložení. Toho je docíleno tím, že celá kapsa bude nejdříve vyhrubována s ponechaným přídávkem na stěnách (ideálně 0,2 mm) a teprve poté se obrobí „načisto“ na přesný rozměr. Z drah nástroje je patrné, že je poloměr nástroje plně překrytý ( $180^\circ$ ) v místech všech nájezdů (viz příloha 6). To má opět negativní vliv na trvanlivost ostří a zatížení stroje i nástroje.

**4) Frézování vnější kapsy (tradiční)** – Stejný problém s překrytím nástroje (T5) nastává u hrubování vnější kapsy (viz příloha 7). Nástroj je v několika místech opět překrytý o 180°. Po hrubování opět následuje obrobení „načisto“ na přesný rozměr uložení.

**5) Frézování kapes odlehčení (tradiční)** – Frézování kapes odlehčení probíhá pouze jako hrubovací cyklus (viz příloha 8). To znamená, že daná kapsa je obrobená na svůj finální rozměr najednou (bez ponechání přídatku na stěnách). Nicméně opět je zde problém s kritickým překrytím nástroje (T6), který má navíc tak malý průměr a dlouhou délku ostří, že ho tento způsob tradičního obrábění může nenávratně poškodit.

### 6.1.2 Výsledný řezný čas při tradičním obrábění

Většina softwarů CAM umožňuje, po doplnění skutečných řezných podmínek do výrobních operací, zobrazení řezných (strojních) časů jednotlivých výrobních operací ale i celkový řezný čas. Tyto informace jsou součástí nástrojového (seřizovacího) a operačního listu. Pro toto obrábění jsou výsledné řezné časy uvedeny v tabulce 6.

Tradiční technologie obrábění		
Operace	Nástroj	Řezný čas
1	T1	0:02:30
2	T2, T3, T4	0:11:25
3	T5	0:08:16
4	T5	0:09:36
5	T6	0:24:36
<b>Celkový čas</b>		<b>0:56:23</b>

Tab. 6: Řezné časy – Tradiční technologie obrábění

Technologický způsob tradičního frézování je v současné době zastaralý a většina softwarů CAM již nabízí speciální technologie a strategie obrábění pro zkrácení řezného času a optimalizaci řezných podmínek. V následující kapitole jsou dvě z těchto technologií aplikovány na stejném příkladu.



## 6.2 Technologie HSC obrábění (TrueMill)

Technologie HSC (*High Speed Cutting*) je odvozena od technologie normálního obrábění, ale je zbavena všech negativních vlivů na proces obrábění. Pro praktický příklad je použita metoda TrueMill, která umožňuje v některých případech zkrácení rezného času až o polovinu. Navíc tato technologie umožňuje definovat maximální povolené překrytí poloměru nástroje (tzv. úhlu TEA) a zabránit tak poškození nástroje i stroje. V praxi se po mnoha měřeních zjistilo, že úhel TEA by neměl být větší než 120°. V programu Surfcam R1 je tato maximální dovolená hodnota úhlu TEA předdefinována pro všechny frézovací nástroje. Program poté pouze upravuje dráhy nástroje tak, aby nedocházelo u této hodnoty k překročení.

### 6.2.1 Technologický postup při obrábění metodou TrueMill

Sled jednotlivých operací je z technologického hlediska stejný jako u metody tradičního obrábění, jednotlivé operace se ale zásadně liší.

- 1) Zarovnání (HSC)** – Zarovnání horní plochy polotovaru je z velké části podobné tradiční metodě obrábění, ale nájezdy nástroje do obrobku (T1) probíhají vždy obloukem (viz příloha 9 a 10). Nájezdy obloukem šetří rezný čas a pojezdy stroje jsou chráněny před rázy, které mohou mít vliv na přesnost a životnost stroje.
- 2) Správa děr (HSC)** – Tato operace je opět obdobná jako u tradičního způsobu obrábění, ale jsou zde minimalizovány přejezdy rychloposuvem mezi jednotlivými dírami. Dráhy nástrojů (T2, T3 a T4) jsou řízeny pomocí příkazu *nejkratší vzdálenosti* mezi pozicemi jednotlivých děr, což opět šetří rezný čas (viz příloha 11).
- 3) Frézování vnitřní kapsy (TrueMill)** – Zde se technologie kapesování zásadně liší od tradičního obrábění. Jak bylo již zmíněno v úvodu této kapitoly, technologie TrueMill umožňuje definovat maximální úhel překrytí poloměru nástroje tzv. úhel TEA. Program pak automaticky upravuje dráhu nástroje při hrubování tak, aby nedošlo ke zvýšení tohoto úhlu. V tomto případě upraví dráhu nástroje do tvaru spirály a tím zajistí konstantní zatížením nástroje

(viz příloha 12). Po hrubovací operaci opět následuje frézování „načisto“ pro dosažení přesnosti v rozsahu tolerančního pole díry.

**4) Frézování vnější kapsy (TrueMill)** – Dráhy nástroje u tohoto typu obrábění mohou vypadat na první pohled neefektivně, ale svojí geometrií pomáhají urychlit výrobní proces a chrání nástroj i stroj před možným poškozením (viz příloha 13). Je zde také definován úhel TEA, který úpravou geometrie dráhy nástroje zůstává nepřekročený.

**5) Frézování kapes odlehčení (TrueMill)** – Při frézování nástrojem s malým průměrem a dlouhou délkou břitu hraje překrytí nástroje zásadní roli. Při dodržení konstantního překrytí se prodlužuje trvanlivost břitu nástroje a je navíc možné najíždět s nástrojem na větší hloubku (až 2,5 násobek průměru nástroje) a využívat tak plnou délku břitu. Tyto aspekty si ale žádají speciální geometrii dráhy nástroje (viz příloha 14 a 15). Nástroj se po dráze tvaru šroubovice zavrtá do středu kapsy a postupně tuto kapsu rozšiřuje s konstantním překrytím. Ostré rohy kapes jsou obrobena postupně pomocí nájezdů do záběru posuvem a odjezdů ze záběru rychloposuvem.

### 6.2.2 Výsledný řezný čas při HSC (TrueMill) obrábění

V tabulce 7 je opět uveden řezný čas jednotlivých operací a celkové doby obrábění. Časy operací 1 a 2 se v zásadě neliší od metody tradiční technologie obrábění, ale operace 3, 4 a 5 jeví značnou úsporu řezného času.

Technologie HSC (TrueMill)		
Operace	Nástroj	Řezný čas
1	T1	0:02:25
2	T2, T3, T4	0:11:18
3	T5	0:04:04
4	T5	0:04:37
5	T6	0:21:37
<b>Celkový čas</b>		<b>0:44:01</b>

Tab. 7: Řezné časy – Technologie HSC (TrueMill)

## 7. Závěr

Cílem bakalářské práce je charakterizovat jednotlivé možnosti programování CNC obráběcích strojů a prakticky porovnat dvě technologie strojního programování s primárním zaměřením na volbu efektivních drah nástrojů.

Z poznatků získaných z rešerší, které uvádím v teoretické části je zřejmé, že pro výrobu jednoduchých strojních součástí v sériích malého rozsahu je výhodnější použití metody ručního programování, kdy obsluha programuje krátké a jednoduché řídicí programy pomocí základních příkazů. Tento způsob programování však klade větší nároky na znalosti obsluhy CNC obráběcích strojů v oblasti struktury řídicího programu a jeho prvků. Pro výrobu tvarově složitějších strojních součástí je proto nutné použít metodu strojního programování.

V praktické části jsou porovnány dvě metody strojního programování - metoda tradiční technologie obrábění s technologií obrábění HSC (TrueMill), které byly aplikovány na modelu excentrického držáku diferenciálu pro závodní monopost Formula Student. Obě tyto metody jsou programovány v softwaru Surfcam R1, který umožňuje porovnat výsledné řezné časy výše uvedených metod. Výsledek praktického měření potvrzuje teoretický předpoklad, že technologie HSC (TrueMill) je efektivnější jak z hlediska úspory řezného času a menšího opotřebení břitu nástroje, tak i z aspektu ochrany samotného CNC obráběcího stroje před přetížením. Výsledná úspora řezného času, pro jeden kus excentrického držáku, při použití metody HSC (TrueMill) činí 12 minut a 22 sekund. Je patrné, že toto zkrácení řezného času je značné a při velkosériové výrobě ušetří mnoho nákladů spojených s provozem stroje a samotnou výrobou.

## 8. Seznam literatury

- [1] ŠTULPA, Miroslav. *CNC obráběcí stroje a jejich programování*. 1. vydání. Praha, 2008. 128 s. ISBN 978-807300-207-7.
- [2] MAREK, Jiří. *CNC obráběcí stroje*. 1. Vydání. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2010. 103 s. ISBN 978-80-248-2329-4.
- [3] BEYNE, Patrick. *Turning, milling and grinding processes*. London, 1996. 122 s. ISBN 0-340-62503-1
- [4] HOUŠKA, Jaromír. *Konstrukce číslicově řízených obráběcích strojů*. 1. vydání. Praha, 1985. 287 s.
- [5] RYBÍN, Pavel. *Obsluha a programování CNC strojů*. 1. vydání. Praha: České vysoké učení technické, 1995. 59s. ISBN 80-01-01391-X.
- [6] VLACH, Bohumil. *Technologie obrábění na číslicově řízených strojích*. Druhé, přepracované vydání. Praha, 1982. 359 s.
- [7] HLÁSEK, Pavel. *Technologická cvičení: Výrobní postupy pro NC stroje*. 1. vydání. Praha, 1990. 44 s. ISBN 80-03-00299-0.
- [8] VRABEC, Martin. *NC programování v obrábění*. 1. vydání. Praha, 2004. 92 s. ISBN 80-01-03045-8.
- [9] SMITH, Graham. *CNC machining technology*. London, 1993. XII, 434 s. ISBN 3-540-19586-6
- [10] SADÍLEK, Marek. *CAM systémy v obrábění I*. 1. vydání. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita, 2008. 145 s. ISBN 978-80-248-1821-4.
- [11] KRONUS, Petr. *SURFCAM Učebnice*. 1. vydání. Praha, 2008. 173 s.
- [12] DOUŠKOVÁ, Zuzana. Postprocesory. *CAD*, 2013, roč. 23, č. 4, s. 12-14.

## 9. Seznam obrázků

<i>Obr. 1: Definování kartézské soustavy souřadnic a pravotočivé soustavy [1]</i> .....	5
<i>Obr. 2: Zjednodušené schéma CNC obráběcího stroje [1]</i> .....	9
<i>Obr. 3: CNC frézka Style BT-1500</i> .....	11
<i>Obr. 4: Vztažná soustava bodů stroj – nástroj – obrobek [1]</i> .....	12
<i>Obr. 5: Postup návrhu a výroby strojní součásti</i> .....	14
<i>Obr. 6: Absolutní a přírůstkové programování - příklad</i> .....	16
<i>Obr. 7: Textový blok – ISO kód</i> .....	21
<i>Obr. 8: Ovládací panel – Heidenhain [1]</i> .....	22
<i>Obr. 9: Model CAD – excentrický držák diferenciálu</i> .....	24
<i>Obr. 10: Polotovár s pravidelným hranatým tvarem</i> .....	27
<i>Obr. 11: Definované funkce – Surfcam R1</i> .....	27
<i>Obr. 12: Kontrola dodržení přesnosti výroby – Verifikace</i> .....	28
<i>Obr. 13: Polotovár pro výrobu držáku diferenciálu</i> .....	30

## 10. Seznam tabulek

Tab. 1: Absolutní programování .....	16
Tab. 2: Přírůstkové programování .....	16
Tab. 3: CNC programu pro frézování - příklad .....	17
Tab. 4: Složení bloku programu .....	18
Tab. 5: Adresy v programu .....	18
Tab. 6: Řezné časy – Tradiční technologie obrábění .....	32
Tab. 7: Řezné časy – Technologie HSC (TrueMill) .....	34

## 11. Přílohy

Příloha 1: Pevné cykly v programu

Označení	Význam funkce
G00	lineární interpolace rychlého polohování (rychluposuv)
G01	lineární interpolace pracovního polohování (posuv)
G02	kruhová interpolace ve směru hodinových ručiček (CW)
G03	kruhová interpolace proti směru hodinových ručiček (CCW)
G04	nastavení časové prodlevy v sekundách
G07	externí řízení dráhy nástroje
G08	funkce čtvrté osy (A nebo B)
G17	volba roviny X-Y
G18	volba roviny X-Z
G19	volba roviny Y-Z
G21	prázdný blok programu
G23	podmíněný skok programu
G25	vyvolání podprogramu
G26	programový cyklus
G27	programový skok
G28	přepnutí v programové oblasti
G29	vložení textové poznámky
G31	najetí na dotykovou sondu stroje
G40	zrušení korekce nástroje
G43	kladná korekce nástroje
G44	záporná korekce nástroje
G45	kladná poloviční korekce nástroje
G46	záporná poloviční korekce nástroje
G50	omezení otáček pro bezpečný chod stroje
G72	obdélníkový cyklus vybrání
G81	vrtací cyklus prostý
G83	vrtací cyklus s následným vyplachováním
G85	vystružovací cyklus
G90	absolutní způsob programování
G91	přírůstkový způsob programování
G92	stanovení absolutních údajů polohy
G96	nastavení konstantní řezné rychlosti
G98	svislá konfigurace frézky
G99	vodorovná konfigurace frézky

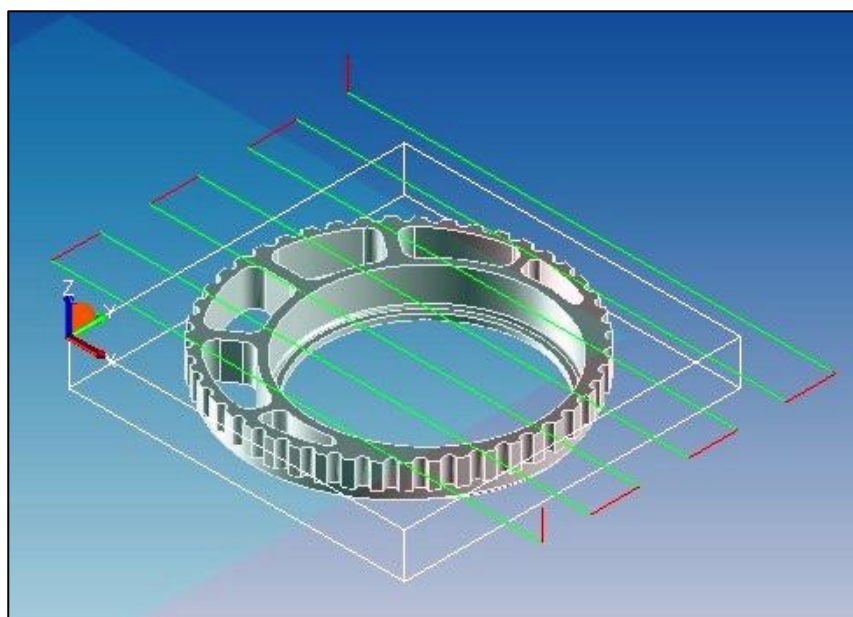
Příloha 2: Pomocné funkce v programu

Označení	Význam funkce
<b>M00</b>	programový stop
<b>M01</b>	podmíněný stop
<b>M03</b>	start otáček vřetene ve směru hodinových ručiček (CW)
<b>M04</b>	start otáček vřetene proti směru hodinových ručiček (CCW)
<b>M05</b>	zastavení otáček vřetene
<b>M06</b>	výměna nástroje
<b>M07</b>	zapnutí přídavného čerpadla chlazení
<b>M08</b>	zapnutí hlavního čerpadla chlazení
<b>M09</b>	vypnutí všech čerpadel chlazení
<b>M17</b>	konec podprogramu nebo cyklu
<b>M20</b>	výstupní signál
<b>M21</b>	konec výstupního signálu
<b>M30</b>	konec programu

Příloha 3: Tabulka použitých nástrojů - praktická část

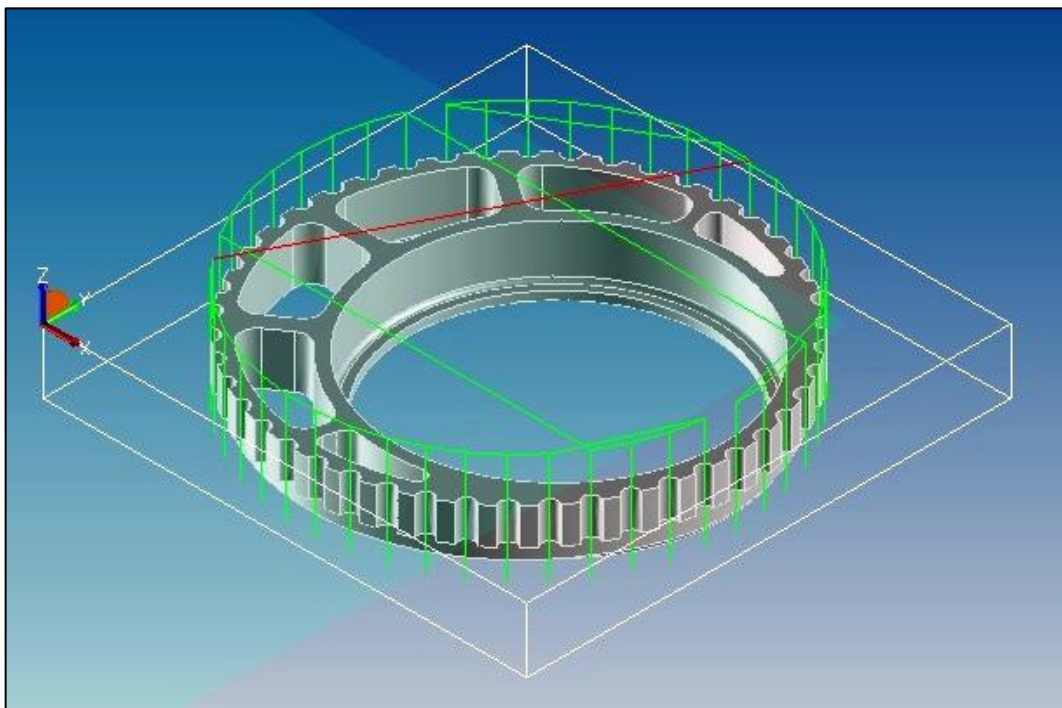
Číslo nástroje	Typ nástroje	Rozměry [mm]	Počet břitů	Otáčky [min]	Posuv [mm*min]
<b>T1</b>	Rovinná fréza	Ø 50 x 8	6	800	600
<b>T2</b>	Navrtávák	Ø 2,5 x 2,5	2	1500	400
<b>T3</b>	Vrták	Ø 4,8	2	2500	250
<b>T4</b>	Výstružník	Ø 4 H8	6	100	250
<b>T5</b>	Válcová fréza	Ø 10 x 35	3	3981	776
<b>T6</b>	Válcová fréza	Ø 4 x 31	3	6000	540

Příloha 4: Zarovnání (tradiční) [autor]

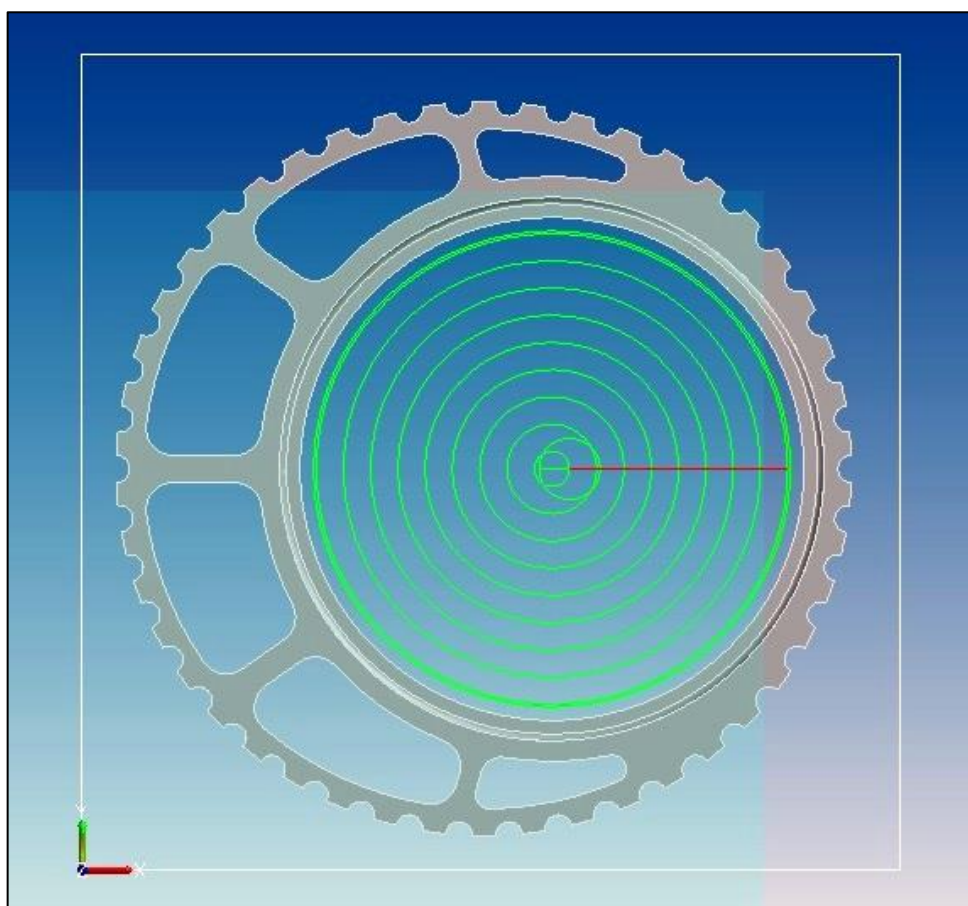




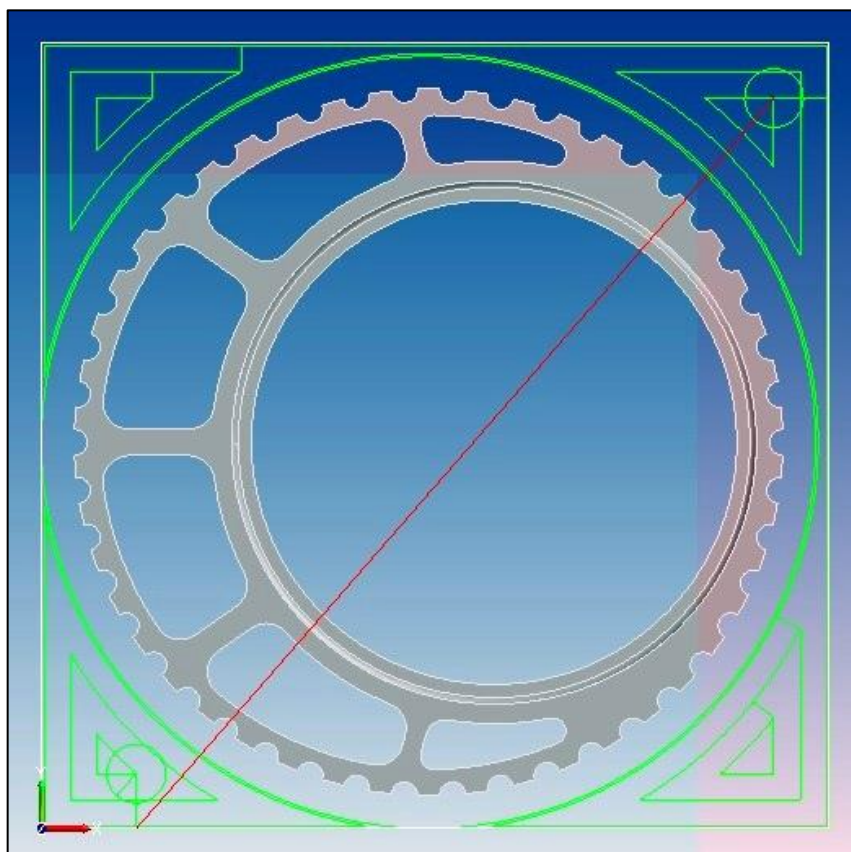
Příloha 5: Zpráva děr (tradiční) [autor]



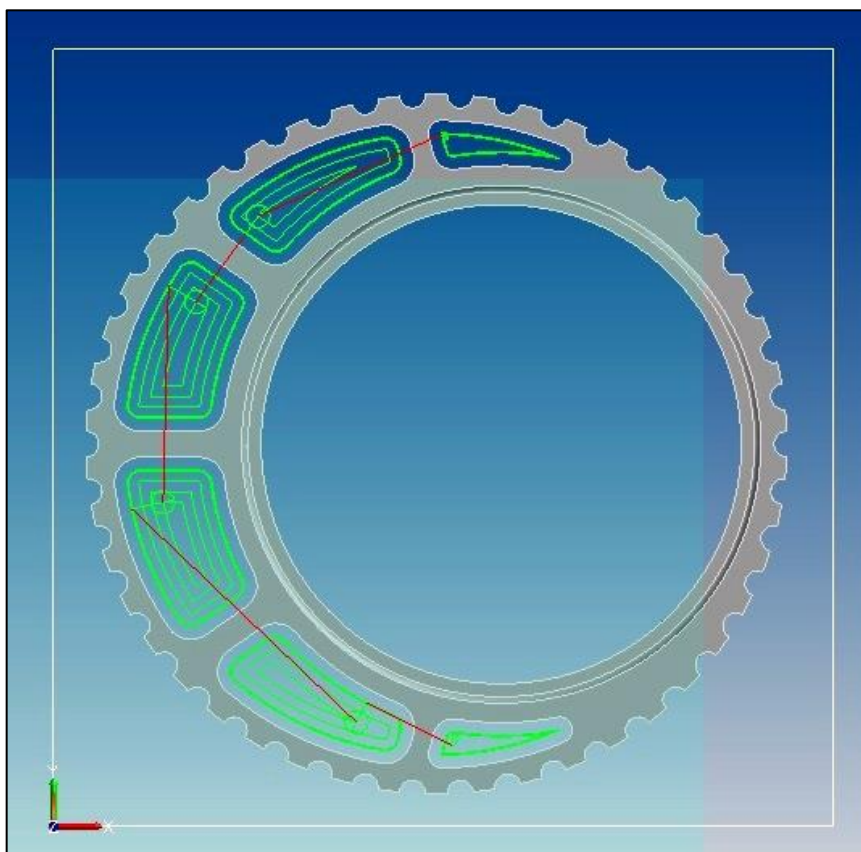
Příloha 6: Frézování vnitřní kapsy (tradiční) [autor]



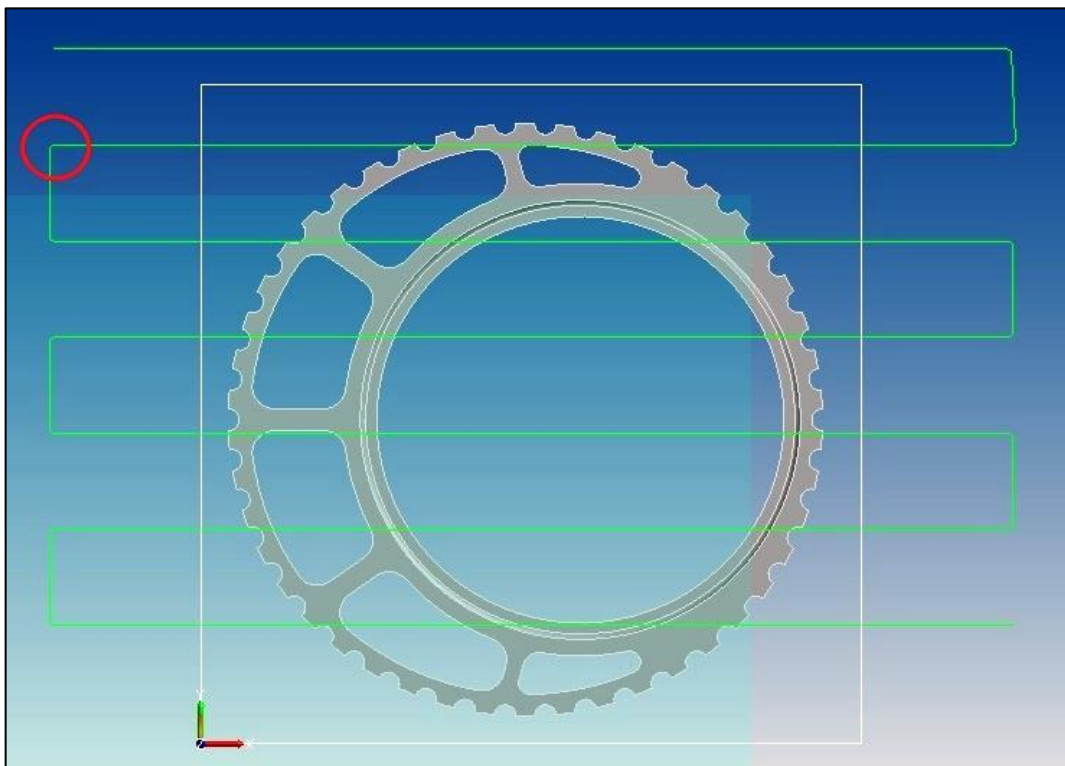
Příloha 7: Frézování vnější kapsy (tradiční) [autor]



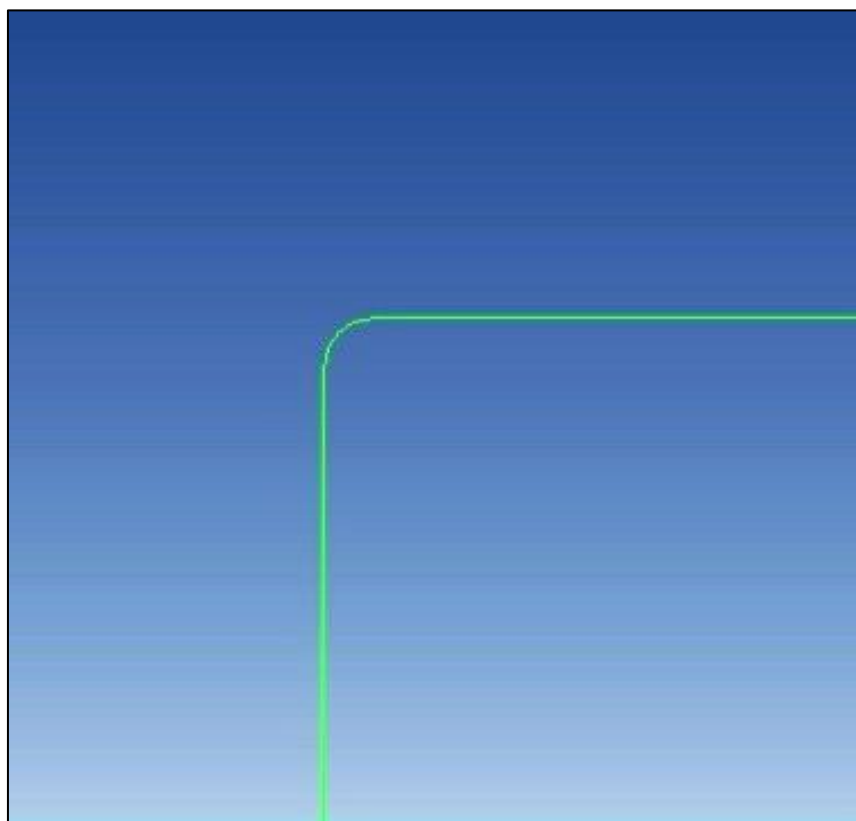
Příloha 8: Frézování kapsy odlehčení (tradiční) [autor]



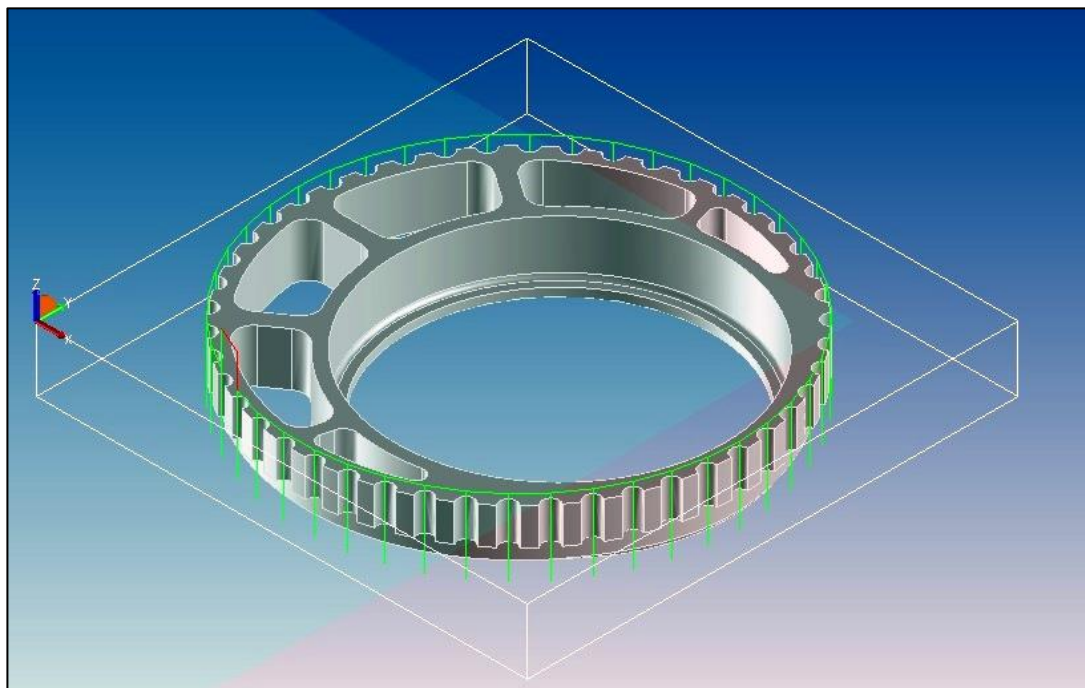
Příloha 9: Zarovnání (HSC) [autor]



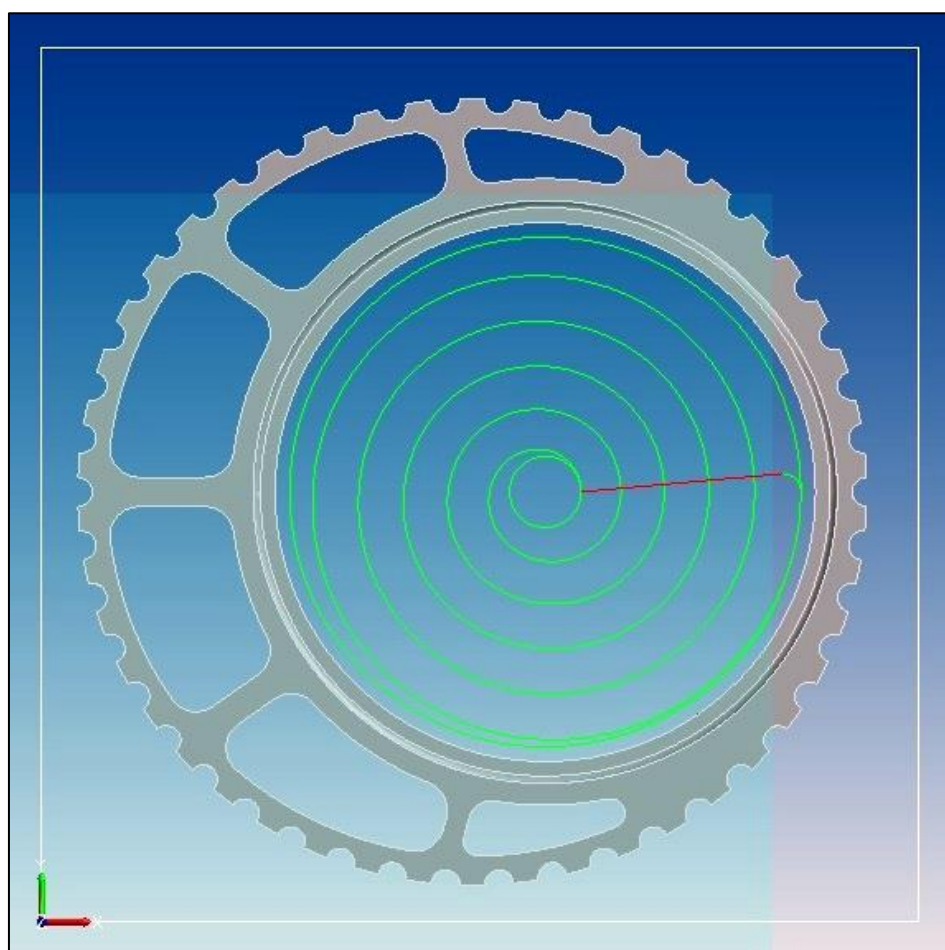
Příloha 10: Zarovnání (HSC) – detail oblouku nájezdu [autor]



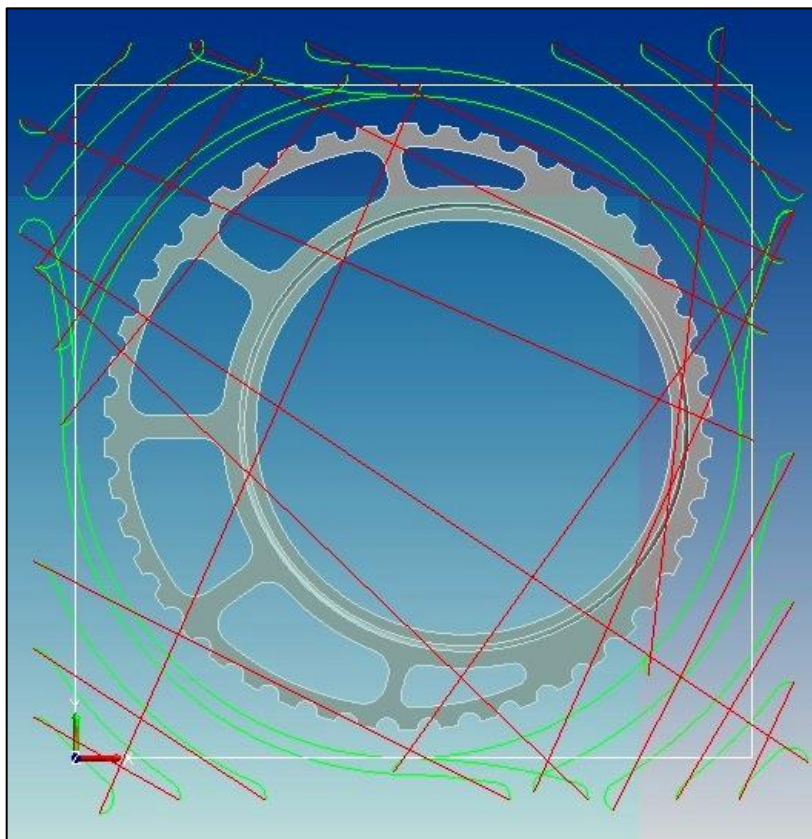
Příloha 11: Správa děr (HSC) [autor]



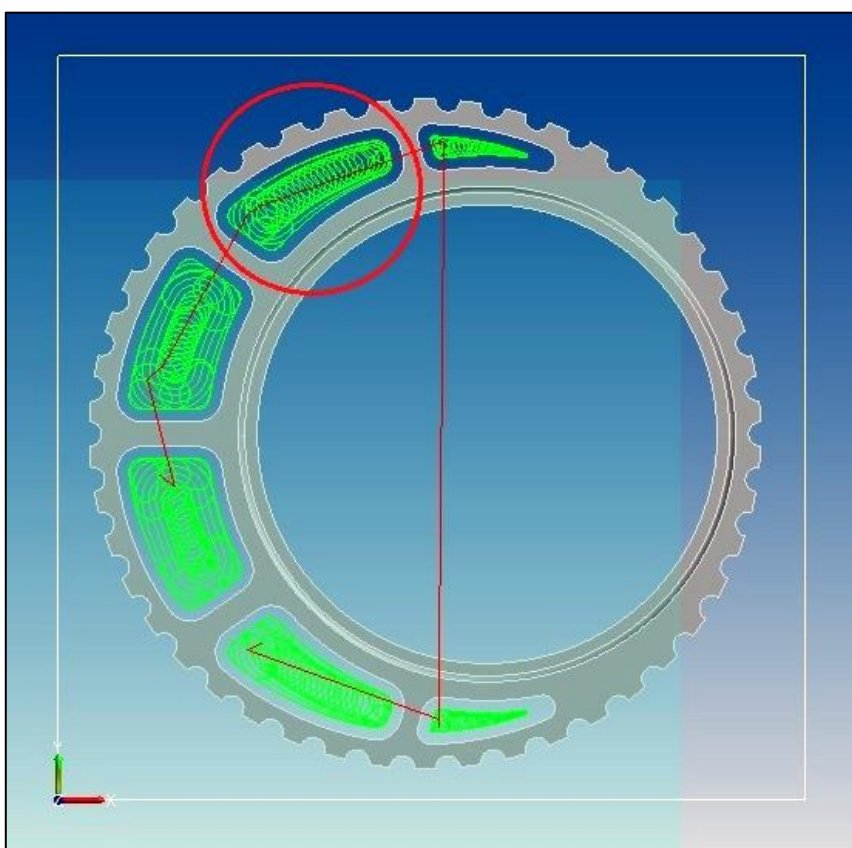
Příloha 12: Frézování vnitřní kapsy (TrueMill) [autor]



Příloha 13: Frézování vnější kapsy (TrueMill) [autor]



Příloha 14: Frézování kapes odlehčení (TrueMill) [autor]



Příloha 15: Frézování kapes odlehčení (TrueMill) – detail rohu kapsy [autor]

