

# Výroba tvarových součástí na NC stroji

Václav Petřík

---

Bakalářská práce  
2009



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta technologická

---

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav výrobního inženýrství

akademický rok: 2008/2009

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Václav PETŘÍK**

Studijní program: **B 3909 Procesní inženýrství**

Studijní obor: **Technologická zařízení**

Téma práce: **Výroba tvarových součástí na NC stroji**

Zásady pro vypracování:

- a) Vypracujte literární rešerži na téma obrábění materiálů frézováním na číslicově řízených strojích a způsoby definování řezných trajektorií**
- b) Modelování geometrie zadané součásti v libovolném CAD systému**
- c) Načtení a definování řezných strategií v programu CAM**
- d) Výroba součásti na frézce HWT C-442 CNC Profi**

Rozsah práce:

Rozsah příloh:

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

Seznam odborné literatury:

**ŠTULPA, M. CNC obráběcí stroje a jejich programování : 1.vyd.. Praha : BEN – technická literatura, 2006. 126 p.**

**KOČMAN, K. Speciální technologie: obrábění : 3.,přeprac. a dopl. vyd.. Brno : CERM, 2004. 227 p.**

Vedoucí bakalářské práce:

**Ing. Ondřej Bílek**

Ústav výrobního inženýrství

Datum zadání bakalářské práce:

**20. února 2009**

Termín odevzdání bakalářské práce:

**3. června 2009**

Ve Zlíně dne 16. února 2009



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



doc. Ing. Miroslav Maňas, CSc.  
*vedoucí katedry*

## **ABSTRAKT**

Tato bakalářská práce je zaměřena na výrobu tvarové součásti na CNC frézce. Zvolený bitmapový obrázek byl převeden do vektorové podoby pomocí programu Inkscape. Tato geometrie byla dále použita pro obrábění znaku automobilky Porsche ve 2D a 3D. Byly sledovány strojní časy obrábění a kontrolována přesnost geometrie 3D součásti.

V teoretické části byly popsány metody frézování a frézovacích nástrojů. Větší část práce byla věnována úvodu do problematiky obrábění pomocí CNC strojů. Způsobům programování, definování trajektorií pohybu nástroje a CAD/CAM systémy, usnadňující generování NC kódu.

Klíčová slova: CNC obrábění, bitmapa, trajektorie obrábění, CAD/CAM

## **ABSTRACT**

This bachelor thesis is focused on the production of shaped parts on CNC milling machine. The selected bitmap image has been converted to vector form using Inkscape. This geometry was also used for machining symbol of Porsche in 2D and 3D. Machine times were monitored and controlled precision machining of 3D geometry components.

In the theoretical part have been described methods of milling and milling tools. The majority of work was devoted to introduction to machining using CNC machines. Further, methods of programming, the definition of trajectories of movement of tools and CAD/CAM systems, facilitating the generation of NC code was presented.

Keywords: CNC machining, bitmap, trajectories of movement, CAD/CAM

Děkuji vedoucímu své bakalářské práce Ing. Ondřeji Bílkovi za odborné vedení práce, ochotné poskytování rad a materiálových podkladů k práci. Dále děkuji Bc. Jakubu Černému za rady a čas, který mi poskytnul.

Souhlasím s tím, že s výsledky mé práce může být naloženo podle uvážení vedoucího bakalářské práce a ředitele ústavu. V případě publikace budu uveden jako spoluautor. Prohlašuji, že jsem na celé bakalářské práci pracoval samostatně a použitou literaturu jsem citoval.

Ve Zlíně 3. 6. 2009

.....

Václav Petřík

# OBSAH

|  |           |
|--|-----------|
| <b>ÚVOD</b> .....  | <b>8</b>  |
| <b>I TEORETICKÁ ČÁST</b> .....   | <b>10</b> |
| <b>1 CHARAKTERISTIKA FRÉZOVÁNÍ</b> .....   | <b>11</b> |
| 1.1 ZPŮSOBY FRÉZOVÁNÍ .....  | 11        |
| 1.1.1 Frézování obvodem válcové frézy .....  | 11        |
| 1.1.1.1 Nesousledné frézování.....   | 11        |
| 1.1.1.2 Sousledné frézování.....   | 12        |
| 1.1.2 Čelní frézování.....   | 12        |
| 1.2 FRÉZOVACÍ NÁSTROJE .....   | 13        |
| <b>2 CNC OBRÁBĚCÍ STROJE</b> .....   | <b>14</b> |
| 2.1 ŘÍDÍCÍ SYSTÉMY CNC OBRÁBĚCÍCH STROJŮ .....                                     | 15        |
| 2.1.1 Podle použité zpětné vazby:.....   | 15        |
| 2.1.2 Podle pohybu v souřadnicích: .....   | 15        |
| 2.1.2.1 Řídící systémy s přetržitým řízením .....                                  | 15        |
| 2.1.2.2 Řídící systémy se souvislým řízením.....                                   | 16        |
| 2.1.3 Podle způsobu programování:.....   | 17        |
| 2.2 PROVOZNÍ REŽIMY CNC OBRÁBĚCÍCH STROJŮ .....                                    | 18        |
| <b>3 PROGRAMOVÁNÍ NC OBRÁBĚCÍCH STROJŮ</b> .....                                   | <b>20</b> |
| 3.1 ZÁKLADNÍ POJMY PROGRAMOVÁNÍ NC STROJŮ .....                                    | 20        |
| 3.2 ZPŮSOBY PROGRAMOVÁNÍ NC STROJŮ .....   | 22        |
| 3.2.1 Význam termínu CAD/CAM .....   | 23        |
| 3.3 NOSITELÉ INFORMACÍ.....  | 23        |
| 3.4 STRUKTURA ŘÍDÍCÍHO PROGRAMU.....   | 25        |
| <b>4 ZPŮSOBY DEFINOVÁNÍ ŘEZNÝCH TRAJEKTORIÍ</b> .....                              | <b>29</b> |
| 4.1 SOUŘADNICOVÝ SYSTÉM STROJE.....  | 29        |
| 4.2 NULOVÉ A DALŠÍ VZTAŽNÉ BODY NA CNC STROJÍCH.....                               | 31        |
| 4.3 PROGRAMOVÁNÍ V ABSOLUTNÍCH/PŘÍRŮSTKOVÝCH SOUŘADNICÍCH.....                     | 33        |
| 4.4 KOREKCE NÁSTROJŮ .....   | 35        |
| 4.4.1 Korekce délkové.....   | 35        |
| 4.4.2 Korekce rádiusové.....   | 36        |
| 4.4.3 Korekce výsledná.....  | 38        |
| 4.4.4 Pojem interpolace, pojem inkrement.....                                      | 38        |
| <b>5 SHRUTÍ TEORETICKÉ ČÁSTI A CÍLE PRAKTICKÉ ČÁSTI<br/>BAKALÁŘSKÉ PRÁCE</b> ..... | <b>40</b> |
| <b>II PRAKTICKÁ ČÁST</b> .....   | <b>41</b> |
| <b>6 VÝBĚR A MODELOVÁNÍ GEOMETRIE PRO STROJ HWT C-442<br/>CNC</b> .....            | <b>42</b> |

|          |   |           |
|----------|---|-----------|
| 6.1      | PARAMETRY FRÉZKY HWT C-442 CNC PROFI .....                                      | 42        |
| 6.2      | POPIS PROGRAMU INKSCAPE.....  | 44        |
| 6.3      | POPIS PROGRAMU SURFCAM.....   | 45        |
| 6.4      | NC OBRÁBĚNÍ 2D GEOMETRIE ZNAKU PORSCHE .....                                    | 45        |
| 6.4.1    | Materiál 2D znaku – Modelářská překližka.....                                   | 45        |
| 6.4.2    | Nástroje použité při obrábění 2D znaku .....                                    | 46        |
| 6.4.3    | Modelování geometrie 2D znaku .....   | 47        |
| 6.4.4    | Obrábění 2D znaku .....   | 49        |
| 6.5      | NC OBRÁBĚNÍ 3D GEOMETRIE ZNAKU .....  | 51        |
| 6.5.1    | Materiál 3D znaku – Necuron 651 .....   | 51        |
| 6.5.1.1  | Hustoty materiálu Necuron podle označení.....                                   | 51        |
| 6.5.2    | Nástroje použité při obrábění 3D znaku .....                                    | 52        |
| 6.5.3    | Modelování geometrie 3D znaku .....   | 52        |
| 6.5.4    | Obrábění 3D znaku .....   | 53        |
| <b>7</b> | <b>POROVNÁNÍ STROJNÍCH ČASŮ VYPOČTENÝCH PROGRAMEM SURFCAM A SKUTEČNÝCH.....</b> | <b>57</b> |
| <b>8</b> | <b>KONTROLA GEOMETRIE VYROBENÉHO 3D ZNAKU .....</b>                             | <b>59</b> |
| 8.1      | PRVNÍ 3D ZNAK .....   | 60        |
| 8.1.1    | Měření rozměru x u prvního znaku .....  | 60        |
| 8.1.2    | Měření rozměru y u prvního znaku .....  | 61        |
| 8.1.3    | Měření rozměru z u prvního znaku .....  | 62        |
| 8.2      | DRUHÝ 3D ZNAKU .....  | 63        |
| 8.2.1    | Měření rozměru x u druhého znaku .....  | 63        |
| 8.2.2    | Měření rozměru y u druhého znaku .....  | 64        |
| 8.2.3    | Měření rozměru z u druhého znaku .....  | 65        |
|          | <b>ZÁVĚR.....</b>   | <b>66</b> |
|          | <b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....</b>   | <b>68</b> |
|          | <b>SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK .....</b>                                 | <b>69</b> |
|          | <b>SEZNAM OBRÁZKŮ .....</b>   | <b>71</b> |
|          | <b>SEZNAM TABULEK.....</b>  | <b>73</b> |
|          | <b>SEZNAM PŘÍLOH.....</b>   | <b>74</b> |

## ÚVOD

Vývoj v oblasti výrobních strojů ve strojírenství je v současnosti z velké části dán využitím výpočetní techniky. Řízení a automatizace strojů při použití PC a příslušných softwarů zvyšuje zásadním způsobem jejich technickou hodnotu tím, že provádí rychle, přesně a spolehlivě opakované činnosti, nahrazuje člověka, tedy zvyšuje produktivitu práce.

První programované číslicově řízené stroje, označované jako NC (Numerical Control) stroje, byly řízeny programem, který byl vyznačen na děrném štítku nebo na děrné pásce. V této podobě se prosadily ve výrobě zejména složitějších součástí při odpovídající opakovatelnosti. I když v některých dílnách tyto stroje můžeme ještě v současnosti nalézt, vývoj šel dále a postupem doby byly NC stroje vybavovány počítačem, což znamenalo zrod CNC (Computer Numerical Control) strojů. Počítač podstatně zjednodušil a urychlil programování, řízení stroje a uchovávání dat pro jejich opětné použití. Výkony počítačů a stále vylepšované softwarové vybavení rostou velmi rychlým tempem, též konstrukce strojů prošly značným vývojem, vždyť už i na pohled se liší od tzv. konvenčních strojů a zastanou více technologických operací. Relativně se ceny CNC strojů vzhledem k jejich výkonům snižují, avšak nárok na kvalitu produkovaných výrobků stoupá, a tak se staly tyto stroje nezbytnou součástí každé dílny. Dochází i k ekonomickému efektu díky produktivitě práce, úspoře pracovníků a výrobních ploch.

Konstruktéři strojů postupují modulárně tak, aby mohli stavebnicovým způsobem co nejrychleji a nejlépe uspokojit požadavky zákazníků a snížit náklady, tedy i cenu prodávaného stroje. CNC stroje pokrývají dnes široký rozsah různých technologií obrábění, dále i oblasti tváření a řezání materiálu (např. vodním paprskem, plamenem, laserem) a další. CNC obráběcí centrum je vlastně jeden stroj, který obsahuje rozličné technologie výroby. Znamená to tedy, že lze na jednom stroji provést více technologických operací. Vznikají též jednoúčelové specializované stroje, CNC automaty pro hromadnou a sériovou výrobu, stroje s víceosým řízením, CNC měřicí stroje a další, které se přizpůsobují požadavkům zákazníka.

Tyto automatizované stroje doplněné manipulačními prostředky, prostředky kontroly kvality a případně dalšími jinými moduly tvoří pružné výrobní linky. Jsou vhodné pro výrobu menší série podobných výrobků či technologií, které se vyrábějí současně. Jsou na rozdíl od tvrdých linek snadno přeprogramovatelné na jiný typ výrobků. Tento proces se nazývá výroba integrovaná počítačem – CIM (Computer Integrated Manufacturing).



Klasické obráběcí stroje se postupně z dílen vytrácejí, uplatnění najdou výhledově pouze v opravárenství. Tím vznikají i nové požadavky na kvalifikaci nebo rekvalifikaci pracovníků. Je požadována znalost obsluhy moderních obráběcích strojů, kde je nutné používat výpočetní techniku pro řízení CNC obráběcího stroje. Nelze však zapomínat ani na znalosti technologické. U obráběčů je to zejména správná strategie obrábění, volba nástrojů a volba řezných podmínek. Bez těchto znalostí je též nemožné dosáhnout požadovaných výsledků.

Oblast CNC techniky se rychle rozvíjí, proto je nutné neustále sledovat vývoj v dané oblasti, pružně inovovat nejen techniku v podnicích, ale i naše vědomosti. [1]

## **I. TEORETICKÁ ČÁST**

# 1 CHARAKTERISTIKA FRÉZOVÁNÍ

Frézováním se obrábějí rovinné i tvarové plochy otáčejícím se vícebřitým nástrojem - frézou. Hlavní řezný pohyb je rotační a vykonává jej nástroj. Tento pohyb je dán řeznou rychlostí, která závisí na materiálu obrobku a materiálu nástroje. Vedlejší řezný pohyb koná obvykle obrobek, a může být přímočarý (pohyb v ose X, Y, Z) nebo kruhový. Výsledným řezným pohybem je tedy cykloida. [2]

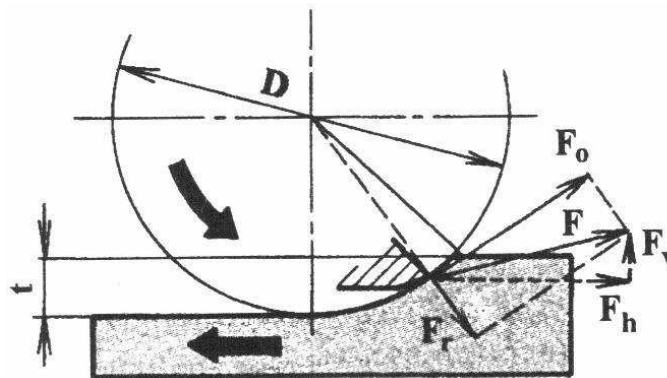
## 1.1 Způsoby frézování

### 1.1.1 Frézování obvodem válcové frézy

Osa frézy je rovnoběžná s obráběnou plochou. Průřez třísky není po celé její délce konstantní. Vznikají velké rázy a tím pádem jsou vyšší nároky na upnutí obrobku. Rázy se dají omezit, použitím fréz se zuby stočenými do šroubovice. [2]

#### 1.1.1.1 Nesousledné frézování

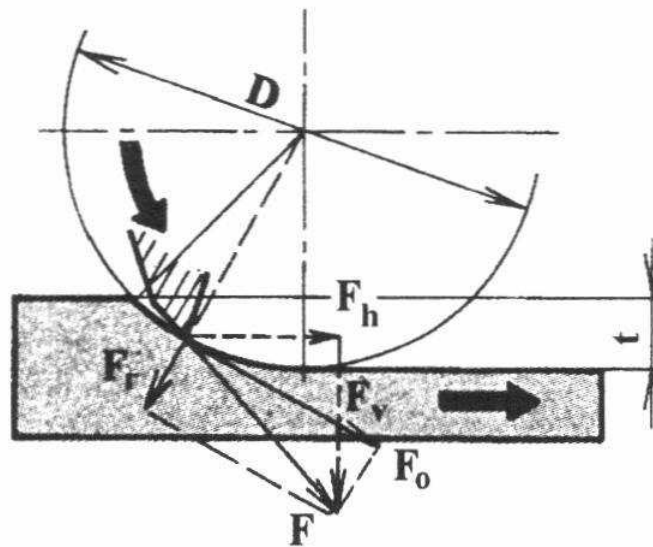
Fréza se otáčí proti směru posuvu, průřez třísky se postupně zvětšuje od 0 do maximální hodnoty. Výsledná řezná síla směřuje ven z obrobku => vyšší nároky na upnutí součástí. Při záběru třísky od nulové hodnoty se břit nástroje „sklouzne“ po obráběné ploše => horší drsnost obrobku. [2]



Obr. 1. Nesousledné frézování[2]

### 1.1.1.2 Sousedné frézování

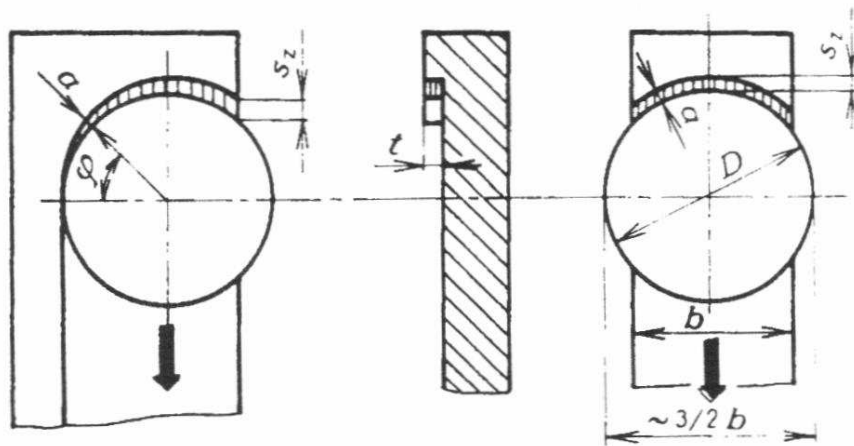
Fréza se otáčí ve směru posuvu, průřez třísky se mění od maximální hodnoty do 0. Při tomto způsobu záběru třísky dosáhneme lepší drsnosti obrobené plochy. Výsledná řezná síla směřuje do obrobku = menší nároky na upnutí. Výkon při sousledném frézování je o 30 až 50 % vyšší než při nesousledném frézování při stejné trvanlivosti nástroje. Nevýhodou sousledného frézování jsou rázy, které vznikají při záběru každého zubu do materiálu. Tyto rázy můžeme odstranit použitím fréz s šikmými zuby. Frézky pro sousledné frézování musí mít zařízení pro vymezení vůlí mezi posuvovým šroubem stolu a jeho maticí nebo mají pohon řešen pomocí kuličkových šroubů (bezvúlové uložení). [2]



Obr. 2. Sousedné frézování [2]

### 1.1.2 Čelní frézování

Osa frézy je kolmá k obráběné ploše. Materiál je odřezáván nejen břity na obvodu, ale také břity na čelní ploše frézy. Tloušťka třísky se mění od minima do maxima podle velikosti průměru frézy a šířky obráběné plochy. Tento způsob frézování je výkonnější, protože při něm zabírá více zubů současně, proto můžeme volit větší posuv stolu. [2]



Obr. 3. Čelní frézování [2]

## 1.2 Frézovací nástroje

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

- Podle způsobu výroby zubů rozeznáváme frézy s frézovanými zuby (brousí se na čele i na hřbetě, používají se pro jednodušší tvary) a frézy s podsoustružovanými nebo podbrušovanými zuby (hřbet zubu tvoří Archimedova spirála, často mají nulový úhel čela, brousí se jen na čele, používají se pro složité tvarové plochy).
- Podle počtu dílů - celistvé, dělené, s vkládanými zuby (přivařené, připájené, mechanicky upnuté).
- Podle způsobu upnutí - nástrčné, s válcovou (kuželovou) stopkou.
- Podle smyslu otáčení - pravořezné a levořezné. Pravořezná fréza se otáčí ve směru hodinových ručiček při pohledu od vřetene. Aby axiální řezný tlak směřoval do vřetene, řezná hrana pravořezných fréz má obvykle levou šroubovici a naopak. U složených fréz má jedna fréza pravou, druhá levou šroubovici (axiální síly se ruší).
- Podle funkce - válcové, čelní válcové, drážkovací, kotoučové, tvarové, úhlové, kuželové, rádiusové, na ozubení, na závity atd.. [2]

## 2 CNC OBRÁBĚCÍ STROJE

Číslicově řízené výrobní stroje (CNC) 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, aby proběhla požadovaná výroba součástí.

Pojem CNC (Computer Numerical Control) značí: počítačem číslicově řízený stroj.

Stroje jsou „pružné“, lze je rychle přizpůsobit jiné (obdobné) výrobě a pracují v automatizovaném cyklu, který je zajištěn číslicovým řízením. Stroje CNC se uplatňují ve všech oblastech strojírenské výroby (obráběcí, tvářecí, montážní, měřicí) a jejich typickými představiteli, které se používají pro výcvik programátorů a obsluhy, jsou soustruhy a frézky.

Informace, které program obsahuje, lze rozdělit na:

- **Geometrické** - Popisují dráhy nástroje, které jsou dány rozměry obráběné součásti, způsoby jejího obrábění a popisují příjezd a odjezd nástroje k obrobku a od něho. Jde tedy o popis drah nástroje v kartézských souřadnicích, kdy pro tvorbu programu potřebujeme rozměry z výrobního výkresu. V programu je uveden popis v osách X, Z u soustruhu, v osách X, Y, Z u frézky (a často i v dalších osách dle konstrukce stroje a náročnosti výrobku), danými funkcemi, které stanoví norma ISO a také jednotliví výrobci řídicích systémů.
- **Technologické** - Stanovují technologii obrábění z hlediska řezných podmínek (jsou to zejména otáčky nebo řezná rychlost, posuv, případně hloubka třísky).
- **Pomocné** - Jsou to informace, povely pro stroj pro určité pomocné funkce (např. zapnutí čerpadla chladicí kapaliny, směr otáček vřetene atd.). [1]

## 2.1 Řídicí systémy CNC obráběcích strojů

Řídicí systémy CNC obráběcích strojů je možné třídit podle mnoha hledisek:

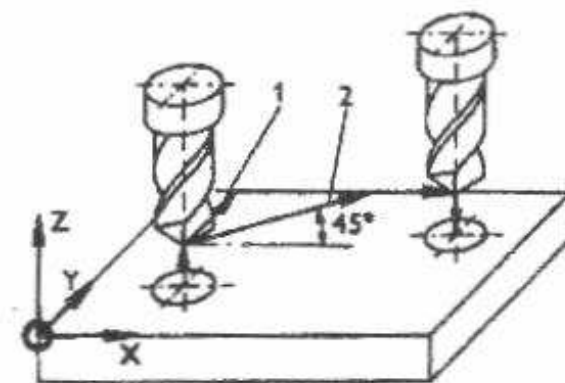
### 2.1.1 Podle použité zpětné vazby:

- **Bez zpětné vazby** - zadávací signál je převeden na pohyb, přičemž není zpětně hlášena skutečná poloha nebo rychlost pohybujících se částí.
- **Se zpětnou vazbou** - zadávací signál je stále porovnáván se zpětnovazebním signálem a odchylka zjištěná tímto porovnáváním je poté převáděna na pohyb. [3]

### 2.1.2 Podle pohybu v souřadnicích:

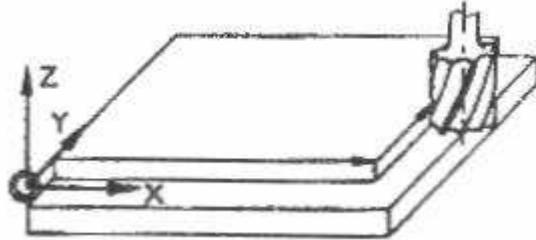
#### 2.1.2.1 Řídicí systémy s přetržitým řízením

- **Systém stavění souřadnic** - jedná se o nejstarší způsob řízení, které nemá mikroprocesor pro lineární ani kruhovou interpolaci. Nástroj se pohybuje rychloposuvem na programovaný bod. Při pohybu nezáleží na vykonané dráze, to znamená, že např. nejdříve dojde do koncové polohy jedna osa a potom dojde k pohybu v druhé ose (1). Nebo jedou z počátku obě osy současně pod úhlem  $45^\circ$  tak dlouho, než dosáhne první osa naprogramované hodnoty. Druhá osa jede dál až ke koncovému bodu (2). Po njetí polohy se provede obrobení v další ose.



Obr. 4. Systém stavění souřadnic [3]

- **Pravouhlé řízení** - hlavním rysem je, že přestavování nástroje je prováděno rovnoběžně se souřadnými osami. Teprve po skončení pohybu v jedné souřadnici může nastat obrábění v druhé souřadnici. Tento systém umožňuje soustružit válcové plochy a frézovat pravouhlé obrobky.

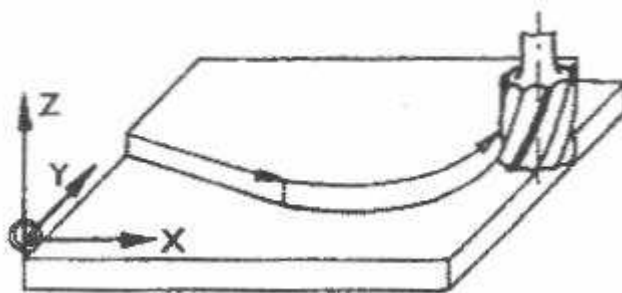


Obr. 5. Pravouhlé řízení [3]

S pravouhlým řízením a stavěním souřadnic se můžeme setkat u jednoduchých strojů (vrtačky, soustruhy, lisy, nůžky, pily apod.). [3]

#### 2.1.2.2 Řídicí systémy se souvislým řízením

- **Souvislé řízení 2D** - na soustruhu umožňuje pohyb nástroje v rovině ve dvou osách současně a můžeme zhotovovat libovolné úhly a kruhové oblouky. U frézek se může provádět pohyb volitelně vždy v jedné rovině (např. v rovině X - Y, Z - X nebo Y - Z).

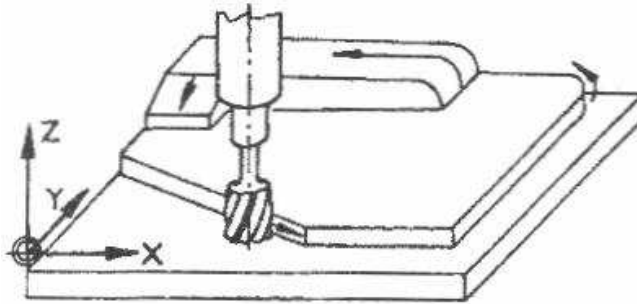


Obr. 6. Souvislé řízení 2D [3]

- **Souvislé řízení 2,5D** - má význam pro frézky a umožňuje lineární interpolaci ve všech osách (X, Y, Z); pro kruhovou interpolaci platí omezení pohybu po šroubovici.

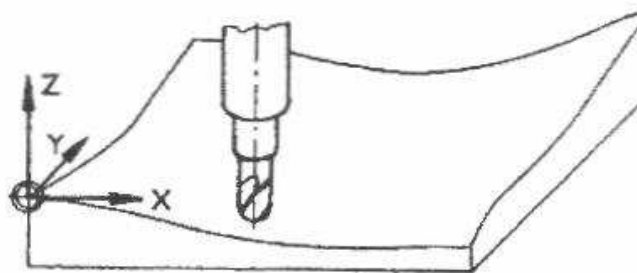


- **Souvislé řízení 3D** - můžeme na frézkách obrábět libovolné obrysy a prostorové plochy. Přitom musí interpolátor vypočítat pohyb ve dvou osách v závislosti na další ose. Zde je zapotřebí více výpočetních operací než u řízení 2D, to znamená, že je nutný mikroprocesor s vysokým výkonem.



Obr. 7. Souvislé řízení 3D [3]

- **Souvislé řízení 4D příp. 5D** - mluvíme o něm, jestliže jsou vedle pohybů v osách X Y a Z možné ještě další současné pohyby (např. otočný pohyb kolem osy X nebo Y). [3]



Obr. 8. Souvislé řízení 4D příp. 5D [3]

### 2.1.3 Podle způsobu programování:

Řídicí systém i simulační programové vybavení umožňují v základní konfiguraci nastavení do jednoho z obou typů programování. Vzhledem k nejvíce rozšířenému programování v absolutních souřadnicích lze očekávat, že většina řídicích systémů je po startu nastavena na absolutní programování. Z jednoho typu programování do druhého a naopak lze přecházet v rámci téhož programu. Programové body můžeme zapisovat pomocí těchto druhů souřadnic:

- **Programování v kartézských souřadnicích** - poloha bodu je určena jeho vzdáleností od nulového bodu souřadného systému v jednotlivých osách.
- **Programování pomocí polárních souřadnic** - cílový bod je popsán vzdáleností (úsečkou) a úhlem od počátečního bodu.
- **Programování pomocí parametrů** (parametrické) - používá se v systému absolutního i inkrementálního programování. Rozměrová část adres X, Y, Z a případně další je v programu nahrazena obecnými čísly (parametry) a tyto parametry jsou samostatně v programu definovány reálnými čísly nebo goniometrickými funkcemi. Jako parametr totiž může být použito nejenom číslo, ale i slovo, věta nebo matematický výraz. Změna čísla v parametru má za následek změnu rozměru součástí. Snižuje se počet programů pro daný typ součásti (např. sada hřídelí má stejný program a změnou hodnot v parametrech se mění i rozměry součástí; v případě dosazení číslice nula se osazení neprovede). [3]

## 2.2 Provozní režimy CNC obráběcích strojů

Při obsluze stroje se můžeme setkat s několika druhy provozních činností stroje, nebo pouze jeho řídicího systému. Lze je nastavit na řídicím panelu příslušnými tlačítky.

Obvykle mají řídicí systémy režimy:

- Režim **MANUÁL** (ruční provoz) slouží k přestavení nástroje nebo měřicího zařízení do požadované polohy, k výměně nástroje, najíždění (posuvu) na obrobek, rozběh otáček apod.
- Režim **AUTO** (automatický - plynulé provádění programu) - stroj po zpracování bloku čte a zpracovává další blok automaticky - plynulý proces obrábění.
- Režim **B-B** (Blok po Bloku) stroj se po zpracování bloku zastaví a po znovu opakovaném startu čte a zpracovává další blok. Takto lze provést celé obrábění dle programu. Režim B-B slouží jako jedna z možností kontroly, zda byl správně tvořen CNC program.
- **NASTAVENÍ** (ovlivnění velikosti otáček, pracovního posuvu, rychloposuvu) - velikost pohybu lze ovlivnit ručně potenciometrem, kde lze nastavit rozsah obvykle v rozmezí 5 až 150 % hodnoty nastavené v ručním nebo automatickém režimu.

Použití je nutné:

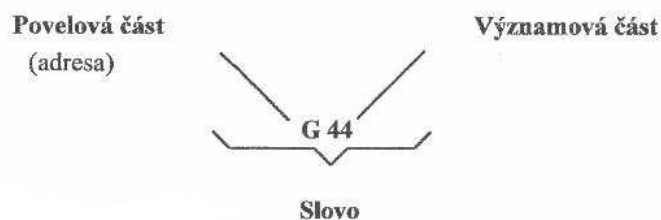
- při ručním řízení stroje např. při zjišťování nulového bodu obrobku („naškrábnutím“ materiálu);
- při automatizovaném řízení, při obrábění prvního obrobku. Zde je výhodné najíždění sníženým rychloposuvem k obrobku kvůli vyloučení možné havárie z důvodů např. chybně uvedeného nulového bodu obrobku;
- v automatizovaném provozu, při obrábění může obsluha stroje ručně změnit chybně stanovené řezné podmínky (posuv, otáčky) uvedené v programu (program CNC je nutné následně opravit).
  
- Režim **TOOL MEMORY** (paměť nástrojových dat) umožňuje uložit a vyvolat data o nástrojích, včetně korekcí. Název paměti může být rozličný, stejně tak zapisované údaje k nástrojům se mohou lišit svým názvem a množstvím. Nástroje, uložené v zásobníku nebo v revolverové hlavě, mají v této „tabulce korekcí“ přiřazené údaje o velikosti korekcí a řídicí systém si je při použití daného nástroje načítá. Tento režim se obvykle nepoužívá u strojů s jedním nástrojem (výměna nástrojů se provádí ručně), čili tam, kde se používá funkce M 06, ve které jsou uvedeny korekce daného nástroje.
  
- Režim **TEACH IN** („učení se“ anebo také „njetí a uložení“) - stroj má „schopnost“ učit se. Obsluha provádí ručně (pomocí klávesnice) požadovanou činnost pro vyrobení obrobku. Dochází k automatickému načítání úkonů (programových bloků) do editoru. Takto zadané úkony se vykonávají automaticky při následném spuštění CNC programu. Používá se výjimečně.
  
- Režim **EDITACE** programu - vlastní program pro obrábění se zapisuje přímo do editoru na stroji nebo je „nahrán“ do řídicího systému stroje externě (z počítače, diskety, po síti). V editoru stroje se mohou programy dle potřeby opravovat.
  
- Režim **DIAGNOSTIKY** - oznamuje, lokalizuje, diagnostikuje závadu pro rychlé odstranění. Umožňuje i dálkový servis.[1]

### 3 PROGRAMOVÁNÍ NC OBRÁBĚCÍCH STROJŮ

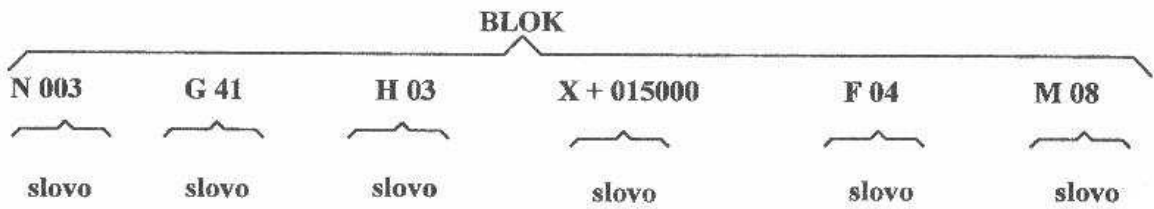
Programování NC strojů je náročná a vysoce kvalifikovaná činnost, která je zařazována do oblasti technické přípravy výroby. Jedná se o relativně nový obor činnosti, který vznikl s nasazením NC strojů do výroby. Vyžaduje nejen praktické znalosti technologie obrábění, zejména z oblasti navrhování technologických postupů a posloupností úkonů v jednotlivých operacích, ale i volby optimálních řezných nástrojů, navrhování řezných parametrů atd. Od úrovně znalostí a schopností jejich aplikace je závislá efektivnost a využití NC strojů. Kvalita řídicích programů je ovlivňována stupněm znalostí programátora funkce jím programovaných NC strojů a jejich řídicích systémů. Se zvyšující se technickou úrovní a složitostí techniky se zvyšují adekvátně i nároky na kvalifikaci a úroveň znalostí programátora. Vysoká náročnost a složitost řídicích programů pro souvislé řídicí systémy kde u NC strojů je nutné předpokládat i více současně řízených souřadných os, stále více vyžaduje soustředěnost práce programátora, se značným rizikem výskytu chyb. Proto byla zaměřena pozornost na možnost tvorby řídicích programů zejména pro CNC obráběcí stroje v prostředí CAD/CAM, které se vyznačuje plnou možností návaznosti tvorby CNC programu ze zadaného výkresu součásti. [4]

#### 3.1 Základní pojmy programování NC strojů

Řídicí program NC stroje je soubor vyčerpávajících, číselně vyjádřených informací o činnosti NC stroje, uložených na nositeli informací, ze kterého jsou postupně tyto informace předávány stroji v průběhu operace. K zápisu programu se volí znaky srozumitelné člověku a tyto se řadí do jednotlivých slov; ucelené informace o jedné požadované činnosti tvoří blok a posloupnost bloků tvoří řídicí program.



Obr. 9. Struktura programovaného slova [4]



Obr. 10. Struktura programovaného bloku [4]

Pro různé řídicí systémy obráběcích strojů a podle jednotlivých způsobů řízení je specifikován formát bloku, který může být:

- s proměnnou délkou pro stroje s pravoúhlým řízením a stavěním souřadnic
- s pevnou délkou, užívaný pro stroje s pravoúhlým řízením a stavěním souřadnic
- s proměnnou délkou pro stroje se souvislým řízením a pravoúhlým řízením

Bloky s pevným formátem mají stejnou délku v celém programu a žádné slovo nebo znak se nesmí vynechat a to ani v případě, že vzhledem k předcházejícímu bloku není požadována změna v údajích. Blok neobsahuje žádný abecední znak. Bloky s proměnnou délkou slov mohou mít vynechána ta slova, u kterých není požadována změna, příp. není požadavek na jejich význam. Slovo začíná adresou nebo znakem, případně oběma.

V obou případech sestává blok z těchto znaků a slov:

- číslo bloku
- informační slova
- konec bloku
- posuvová funkce
- funkce ovládající rychlost otáčení vřetena
- funkce nástroje
- pomocné funkce

Informační slova jsou zpravidla uváděna v následující posloupnosti:

- přípravná funkce
- rozměrová funkce, tj. rozměr udávající hodnotu přemístění v jednotlivých pohybových osách [4]

### 3.2 Způsoby programování NC strojů

Tvorba programu zpravidla obsahuje dva kroky:

- a) část CAD, kde je definována uzavřená kontura obráběného dílce na základě převzatých informací z výkresu kresleného systému CAD nebo objemového modelování
- b) část CAM, kde je zpravidla aplikací vhodných programů vytvořen automaticky řídicí program pro CNC stroj, nebo dialogovým způsobem vytvářen vlastní CNC program s možností jeho doplnění a upravení (výběhy závitů, tolerované rozměry, normalizované zápichy atp.),

Programování CNC strojů se zpravidla provádí dvěma způsoby:

- Systém online, (stav, kdy je zařízení aktivováno a připraveno na komunikaci s počítačem) přímo na CNC stroji, dílenské programování (SFP – Shop Floor Programming)
- Offline programování, (zařízení nemůže komunikovat s počítačem, nemusí ale znamenat fyzické odpojení od počítače) - tvorba part programu mimo řídicí systém, nejčastěji pomocí CAM systému, je možné ale i ručně

Důvody zavádění offline programování s orientací na CAD/CAM jsou:

- a) programování NC strojů je náročná a vysoce kvalifikovaná činnost v TPV.
- b) vyžaduje praktické znalosti technologie obrábění, zejména v oblasti navrhování technologických postupů.
- c) se zvyšující se technickou náročností a složitostí techniky se zvyšují i nároky na kvalifikaci a úroveň znalostí programátora, spojené se značným rizikem výskytu chyb

d) orientace na možnost tvorby řídicích programů zejména pro CNC obráběcí stroje v prostředí CAD/CAM, které je charakteristické plnou návazností tvorba CNC programů ze zadaného výkresu součásti v CAD nebo objemovém modeláři.

Tímto postupem je možné řešit problémy tvorby řídicích programů ve formě počítačového přístupu k modelování složitých tvarů a následné generování řídicích programů pro obráběcí stroj. [4]

### 3.2.1 Význam termínu CAD/CAM

**CAD/CAM** (projektování pomocí počítače/výroba pomocí počítače). Termín označující použití počítačů při projektování a výrobě produktů. Metoda CAD/CAM spočívá v tom, že výrobek, jako např. část stroje, se navrhne v CAD programu nebo pomocí objemového modelování a konečný tvar se přeloží do soustavy instrukcí, jež lze přenést jako vzor do zpravidla číslicově řízených obráběcích strojů, které podle ní příslušný výrobek vyrobí.

**CAD** (Computer-aided design). Termín označující programy (a pracovní stanice) používané při navrhování nástrojových, architektonických a vědeckých modelů od jednoduchých nástrojů až po složité celky, např. letadla. Různé aplikace CAD vytváří dvou a třírozměrné objekty, přičemž výsledkem mohou být „kostry“ objektů složené z čar (wire frame), náročnější modely se stínovanými částmi nebo skutečné zobrazení objektů. Některé programy taktéž umožňují rotaci objektů nebo změnu jejich velikosti, poskytují pohled zevnitř, vytváří seznamy materiálů potřebných ke konstrukci a provádějí jiné příbuzné funkce.

**CAM** (Computer-aided manufacturing). Aplikace počítačů v automatizaci výroby, technologické přípravy výroby a kontroly výrobků. Uplatňuje se jak při kusové výrobě, tak i při výrobě hromadné za použití robotů a automatizovaných linek. [4]

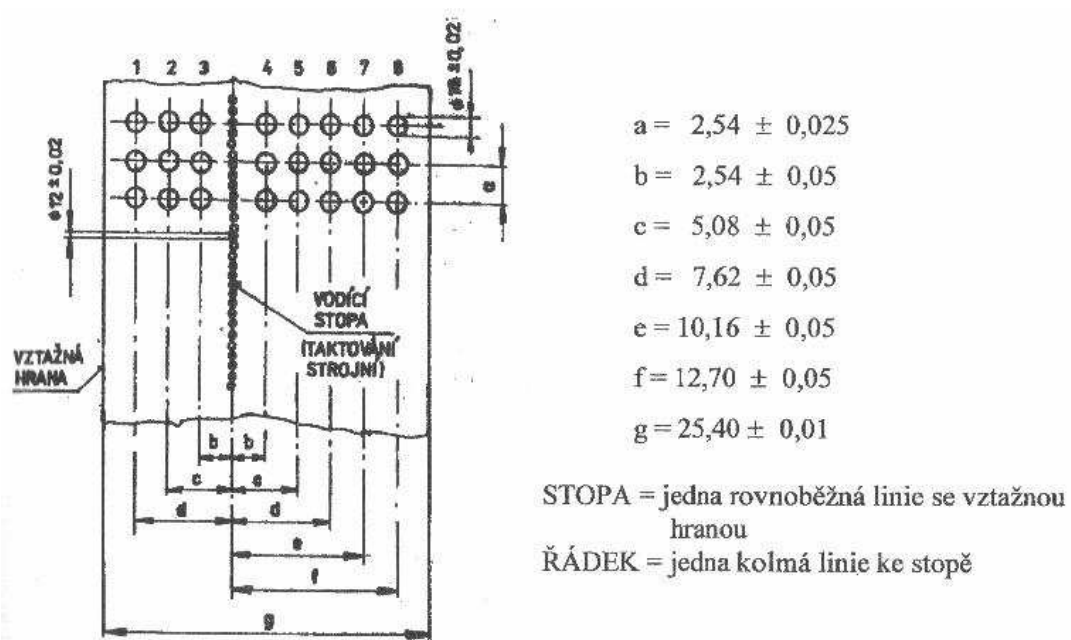
### 3.3 Nositelé informací

Informace nutné k řízení NC obráběcího stroje jsou zaznamenány na nositeli informací ze kterého lze tyto informace snímat. V současné době přicházejí ještě v některých případech uvedená řídicí média, avšak prakticky jsou nahrazena řízeným počítačem.

- osmistopá děrná páska
- magnetofonová páska

- magnetická disková paměť
- USB flash disk
- posílání dat po počítačové síti
- přímé řízení počítačem (DNC)

**Děrné pásky** jsou v současné době stále méně používaným řídicím médiem, dodávaným z různých materiálů, barev a rozměrů. K archivování programů nebo pro výrobu menších dávek jsou k použití děrné pásky ze speciálního papíru, které patří k nejlevnějším. Nejdražší pásky jsou z plastických hmot, někdy pokryté tenkou vrstvou hliníku. Jsou tužší a vhodné pro dílenské použití. Jejich nevýhodou je, že jsou choulostivé na teplo. Předností je pak jejich tuhost, možnost přímého čtení a určitá odolnost vůči nečistotám a prachu. Počet znaků se udává 15 na 1 cm<sup>2</sup>.



Obr. 11. Rozměry osmistopé děrné pásky [4]

**Magnetofonová páska** - v tomto případě byla informace nahrána na magnetické pásce a předávala se elektronickému zařízení přes magnetofon a není a ani nebylo příliš rozšířená. Nevýhodou je, že čtecí zařízení pro magnetické pásky muselo být umístěno mimo technologický provoz v čistém a neprašném prostředí, není zde možnost přímého čtení a pásky musí být pečlivě chráněny před nečistotami. Počet znaků se udává 1250 na 1 cm<sup>2</sup>.



**Magnetická disková paměť** - pro řízení mají diskové paměti své opodstatnění tehdy, kdy je nutné snímat velký počet dat v relativně krátkém čase. Snímací zařízení muselo být umístěno mimo výrobní dílnu ve zvláštní místnosti. Požadavky na čistotu a stálost teploty jsou zde vysoké. [4]

### 3.4 Struktura řídicího programu

Řídicí program se skládá z :

- čísla programu
- znaku pro začátek programu
- jednotlivých bloků programu, které se zapisují v posloupnosti:

|         |  |
|---------|--|
| N       | číslo bloku  |
| G       | přípravná funkce                                     |
| M       | pomocná funkce                                       |
| X, Y, Z | souřadnice bodu nebo inkrementy v jednotlivých osách |
| F       | posuv  |
| S       | otáčky vřetena                                       |
| T       | číslo nástroje                                       |

- konec programu [4]

Tab. 1 Význam a rozsah adres [4]

| Adresa | Význam  |
|--------|---|
| A      | počet pulsů 4.osy                             |
| D      | průměr nástroje [mm]                          |
| F      | rychlost posuvu [mm/min]                      |
| G      | přípravná funkce                              |
| H      | počet opakování, číslo vyžádaného souboru dat |
| L      | adresa bloku, podprogramu nebo výpisu         |

|   |                                |
|---|--------------------------------|
| M | pomocná funkce                 |
| N | číslo bloku                    |
| O | číslo vstupní linky            |
| P | číslo výstupní linky           |
| R | poloměr kruhového oblouku [mm] |
| S | otáčky vřetena [1/min]         |
| T | čas [s], číslo nástroje        |
| W | hloubka řezu nebo vrtání [mm]  |
| X | posuv v ose X [mm]             |
| Y | posuv v ose Y [mm]             |
| Z | posuv v ose Z [mm]             |
| % | programová oblast              |

Tab. 2 Seznam pomocných funkcí [4], [5]

| <b>Funkce</b> | <b>Význam</b>                | <b>Adresy</b> |
|---------------|------------------------------|---------------|
| M00           | programový stop              |               |
| M01           | podmíněný stop               | P             |
| M03           | start vřetena doprava CW     | S             |
| M04           | start vřetena doleva CCW     | S             |
| M05           | zastavení vřetena            |               |
| M06           | výměna nástroje              | D, Z, T       |
| M08           | zapnutí chlazení             |               |
| M09           | vypnutí chlazení             |               |
| M17           | konec podprogramu nebo cyklu |               |
| M20           | výstupní signál              | O             |

|     |                          |   |
|-----|--------------------------|---|
| M21 | konec výstupního signálu | O |
| M25 | výstup souřadnic polohy  |   |
| M29 | výstup textového hlášení |   |
| M30 | konec informace          |   |
| M99 | definice posuvu          | F |

Tab. 3 Seznam přípravných funkcí [3], [4], [5]

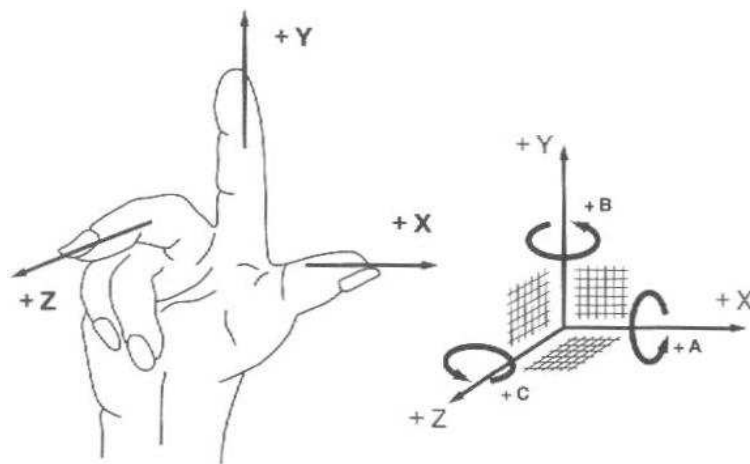
| <b>Funkce</b> | <b>Význam</b>                                   |
|---------------|---|
| G00           | rychlé polohování                               |
| G01           | lineární interpolace                            |
| G02           | kruhová interpolace ve směru hodinových ručiček |
| G03           | kruhová interpolace proti směru hod.ručiček     |
| G04           | časová prodleva                                 |
| G07           | externí řízení dráhy                            |
| G08           | funkce čtvrté osy                               |
| G17           | volba roviny XY                                 |
| G18           | volba roviny XZ                                 |
| G19           | volba roviny YZ                                 |
| G21           | prázdný blok                                    |
| G23           | podmíněný skok                                  |
| G25           | skok do podprogramu                             |
| G26           | programový cyklus                               |
| G27           | programový skok                                 |
| G28           | přepnutí programové oblasti                     |
| G29           | textová poznámka                                |

|     |  |
|-----|--|
| G31 | najetí na sondu                        |
| G32 | Najetí na sondu se skokem              |
| G33 | řezání závitu                          |
| G40 | zrušení korekce                        |
| G43 | korekce kladná                         |
| G44 | korekce záporná                        |
| G40 | zrušení korekce                        |
| G43 | korekce kladná                         |
| G44 | korekce záporná.                       |
| G45 | korekce kladná poloviční               |
| G46 | korekce záporná poloviční              |
| G50 | zrušení lokálního souřadného systému   |
| G51 | nastavení lokálního souřadného systému |
| G72 | obdélníkový cyklus                     |
| G74 | cyklus pro frézování drážky            |
| G75 | cyklus pro kruhové vybrání             |
| G81 | vrtací cyklus                          |
| G83 | vrtací cyklus s výplachem              |
| G85 | vystružovací cyklus                    |
| G90 | absolutní rozměry                      |
| G91 | přírůstkové rozměry                    |
| G92 | stanovení absolutních souřadnic polohy |
| G98 | svislá konfigurace frézky              |
| G99 | vodorovná konfigurace frézky           |

## 4 ZPŮSOBY DEFINOVÁNÍ ŘEZNÝCH TRAJEKTORIÍ

### 4.1 Souřadnicový systém stroje

Výrobní stroje používají kartézský systém souřadnic. Definice je dána normou ČSN ISO Terminologie os a pohybu. Systém je pravotočivý, pravouhlý s osami X, Y, Z, otáčivé pohyby, jejichž osy jsou rovnoběžné s osami X, Y, Z, se označují jako A, B, C (Obr. 12). Platí, že osa Z je rovnoběžná s osou pracovního vřetene, přičemž kladný smysl probíhá od obrobku k nástroji. Hodnoty se vyskytují i v záporném poli souřadnic.



Obr. 12. Definování kartézských souřadnic –  
pravotočivá soustava [1]

Kartézský systém souřadnic je nutný pro řízení stroje, nástroj se v něm pohybuje podle zadaných příkazů z řídicího panelu CNC stroje nebo dle příkazů uvedených ve spuštěném CNC programu. Je nutný pro měření nástrojů. Podle potřeby lze souřadnicový systém posunovat a otáčet. V případě měření nástrojů (zjišťování korekcí) je umístěn v bodě výměny nástrojů nebo na špičce nástrojů.

Programátor se z kartézským souřadnicovým systémem nejčastěji setkává při tvorbě programů. V osách souřadnic popisuje výrobek. Počátek souřadnic kartézského systému programátoři vkládají do nejvýhodnějšího místa na obrobku, který se nazývá „Nulový bod obrobku“. Nulový bod obrobku je výhodné umístit do takového místa, aby se co nejvíce zjednodušilo vyčítání jednotlivých geometrických bodů na obrobku. Konstruktor může napomoci technologovi-programátorovi, když bude respektovat zásady technologičnosti např. kótováním z jednoho místa, což je od (měřicí) základny tak, aby byly kóty přehledné.

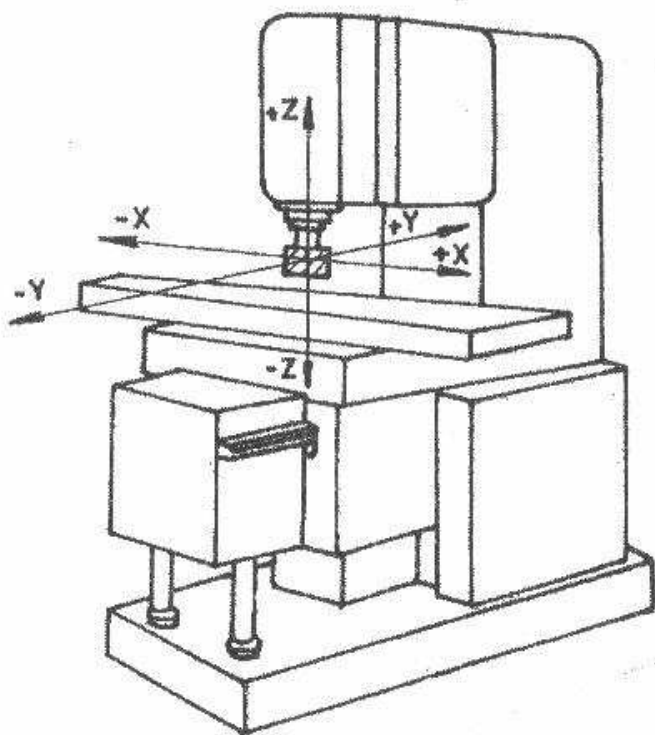
Tím ulehčí práci při programování a sníží se možnost vzniku chyb při výpočtu souřadnic z kót na výkrese.

Stanovení nulového bodu obrobku je ovlivněno např.:

- kótováním na výkresu - základna, od které konstruktér kótoval (tak, aby kóty nebylo nutné přepočítávat);
- souměrnosti výrobku (např. použití pro zrcadlení programu);
- programátorskými zvyklostmi (osa -Z směřuje do materiálu), často se také při frézování umísťuje nulový bod na spodní stranu obrobku (osa -Z směřuje do stolu, +Z do materiálu a nad něj).

Pamatujme: osa Z je vždy (rovnoběžná s) osou rotace:

- soustruh, vřeteno s obrobkem
- frézka, vřeteno s nástrojem [1]



Obr. 13. Souřadný systém pro programování [4]

## 4.2 Nulové a další vztažné body na CNC strojích

Řídicí systém CNC stroje po zapnutí stroje aktivuje souřadnicový systém ve vlastním stroji. Souřadnicový systém má svůj počátek - nulový bod, který musí být přesně stanoven. Podle použití mají nulové body své názvy. Na CNC strojích jsou i další důležité body (Obr. 14, 15):

**M - Nulový bod stroje:** Je stanoven výrobcem. Je výchozím bodem pro všechny další souřadnicové systémy a vztažné body na stroji. U soustruhů je nulový bod stroje M umístěn v ose rotace obrobku v místě čela vřetene. U frézky, v místě krajní polohy stolu frézky v obou osách - obvykle z pohledu obsluhy je to vlevo, vpředu.

**W - Nulový bod obrobku:** Nastaví ho programátor pomocí dané funkce G v potřebném místě obrobku. Provádí se:

- a) posunutím souřadnicového systému - funkcí G54 až G59 (absolutně, přírůstkově) z nulového bodu stroje;
- b) indikuje se funkcí polohy nástroje - nástroj je definován v bodě souřadnicového systému, ze kterého vyplývá umístění nulového bodu.

Umístění nulového bodu určuje programátor způsobem, který je závislý na použitém řídicím systému stroje a který vyplývá z možností stroje.

**R - Referenční bod stroje:** Je stanoven výrobcem a realizován koncovými spínači. Vzdálenosti nulového bodu stroje M a referenčního bodu stroje R jsou výrobcem přesně odměřeny v souřadnicové soustavě stroje a vloženy do paměti řídicího systému jako strojní konstanty. Použití:

- Stroje, které mají přírůstkové odměřování polohy suportů - po zapnutí stroje, v ručním režimu a provedeném najetí do referenčního bodu, stroj „pozná“ svou polohu v souřadnicovém systému podle načtených souřadnic referenčního bodu.

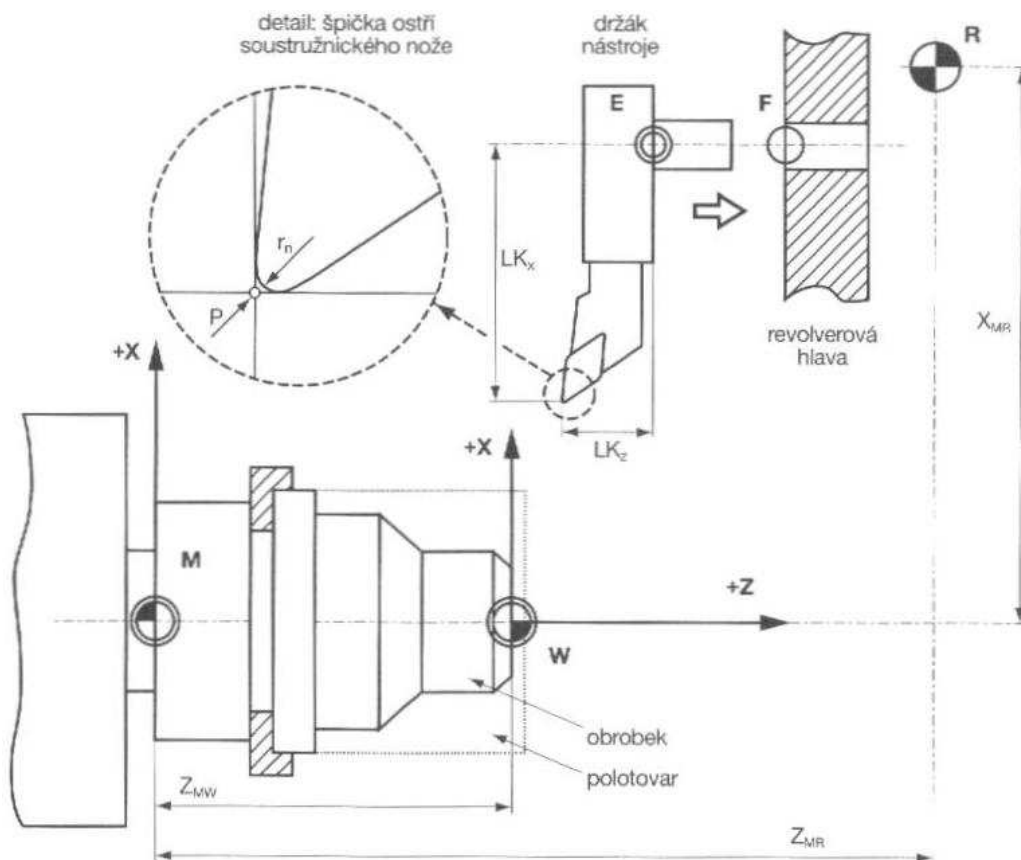
- Stroje, které nemají zpětnou vazbu dosažené polohy nástroje - zařazení referenčního bodu do CNC programu vede k odstranění možných chyb. Mohou vznikat při interpolaci dráhy nástroje (kužely, rádiusy apod.). Mohou vznikat při zpoždění posuvů (např. zvýšeným třením), vzhledem k údajům, kterých již řídicí systém dosáhl. (Tyto chyby se opakováním drah nástroje a počtem vyráběných kusů – násobí). Nájezdem do referenčního bodu

se takto načtené chyby, které posouvají souřadnicovou soustavu, eliminují tím, že se načte správná poloha nástroje daná souřadnicemi referenčního bodu.

**P - Bod špičky nástroje** (soustruh): Je nutný pro stanovení délkové korekce a následně rádiusové korekce nástroje (tj. poloměru zaoblení špičky nástroje). Je to bod, jehož pohyb se teoreticky programuje (pokud se použijí rádiusové korekce).

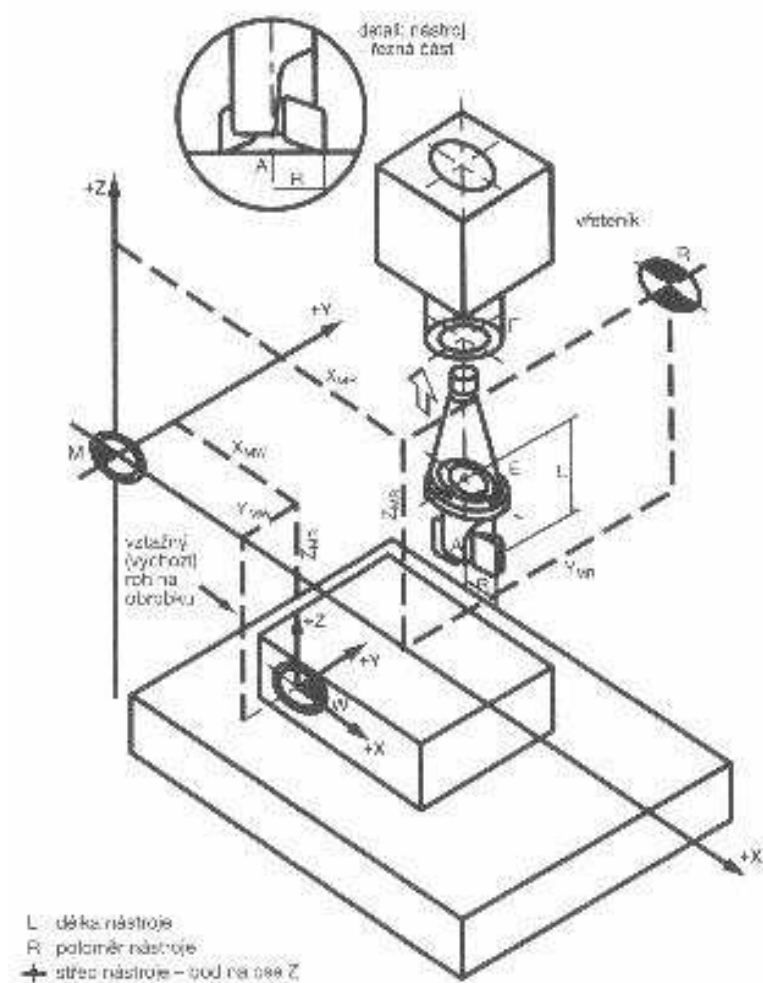
**F - Vztažný bod suportu nebo vřetene** (pro vložení nástroje): Bod výměny nástroje na revolverové hlavě u soustruhu, u frézky je umístěn na čele vřetene a v ose její rotace. K bodu F se vztahuje délková korekce nástroje.

**E- Bod nastavení nástroje:** Bod na držáku nástroje, který se při upnutí ztotožní s bodem F (je nutný pro zjištění korekcí nástroje na přístroji mimo stroj). [1]



Obr. 14. Souřadnicový systém soustruhu a nulové body [1]



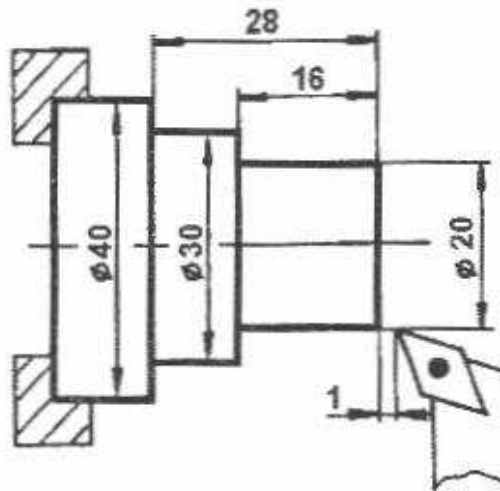


Obr. 15. Souřadnicový systém frézky a nulové body [1]

### 4.3 Programování v absolutních/přírůstkových souřadnicích

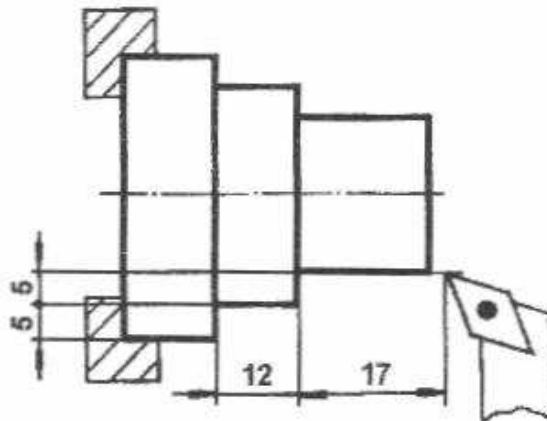
Podle způsobu zadávání rozměrových slov se zadává přemístění v jednotlivých souřadných osách:

- v **absolutních** hodnotách, kde souřadnice jednotlivých bodů dráhy nástroje jsou udávány k počátku souřadného systému, který je definován na NC stroji



Obr. 16. Absolutní programování [3]

b) v **přírůstkových** hodnotách (inkrementálně), kdy výchozí poloha nástroje před obráběním je přesně definována výchozím bodem a ve vlastním programu se stanoví diference pohybu v jednotlivých souřadných osách v kladném, nebo záporném smyslu



Obr. 17. Přírůstkové programování [3]

c) v **absolutních i přírůstkových** hodnotách, kdy v průběhu programu lze oba způsoby podle potřeby kombinovat

Uvedené způsoby programování jsou rozhodující pro složitost řídicího systému a tedy i pro jeho cenu. Obecně lze uvést, že složitější jsou absolutní systémy a tedy i většinou dražší.

[4]

## 4.4 Korekce nástrojů

### 4.4.1 Korekce délkové

Rozměry jsou uvedeny v osách souřadného systému. Velikost je vztažena k nulovému bodu výměny nástrojů (nástrojů s držákem)  $E=F$ .

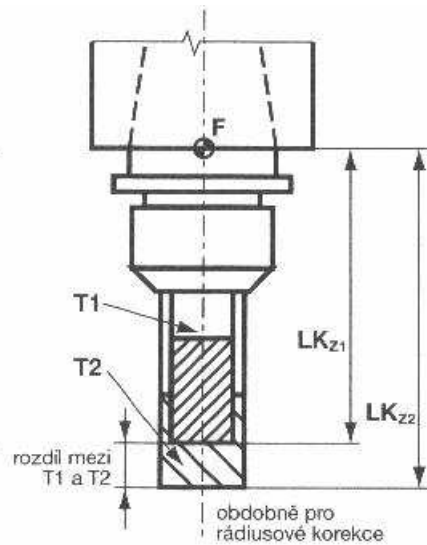
Jedná se o zjištění délkových vzdáleností. Měří se délky v jednotlivých souřadnicích.

U rotačních nástrojů se měří v ose Z - od vztažného bodu na čele vřetene frézky, k čelu (fréza), špici (vrták), vrch polokoule (kulová fréza) rotačního nástroje.

Zjištěné délky jednotlivých souřadnic musí znát řídicí systém, jelikož podle těchto údajů (a též uvedených rádiusových korekcí = poloměrů frézy pro frézování vnější, vnitřní kontury) koriguje dráhy nástroje zapsané programátorem v jednotlivých blocích CNC programu. Zde jsou uvedeny dva způsoby zápisu:

1. Korekce délkové se zapisují do tabulky nástrojů, nejpoužívanější způsob je ve tvaru T1D1. T1 značí nástroj na první pozici. D1 značí, že nástroj T1 má skutečné korekce, které jsou uvedeny pod symbolem D1. To platí i pro další značení nástrojů T2D2 atd. Pokud to řídicí systém stroje a charakter obrábění vyžadují, jsou zapisovány do téže adresy D také korekce rádiusové a poloha nástroje vzhledem k obráběné ploše.
2. Korekce délkové se zapisují u některých řídicích systémech přímo do programu při jeho tvorbě. Zapsány jsou u funkce M06 (ruční výměna nástroje) v adresách X Z (soustruh), Z (frézka).

U fréz se měří délkové korekce ve smyslu osy Z a poloměr nástroje pro rádiusové korekce. Platí pro frézy různých druhů. Pro osové nástroje, jako jsou vrtáky, výhrubníky, výstružníky apod., se uvádí pouze délkové korekce. [1]



Obr. 18. Měření délkových korekcí na frézce [1]

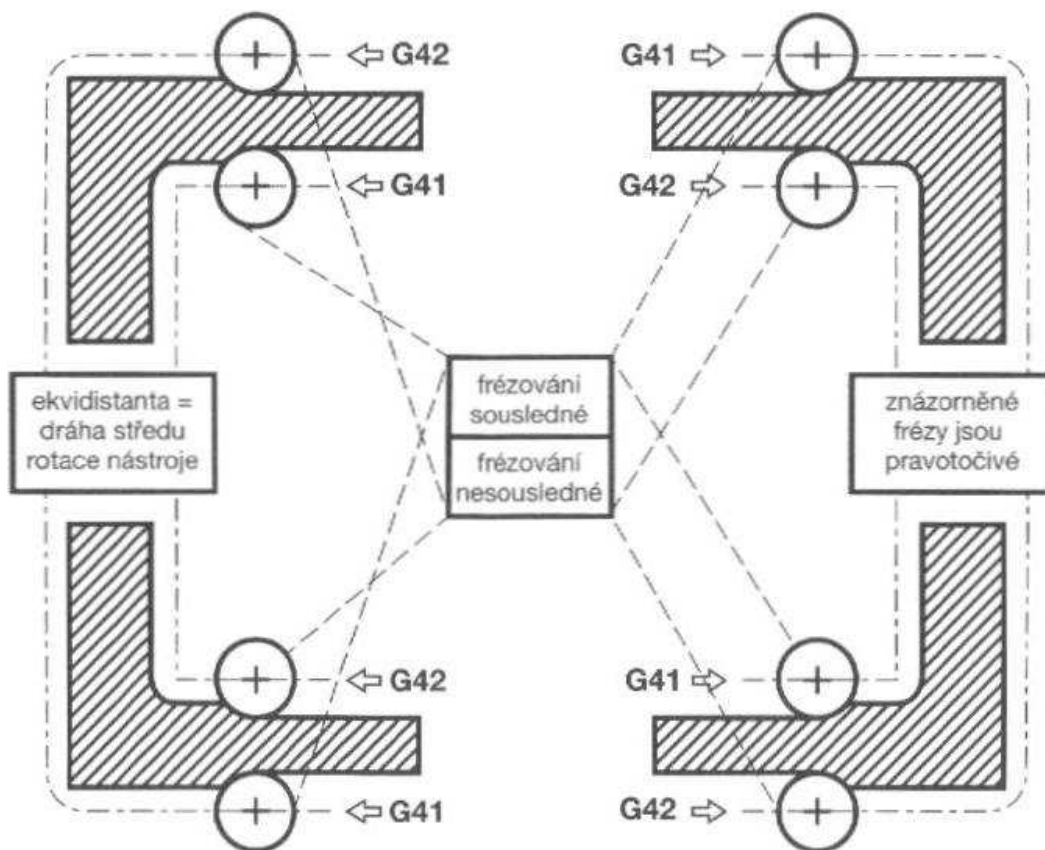
#### 4.4.2 Korekce rádiusové

Velikost rádiusů špičky nástrojů (soustružnických nožů) a rádiusů fréz včetně stanovení polohy nástroje k obráběné ploše.

Rádiusové korekce se v současnosti zjišťují u všech nástrojů, jelikož se samozřejmě očekává přesnost rozměrů a geometrie výrobku. (U jednoduchých strojů, které v řídicím systému nemají funkce G41 G42 a G40, nelze použít rádiusové korekce, ale lze vypočítat ručně ekvidistantu, která koriguje dráhu nástroje a do programu ji zadat.)

Fréza má svým průměrem danou velikost rádiusu (totéž platí o rádiusu kulové frézy a dalších obdobných nástrojů). Pokud nebudeme počítat s touto korekcí, např. při frézování kontury, nebo tento fakt nepotřebujeme brát v úvahu (frézování drážky široké jak průměr frézy), budeme programovat, tedy i obrábět osou rotace nástroje.

Průměry fréz, tedy jejich poloměry, jsou dány konstrukcí nástroje a lze je přeměřit, pokud dochází ke změnám. Poloměry nástrojů (u fréz) se zadávají spolu s korekcemi délkovými do tabulky nástrojů, která je součástí softwaru CNC programování.



Obr. 19. Fréza pravotočivá obrábí v různých polohách zadanou konturu obrobku [1]

Použití rádiusových korekcí při frézování (Obr. 19). Rádiusy frézy jsou podstatně větší než u soustružnických nožů a možné chyby jsou o to zřetelnější. Při frézování pro technologie-programátora zde navíc vzniká problém správné volby druhu frézování, a to sousledného nebo nesousledného. Každý z těchto způsobů má své výhody a nevýhody, které řeší technologie obrábění a koriguje praxe za různých podmínek obrábění. Obrázek ukazuje, jaké jsou možnosti strategie obrábění z hlediska požadavků technologie, při různých pozicích nástroje ke kontuře a směru obrábění. Pokud se vyskytnou frézy s opačným směrem zubů, levotočivé, mění se i druh frézování, který lze pomocí obrázku snadno určit.

[1]

#### 4.4.3 Korekce výsledná

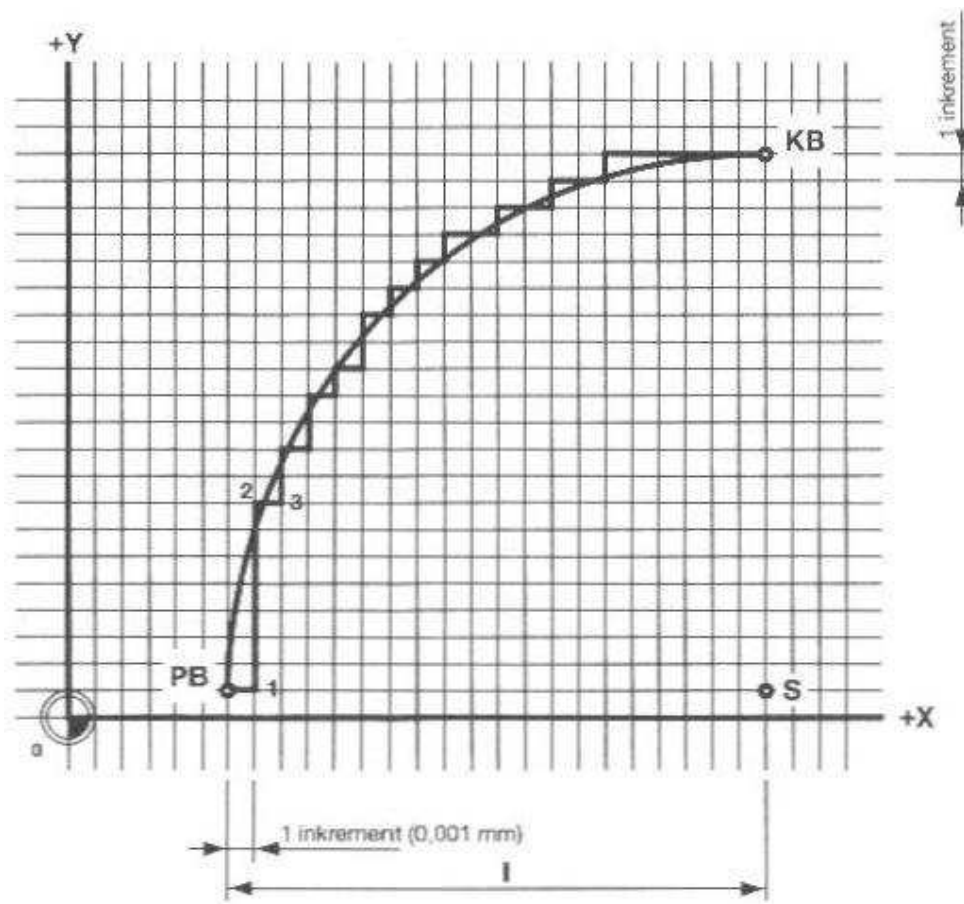
Je superpozicí obou korekcí, která vytváří ekvidistantu kontury obrobku, po níž se pohybuje bod výměny nástroje F při obrábění.

Přístroje, určené pro zjišťování korekcí nástrojů, udávají délky nástroje v osách souřadnicové soustavy, velikost rádiusu a teoretickou špičku nástroje. [1]

#### 4.4.4 Pojem interpolace, pojem inkrement

Skutečná dráha nástroje vyplývá z dráhy bodu E=F (tj. bodu výměny nástroje), která je korigovaná zadanými korekcemi nástroje. Tyto informace jsou zpracovány v interpolátoru. Interpolátor zpracovává interpolace lineární. Jedná se o pohyb mezi dvěma body, který musí být přímkový (funkce G01 pracovní posuv, G00 rychloposuv). Dále interpolátor zpracovává interpolace kruhové, kdy pohyb mezi dvěma body musí probíhat po kruhovém oblouku. Zde jsou dvě řešení, jak se dostat z jednoho bodu do druhého - ve směru (vpravo), nebo proti (vlevo) směru hodinových ručiček (funkce G02, G03). To vše může probíhat v rovině (dvě osy X, Z — soustruh, dvě osy X, Y frézka) nebo v prostoru (tři osy X, Y, Z - frézování a další víceosé obrábění). Z lineárních a rádiusových elementů se skládá jakákoli dráha nástroje.

Interpolátor a odměřovací zařízení nedávají spojitý signál, ale řadu pulzů. Regulační odchylka je rozdíl mezi signálem o požadované dráze (generuje interpolátor) a signálem o skutečně ujeté dráze (generuje odměřování) - oba signály se porovnávají a jejich rozdíl po zesílení se stává akční veličinou a slouží k provedení dráhy. Oba pracují po nenulových „skocích“, kterým říkáme přírůstky, neboli inkrementy. Každý pulz je signálem pro ujetí jednoho inkrementu (přírůstku) dráhy. Inkrement je nejmenší programovatelná (měřitelná) dráha. Body, do kterých vede řídicí systém nástroje, nejsou úsečky nebo oblouky, ale schodkovité čáry jednotlivých inkrementů mezi počátečním a koncovým bodem dráhy nástroje. Tyto schodkovité čáry a oblouky nahrazují teoretické zadané křivky. Na přesnost geometrie má vliv velikosti inkrementu - čím menší, tím lepší nahrazení. Používá se inkrement velikosti 0,001 mm i menší. Skutečný tvar dráhy po oblouku (Obr. 20). Obdobné znázornění by platilo při přímkovém pohybu funkcemi G01, G00, který není rovnoběžný s osami souřadnicové soustavy. [1]



Obr. 20. Interpolace dráhy kontury - inkrementy [1]

## **5 SHRNUTÍ TEORETICKÉ ČÁSTI A CÍLE PRAKTICKÉ ČÁSTI BAKALÁŘSKÉ PRÁCE**

V teoretické části bakalářské práce byly popsány metody frézování a frézovacích nástrojů. Větší část práce byla věnována úvodu do problematiky obrábění pomocí CNC strojů. Způsobům programování, definování trajektorií pohybu nástroje a CAD/CAM systémy, usnadňující generování NC kódu.

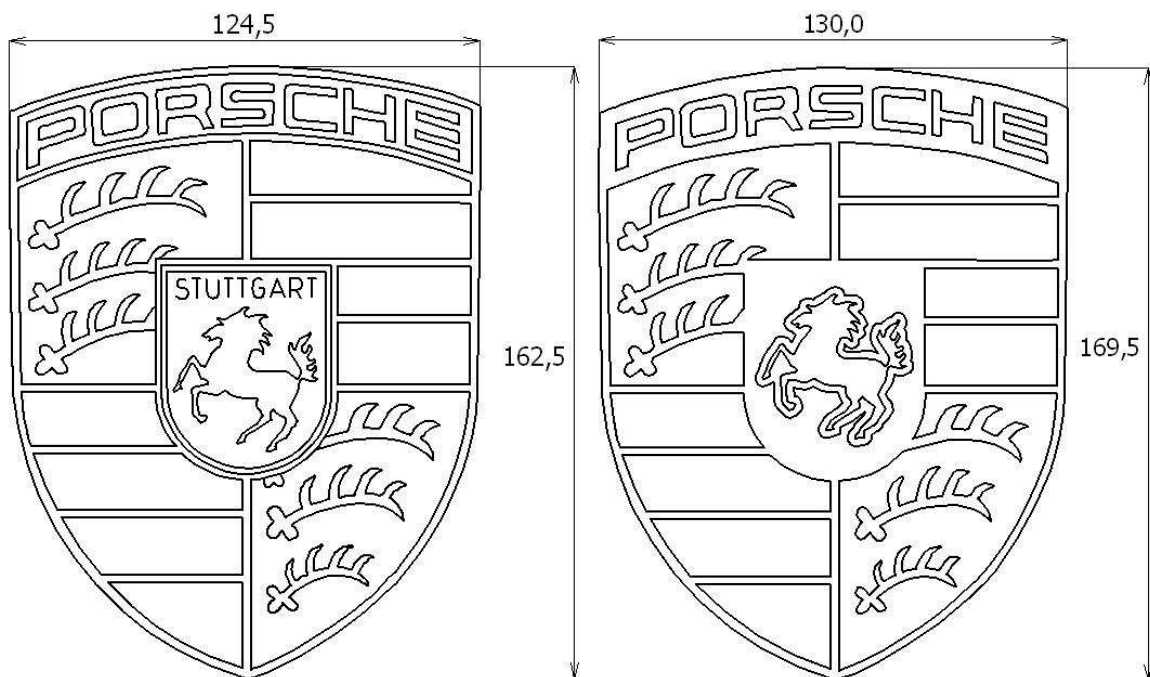
Cílem praktické části bakalářské práce je převedení bitmapové kopie obrázku do vektorové podoby, navržení řezných trajektorií a obrábění na frézce HWT C-442 CNC. Geometrie modelu je volena tak, aby bylo možné prezentovat obrábění kontur ve 2D a také obrábění ploch pro 3D obrábění v programu SurfCAM.



## **II. PRAKTICKÁ ČÁST**

## 6 VÝBĚR A MODELOVÁNÍ GEOMETRIE PRO STROJ HWT C-442 CNC

Výběr geometrie pro obrábění nebyl jednoduchý, mělo to být něco tvarově složitého, dobře vypadajícího a přitom obrobitelného na tříosé frézce HWT C-442 CNC Profi. Po dlouhém bádání a hledání na internetu byl vybrán znak automobilky Porsche, protože splňuje všechny, mnou stanovené, podmínky. Bylo vyrobeno několik verzí tohoto znaku. Tři rovinné verze obráběné pomocí 2D operací a jednu verzi, kde jsou použity 3D operace a celkový tvar znaku má prostorovou charakteristiku. Na 2D znak byla použita modelářská překližka tloušťky 4mm. Na 3D znak byl použit materiál Necuron 651. Rozměry v ose X a Y (Obr. 21).



Obr. 21. Základní rozměry vyráběného znaku Porsche, vlevo 2D znak, vpravo 3D znak

### 6.1 Parametry frézky HWT C-442 CNC Profi

Frézka je vhodná především pro výrobu grafitových elektrod, frézování plastů, dřeva, hliníku apod. Je vybavena kompenzací tepelné dilatace vřeteníku, osvětlením nástroje a pracovního prostoru, odsávacími hubicemi a úplným zakrytíváním. [6]

Tab. 4. Základní parametry [6]

|                                 |                                     |
|---------------------------------|-------------------------------------|
| Obráběcí prostor (X×Y×Z)        | 400 mm × 400 mm × 200 mm            |
| Velikost upínací plochy (X×Y)   | 500 mm × 500 mm, 8 mm T-drážky      |
| Programovatelná rychlost posuvu | max. 3 m/min                        |
| Programovatelný krok            | 0,00625 mm                          |
| Otáčky vřetena                  | 2000-25000 ot./min                  |
| Max. upínací průměr nástroje    | 10 mm                               |
| Motor vřetena                   | 1000 W univerzální                  |
| Řídící jednotka                 | PC                                  |
| Napájení                        | 230 V/50 Hz                         |
| Příkon                          | 2300 VA                             |
| Vnější rozměry (š×h×v)          | 1200 mm × 1000 mm × 1400 mm         |
| Hmotnost                        | 410 kg                              |
| Materiál obrobku                | grafit, plasty, dřevo, barevné kovy |
| Max. hmotnost obrobku           | 20 kg                               |



*Obr. 22. Frézka HWT C-442 CNC Profi*

## 6.2 Popis programu Inkscape

Inkscape je open source vektorový grafický editor, schopnostmi podobný programům jako Illustrator, Freehand, CorelDraw, nebo Xara X a to za použití W3C standardu škálovatelné vektorové grafiky (SVG). Mezi podporované SVG schopnosti patří tvary, cesty, text, značky, klonování, průhlednost, změna velikosti, barevné přechody, vzorky a seskupování. Inkscape také podporuje Creative Commons meta-data, editování uzlů, vrstvy, komplexní operace s křivkami, trasování bitmap, text na křivce, přímé editování XML a mnohem více. Inkscape je schopno importovat formáty jako JPEG, PNG, TIFF a další. Také může exportovat PNG stejně jako mnoho vektorových formátů. [7]

### 6.3 Popis programu Surfcam

SURFCAM je systém s technologickým (CAM) zaměřením. To znamená: obrábění modelu (formy, zápustky, elektrody atd.) od hrubovacích operací přes dokončovací operace až po zbytkové obrábění, ověření dráhy nástroje v SURFCAM Verify a následné přeložení dráhy nástroje (postprocesing) pro daný stroj (drátořez, soustruh, 2,5 až 5osá frézka s různými řídicími systémy).

SURFCAM však nabízí o něco více, než pouze technologickou (CAM) část. V tomto systému je samozřejmostí skutečné modelování a následné úpravy modelů a to jak modelů zde vytvořených, tak modelů převzatých z jiných systémů. Proto je tento produkt nabízen jako CAD/CAM systém. Tato skutečnost nabízí nesporné výhody oproti CAM systémům, které načítají cizí modely pouze jako sítě polygonů a tím pádem jako tzv. „polygonální mrtvoly“, které již nelze dále editovat nebo domodelovávat další potřebné části na modelu, formě, zápustce atd.

Z tohoto vyplývá hned několik výhod:

- Není potřeba vracet model do konstrukce (pokud je model dodaný např. z externí firmy, tak vrácení modelu provází často neúměrně zdlouhavé jednání) a potřebné úpravy udělat přímo v SURFCAMu.
- Tyto změny si provede sám technolog podle svého nejlepšího uvážení a tím pádem jsou „šité“ přímo na míru dané nástrojárny.
- Díky těmto zmíněným vlastnostem a možnostem načítání dat různých přenosových, ale i vnitřních formátů, stává se ze SURFCAMu velice užitečný pomocník na cestě při budování linky: MYŠLENKA - REALIZACE - VÝROBEK. [8]

### 6.4 NC obrábění 2D geometrie znaku Porsche

#### 6.4.1 Materiál 2D znaku – Modelářská překližka

Na 2D znak byla k dispozici modelářská překližka, skládající se z lichého počtu loupaných dřív, vzájemně slepených kolmo na směr vláken melamin-formaldehydovou pryskyřicí [13], tlustá 4mm. Vlivem křehkosti a vláknitosti materiálu byl výsledný produkt po obrobení na hranách otřepený a některé tenké stěny byly ulámané. Proto bylo vyfrézováno ně-

kolik verzí 2D znaku a postupně ubírány některé kroky obrábění, aby bylo docíleno co nejkvalitnějšího tvaru, bez otřepů a vylámaných kousků.

#### 6.4.2 Nástroje použité při obrábění 2D znaku

Protože byl k dispozici jen malý rozměr modelářské překližky, musela být upravena velikost znaku, aby byla možnost více pokusů. Na polotovar byly umístěny celkem tři frézované znaky Porsche. Frézovaný znak má na výšku asi 162 mm. Od celkové velikosti znaku se odvíjí i rozměr nejmenší mezery na výrobku a tím pádem i největší průměr frézy, kterou je možno nejmenší mezeru obrobit.

Tab. 5. Nástroje použité při obrábění 2D znaku [9]

| nástroj | $D$ [mm] | $l$ [mm] | $L$ [mm] | $d$ [mm] | $z$ | materiál | výrobce |
|---------|----------|----------|----------|----------|-----|----------|---------|
| T1      | 2        | 7        | 38       | 6        | 2   | RO       | ZPS     |
| T2      | 3        | 8        | 52       | 6        | 2   | RO       | ZPS     |
| T3      | 4        | 11       | 55       | 6        | 4   | RO       | ZPS     |

Legenda k obrázku a tabulce:

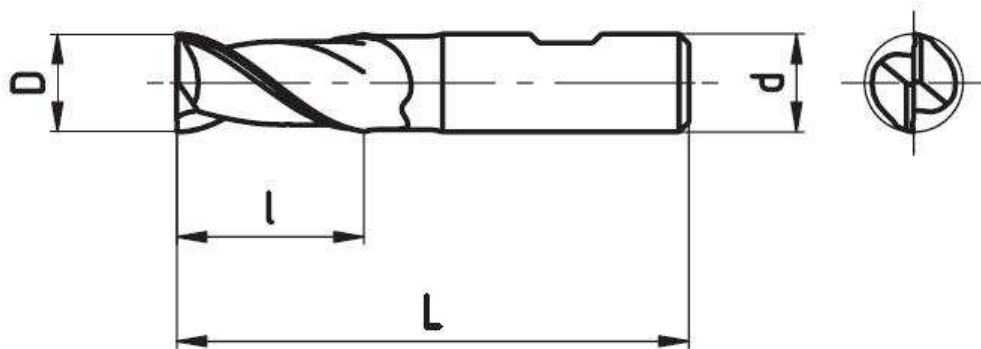
$D$  - je průměr řezné části frézy

$l$  - je délka řezné části frézy

$L$  - je délky celé frézy

$d$  - je průměr dřívku frézy

$z$  - je počet zubů (břitů) frézy



Obr. 23. Základní rozměry fréz [9]

Na první 2D verzi znaku Porsche byly použity frézy:

- T1 ( $\phi 2$  mm) pro rozměrově nejmenší obráběné „kapsy“ a kontury
- T3 ( $\phi 4$  mm) pro větší „kapsy“ a pro odfrézování znaku z polotovaru

Fréza  $\phi 2$  mm byla sice dvoubřitá, ale už hodně opotřebená a tupá, pro tenhle materiál. Hrany frézované touto frézou byly otřepené a nepěkné. Nicméně musela být použita i pro další verze znaku, protože jiná fréza  $\phi 2$  mm nebyla k dispozici. A u fréz menších průměrů je větší riziko zničení nástroje.

Fréza  $\phi 4$  mm byla nová, ale čtyřbřitá, na překližku tím pádem nevhodná, otřep je zde znát také.

Na druhou a třetí 2D verzi znaku Porsche byly použity frézy:

- T1 ( $\phi 2$  mm) pro rozměrově nejmenší obráběné „kapsy“ a kontury
- T2 ( $\phi 3$  mm) pro zbytek obrábění

Fréza  $\phi 3$  mm byla dvoubřitá a nová, otřep je minimální a hrany vzhledově perfektní.

Na některé kapsy mohla být použita fréza většího průměru pro ušetření strojního času, ale aby byly poloměry v rozích co nejmenší a nemuselo se dokončovat menším nástrojem, byla ponechána fréza  $\phi 3$  mm. Také byl ušetřen čas, který by byl potřeba k výměně nástroje.

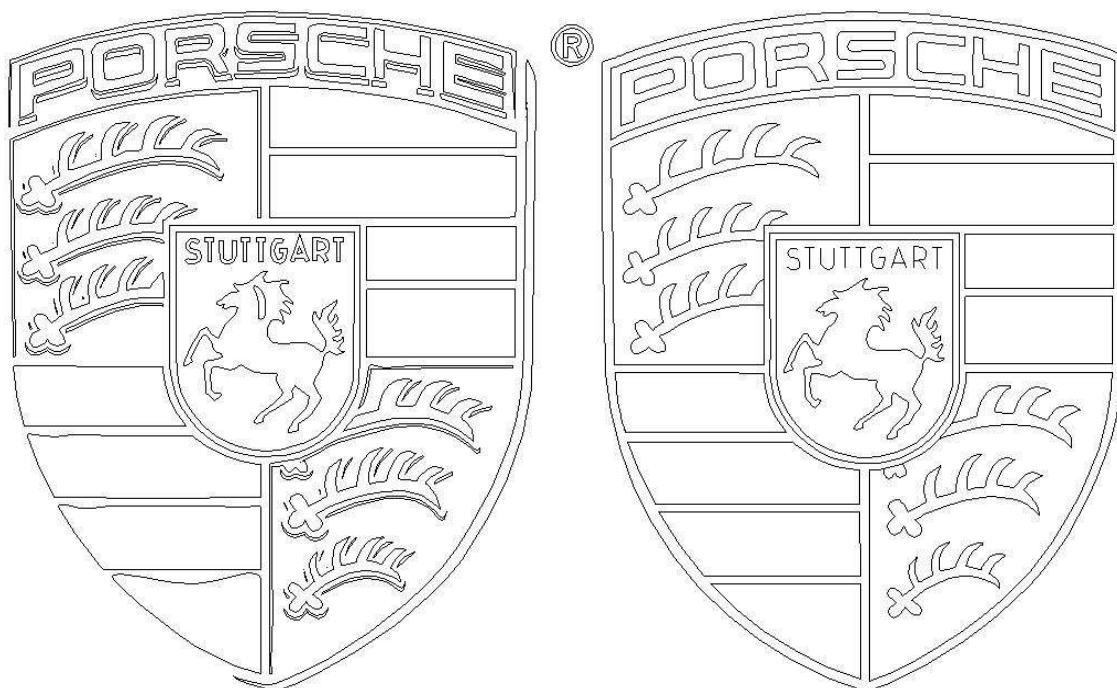
### 6.4.3 Modelování geometrie 2D znaku

Obrázek, který sloužil jako šablona, byl stažen z internetu, obrázek byl vložen do programu INKSCAPE, který je šířený v licenci GNU (General Public Licence verze 2). Program Inkscape pomocí funkce „Trasovat bitmapu“ zanechá z obrázku jen obrysy, hrany a přechody mezi barvami. Takto „okleštěný“ obrázek se dá v programu Inkscape uložit jako soubor s příponou DXF. A tento typ souboru se dá otevřít v libovolném systému CAD a tam dále upravovat. Já jsem jej upravoval ve školní verzi programu AutoCAD, až do finální podoby, kdy zůstaly jen obrysové hrany kapes a celého znaku Porsche.

Po prvním obrábění tohoto znaku byly zjištěny nedostatky této verze a obrázek byl dále upravován v programu AutoCAD. Vznikly tím další dvě verze.



Obr. 24. Bitmapový obrázek [10]



Obr. 25. vlevo vektorový obrázek vygenerovaný programem Inkscape, vpravo obrázek po úpravě v programu AutoCAD



#### 6.4.4 Obrábění 2D znaku

Obrábění plošného znaku Porsche bylo programováno v programu SurfCAM 2003 Velocity, který je na školních počítačích, pouze pomocí 2D operací, konkrétně potom pomocí funkce „pocket“ (kapsa) a „contour“ (kontura). Tyto dvě funkce stačily na naprogramování celého obrábění plošného znaku automobilky Porsche. Byla provedena verifikace programu a postprocessor napsal NC kód srozumitelný pro stroj HWT C-442 CNC Profi. Modelářská překližka byla připevněna hřebíky na dřevěný přípravek a ten byl připevněn šrouby k pohyblivému pracovnímu stolu frézky. Bylo provedeno frézování, u všech verzí 2D znaku, s jednou výměnou nástroje. Dále bylo provedeno ruční začištění otřepů vyfrézovaných znaků smirkovým papírem.



*Obr. 26. První verze znaku vlevo ihned po frézování, vpravo po začištění smirkovým papírem*



*Obr. 27. Druhá verze znaku vlevo ihned po frézování, vpravo po začištění smirkovým papírem*



*Obr. 28. Třetí verze znaku po začištění smirkovým papírem*

## 6.5 NC obrábění 3D geometrie znaku

### 6.5.1 Materiál 3D znaku – Necuron 651

Materiál, ze kterého byl vyráběn 3D znak má obchodní označení NECURON 651. Je to umělý materiál velice podobný dřevu. Tohoto materiálu bylo k dispozici dostatečné množství na jakkoliv veliký výrobek. Byla zvolena šířka znaku přesně 130 mm, aby bylo možné porovnat přesnost frézování stroje. Byly vyrobeny dva úplně stejné znaky.

Materiál NECURON vyrábí německá firma Necumer v několika různých hustotách materiálu. S označením NECURON a za tímhle názvem číslo a právě tohle číslo rozlišuje hustoty tohoto materiálu. Čím vyšší číslo, tím má materiál Necuron vyšší hustotu (Tab. 6).

Materiál se dělí na tři základní skupiny pro:

- všeobecné modelování NECURON 100, 160, 250, ..., 620, 640, 651
- výrobu nástrojů a předmětů NECURON 701, 702, 770, ..., 1150, 1300, 1600
- lití NECURON K2, K4, K6, ..., K13, S4, S6 (Tekutá látka, po smíchání dvou tekutých látek materiál tuhne během několika hodin při pokojové teplotě, ztuhlá fáze této směsi se dá srovnat s materiálem Necuron pro všeobecné modelování, nebo pro výrobu nástrojů a předmětů.) [11]

#### 6.5.1.1 Hustoty materiálu Necuron podle označení

Tab. 6. Hustoty materiálu  
Necuron [11]

| Necuron | Hustota [kg/m <sup>3</sup> ] |
|---------|------------------------------|
| 100     | 100                          |
| 250     | 200                          |
| 400     | 400                          |
| 600     | 650                          |
| 651     | 700                          |

|      |      |
|------|------|
| 701  | 760  |
| 770  | 770  |
| 1300 | 1150 |
| 1600 | 1600 |

### 6.5.2 Nástroje použité při obrábění 3D znaku

Tab. 7. Nástroje použité při obrábění 3D znaku [12]

| nástroj | $D$ [mm] | $l$ [mm] | $L$ [mm] | $d$ [mm] | $z$ | materiál | výrobce |
|---------|----------|----------|----------|----------|-----|----------|---------|
| T1      | 2        | 7        | 38       | 6        | 2   | RO       | ZPS     |
| T4      | 5        | 20       | 50       | 5        | 2   | RO       | SECO    |
| T5      | 8k       | 20       | 65       | 8        | 2   | RO       | SECO    |
| T6      | 10       | 25       | 80       | 10       | 2   | RO       | SECO    |

Na frézování prostorového znaku byly použity tyto nástroje:

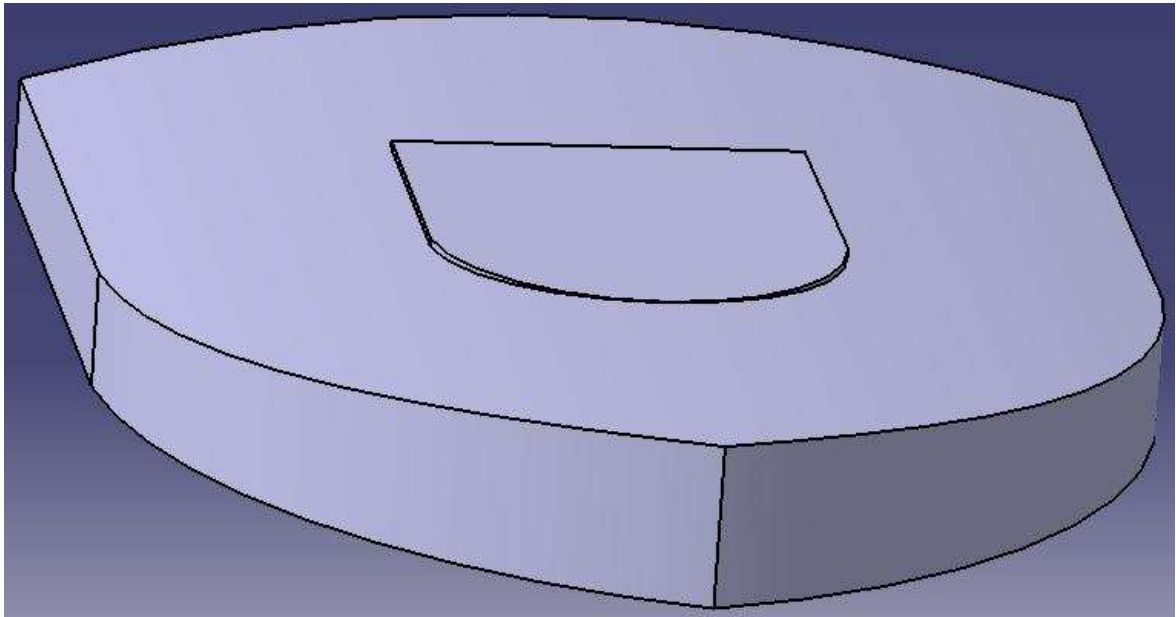
- válcová fréza T6 ( $\phi 10$  mm) na vyhrubování základního tvaru znaku
- kulová fréza T5 ( $\phi 8$  mm) finální vnější zakřivená plocha znaku
- válcová fréza T4 ( $\phi 5$  mm) hrubování vnitřních kapes znaku
- válcová fréza T1 ( $\phi 2$  mm) dokončení vnitřních kapes a kontur (kůň a nápis PORSCHE)

Všechny použité frézy byly kvalitní ostré a relativně nové, až na válcovou frézu  $\phi 2$  mm. Tahle fréza  $\phi 2$  mm opět musela být použita, protože jiná nebyla k dispozici. Ovšem na vyfrézovaném materiálu Necuron 651 nebylo vůbec znát, že byl obráběn otupenou frézou. Na materiálu nebyly žádné nekvalitní otřepené hrany. Pro materiál Necuron 651 byla tupá válcová fréza  $\phi 2$  mm dostačující.

### 6.5.3 Modelování geometrie 3D znaku

Na vymodelování 3D znaku posloužily obrysové čáry a křivky první verze 2D znaku. Plošné přímky a křivky byly vytaženy do prostoru o 20 mm, následně byla seříznuta horní

vnější oblá plocha proloženým obloukem poloměru 357 mm. Vše pomocí programu Catia V5R18. Výška 20 mm byla zanechána jen uprostřed znaku a u celého středového erbu s koněm. Na takto připravený 3D model (Obr. 30), byl promítnut mírně poupravený obrázek z první verze 2D znaku. První verze obrázku byla na překližce nedokonalá a otřepená, ale pro 3D znak byla použita, protože se materiál Necuron 651 neštípá a není vláknitý.



*Obr. 29. Základní tvar 3D znaku*

#### **6.5.4 Obrábění 3D znaku**

Model vnějšího tvaru znaku byl uložen v Catii ve formátu s koncovkou IGES a následně byl vložen do programu Surfcam. První operace byla hrubování vnějšího tvaru válcovou frézou  $\phi 10$  mm. Druhá operace byla „planar“ dokončení vnějšího tvaru 3D součásti kulovou frézou  $\phi 8$  mm. Další operace obrábění byly naprogramovány pomocí 2D funkcí „pocket“ (kapsa) a „contour“ (kontura). Hrubování válcovou frézou  $\phi 5$  mm a dokončení válcovou frézou  $\phi 2$  mm. Naprogramovaný postup byl verifikován a následně postprocesorem vygenerován kód pro frézku HWT C-442 CNC Profi. K pracovnímu posuvnému stolu frézky byl přišroubován svěrák, do něj byl upnut menší kus materiálu Necuron 651 a na tento kus byl přilepen sekundovým lepidlem polotovar pro 3D znak Porsche (Obr. 31).



*Obr. 30. Polotovár připravený k obrábění*



*Obr. 31. 3D znak po první operaci, hrubování*



*Obr. 32. 3D znak po druhé operaci, „planar“*



*Obr. 33. 3D znak po třetí operaci, hrubování kapes*



*Obr. 34. Dokončený 3D znak*



## 7 POROVNÁNÍ STROJNÍCH ČASŮ VYPOČTENÝCH PROGRAMEM SURFCAM A SKUTEČNÝCH

U každého kroku, tedy po každé výměně nástroje, kdy byl zapnut samostatný frézovací program, byl stopován čas, od začátku obrábění po dokončení kroku. Tyto stopované časy byly následně srovnány s dobou vypočtenou programem Surfcam. Časy se docela výrazně liší (Tab. 8, 9). Je to dané tím že program vypočítává časy podle rychlosti posuvu a dráhy, kterou daný nástroj urazí během obrábění. Program ovšem nezohledňuje to, že nástroj nemá pořád stejný posuv, posuv frézy se při změně směru přibrzdí. A právě v tuhle chvíli dojde k nárůstu strojního času. Protože fréza mění směr velice často, jsou mezi vypočtenými časy a změřenými stopkami velké rozdíly. Velké rozdíly v časech jsou zejména u frézování 3D znaku, u hrubování kapes a dokončování, kde nástroj měnil směr neustále.

Tab. 8. Strojní časy 2D znaku

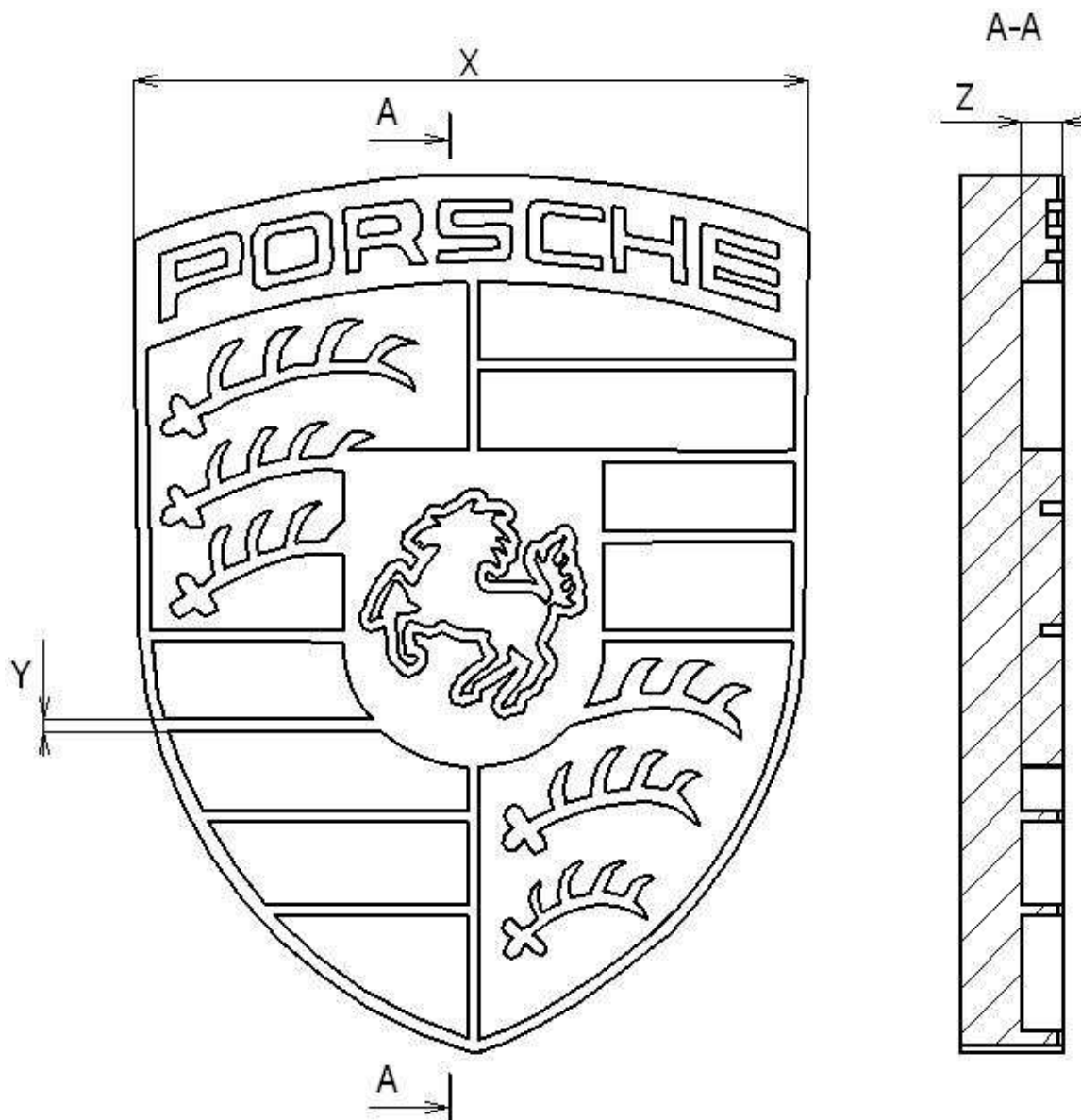
| 2D znak              | nástroj | Otáčky<br>[ot/min] | Posuv<br>[mm/min] | Čas změřený<br>[min] | Čas vypočtený<br>[min] |
|----------------------|---------|--------------------|-------------------|----------------------|------------------------|
| 1. Verze 2D znaku    | T1      | 15700              | 400               | 32,9                 | 31,9                   |
|                      | T3      | 15700              | 400               | 27,4                 | 22,9                   |
| Celkový čas obrábění |         |                    |                   | 60,3                 | 54,8                   |
| 2. Verze 2D znaku    | T1      | 15700              | 400               | 4,1                  | 3,6                    |
|                      | T2      | 15700              | 400               | 41,6                 | 40                     |
| Celkový čas obrábění |         |                    |                   | 45,7                 | 43,6                   |
| 3. Verze 2D znaku    | T1      | 15700              | 400               | 3,8                  | 2,9                    |
|                      | T2      | 15700              | 400               | 10,6                 | 9,3                    |
| Celkový čas obrábění |         |                    |                   | 14,4                 | 12,2                   |

Tab. 9. Strojní časy 3D znaku

| 3D znak              | nástroj | Otáčky<br>[ot/min] | Posuv<br>[mm/min] | Čas změřený<br>[min] | Čas vypočtený<br>[min] |
|----------------------|---------|--------------------|-------------------|----------------------|------------------------|
| Hrubování            | T6      | 12700              | 2500              | 9,6                  | 5,5                    |
| Planar               | T5      | 12700              | 2500              | 28,8                 | 17,3                   |
| Hrubování kapes      | T4      | 12700              | 2500              | 23,2                 | 5,9                    |
| Dokončování          | T1      | 12700              | 2500              | 12,5                 | 3,9                    |
| Celkový čas obrábění |         |                    |                   | 74,1                 | 32,6                   |

## 8 KONTROLA GEOMETRIE VYROBENÉHO 3D ZNAKU

Byly vyrobeny dva 3D znaky Porsche a na každém byly měřeny a kontrolovány tři rozměry, v každé ose obrábění jeden (Obr. 36). Každý rozměr desetkrát, z toho byla později vypočítána směrodatná odchylka.



Obr. 35. Měřené rozměry na 3D znaku

Rozměr  $x$  označuje šířku celého znaku na horní hraně. Tento rozměr by měl být 130 mm, podle vektorového obrázku z programu AutoCAD.

Rozměr  $y$  označuje tloušťku druhého žebra na levé části znaku. Žebro by mělo být tlusté 2,27 mm, podle vektorového obrázku z programu AutoCAD.

Rozměr  $z$  označuje hloubku obrobené kapsy, měřenou od plochy středového erbu s koněm. Hloubka by měla být 8 mm, podle naprogramování v SurfCAMu.

Všechny rozměry byly měřeny posuvným měřidlem značky Mitutoyo s rozlišitelností 0,01 mm.

## 8.1 První 3D znak

### 8.1.1 Měření rozměru $x$ u prvního znaku

*Tab. 10. Rozměr  $x$  prvního znaku*

| Číslo měření        | $x$ [mm] |
|---------------------|----------|
| 1                   | 130,11   |
| 2                   | 130,10   |
| 3                   | 130,10   |
| 4                   | 130,08   |
| 5                   | 130,07   |
| 6                   | 130,09   |
| 7                   | 130,06   |
| 8                   | 130,05   |
| 9                   | 130,07   |
| 10                  | 130,06   |
| $\Sigma$            | 1300,79  |
| Aritmetický průměr  | 130,079  |
| Směrodatná odchylka | 0,020    |

Aritmetický průměr rozměru  $x$

$$x = \frac{1}{n} \cdot (x_1 + x_2 + \dots + x_n) \quad (1)$$

$$x = \frac{1}{10} \cdot (130,11 + 130,10 + \dots + 130,06)$$

$$x = 130,079 \text{ mm}$$

Směrodatná odchylka

$$\delta = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \varepsilon_i^2}{n-1}} \quad (2)$$

$$\delta = \sqrt{\frac{0,003690}{10-1}}$$

$$\delta = 0,020 \text{ mm}$$

Výsledek měření

$$x_1 = 130,079 \pm 0,020 \text{ mm}$$

### 8.1.2 Měření rozměru $y$ u prvního znaku

Tab. 11. Rozměr  $y$  prvního znaku

| Číslo měření | $y$ [mm] |
|--------------|----------|
| 1            | 2,10     |
| 2            | 2,09     |
| 3            | 2,08     |
| 4            | 2,09     |
| 5            | 2,07     |
| 6            | 2,10     |
| 7            | 2,10     |
| 8            | 2,09     |

|                     |       |
|---------------------|-------|
| 9                   | 2,09  |
| 10                  | 2,11  |
| $\Sigma$            | 20,92 |
| Aritmetický průměr  | 2,092 |
| Směrodatná odchylka | 0,011 |

Výsledek měření

$$y_1 = 2,092 \pm 0,011 \text{ mm}$$

### 8.1.3 Měření rozměru z u prvního znaku

Tab. 12. Rozměr z prvního znaku

| Číslo měření        | z [mm] |
|---------------------|--------|
| 1                   | 7,94   |
| 2                   | 7,89   |
| 3                   | 8,02   |
| 4                   | 8,07   |
| 5                   | 7,97   |
| 6                   | 7,89   |
| 7                   | 7,97   |
| 8                   | 7,85   |
| 9                   | 7,95   |
| 10                  | 7,92   |
| $\Sigma$            | 79,47  |
| Aritmetický průměr  | 7,947  |
| Směrodatná odchylka | 0,065  |

Výsledek měření

$$z_1 = 7,947 \pm 0,065 \text{ mm}$$

## 8.2 Druhý 3D znaku

### 8.2.1 Měření rozměru x u druhého znaku

Tab. 13. Rozměr x druhého znaku

| Číslo měření        | x [mm]  |
|---------------------|---------|
| 1                   | 130,05  |
| 2                   | 130,06  |
| 3                   | 130,04  |
| 4                   | 130,03  |
| 5                   | 130,08  |
| 6                   | 130,06  |
| 7                   | 130,04  |
| 8                   | 130,08  |
| 9                   | 130,05  |
| 10                  | 130,04  |
| $\Sigma$            | 1300,53 |
| Aritmetický průměr  | 130,053 |
| Směrodatná odchylka | 0,017   |

Výsledek měření

$$x_2 = 130,053 \pm 0,017 \text{ mm}$$

### 8.2.2 Měření rozměru $y$ u druhého znaku

Tab. 14. Rozměr  $y$  druhého znaku

| Číslo měření        | $y$ [mm] |
|---------------------|----------|
| 1                   | 2,06     |
| 2                   | 2,05     |
| 3                   | 2,07     |
| 4                   | 2,09     |
| 5                   | 2,11     |
| 6                   | 2,10     |
| 7                   | 2,07     |
| 8                   | 2,08     |
| 9                   | 2,05     |
| 10                  | 2,05     |
| $\Sigma$            | 20,73    |
| Aritmetický průměr  | 2,073    |
| Směrodatná odchylka | 0,022    |

Výsledek měření

$$y_2 = 2,073 \pm 0,022 \text{ mm}$$



### 8.2.3 Měření rozměru $z$ u druhého znaku

Tab. 15. Rozměr  $z$  druhého znaku

| Číslo měření        | $z$ [mm] |
|---------------------|----------|
| 1                   | 8,04     |
| 2                   | 8,02     |
| 3                   | 8,10     |
| 4                   | 8,10     |
| 5                   | 8,10     |
| 6                   | 8,07     |
| 7                   | 8,05     |
| 8                   | 8,05     |
| 9                   | 8,11     |
| 10                  | 8,09     |
| $\Sigma$            | 80,73    |
| Aritmetický průměr  | 8,073    |
| Směrodatná odchylka | 0,031    |

Výsledek měření

$$z_2 = 8,073 \pm 0,031 \text{ mm}$$

## ZÁVĚR

Byla převedena bitmapová kopie obrázku do vektorové podoby pomocí programu Inkscape. Geometrie modelu je volena tak, aby bylo možné prezentovat obrábění kontur ve 2D a také obrábění ploch pro 3D znak automobilky Porsche. Vektorový obrázek byl upraven v programu AutoCAD. Řezné trajektorie byly naprogramovány programem SurfCAM a obráběny na frézce HWT C-442 CNC.

2D geometrie byla obráběna do modelářské překližky, výsledný obrobek byl nekvalitně obroben, hrany byly otřepené a některá tenká žebra znaku byla vylámána. Bylo to způsobeno zejména vláknitostí a křehkostí modelářské překližky, podíl na otřepených okrajích měla taky tupost frézovacích nástrojů. Kdyby bylo frézováno do plastu, který není vláknitý a je houževnatější než modelářská překližka, byl by výsledný obrobek určitě bez otřepů a vylámaných tenkých žeber.

3D geometrie byla obráběna do materiálu Necuron 651, tento materiál byl ideální pro obrábění 3D znaku. Hrany zůstaly bez otřepů, ostré a neulámané. Materiál je lehký, drží tvar a dá se obrábět vysokým posuvem.

Strojní časy změřené a vypočtené programem SurfCAM se velice liší. Někdy je změřený čas frézování i několikanásobně vyšší než čas, který spočítal SurfCAM. Je to dané tím, že při změně směru nástroje je posuv pomalejší než, když jede dlouze po jedné rovné stopě. Několikanásobně vyšší časy byly u operací, kdy nástroj často měnil směr, jako třeba hrubování kapes u 3D obrábění (Tab. 9), kde byl skutečný odměřený čas 23,2 minut a čas který odhadoval SurfCAM byl 5,9 minut.

Rozměr  $x$ , který měl být podle AutoCADu 130mm, byl ve skutečnosti u prvního znaku  $130,079 \pm 0,020$ mm a u druhého znaku  $130,053 \pm 0,017$ mm. Rozměr  $x$  byl obroben velice přesně.

Rozměr  $y$ , který měl být podle AutoCADu 2,27mm, byl ve skutečnosti u prvního znaku  $2,092 \pm 0,011$ mm a u druhého znaku  $2,073 \pm 0,022$ mm. Rozměr  $y$  byl, u obou znaků, asi o 0,2mm menší než měl být. Je to zřejmě způsobeno mírným prohnutím žebra znaku při obrábění, bylo ubráno víc materiálu, než by bylo ubráno u pevnějšího materiálu.

Rozměr  $z$ , který měl být podle NC programu v SurfCAMu 8mm, byl ve skutečnosti u prvního znaku  $7,947 \pm 0,065$ mm a u druhého znaku  $8,073 \pm 0,031$ mm. Rozměr  $z$  byl obroben

velice přesně, mírné rozdíly vznikly nastavováním nuly v  $Z$  souřadnicích pomocí ručního posuvu stroje.

V přílohách na CD jsou vygenerované NC kódy pro frézku HWT C-442 CNC Profi.

## SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] ŠTULPA, M. CNC obráběcí stroje a jejich programování : 1.vyd.. Praha : BEN - technická literatura, 2006. 126 p.
- [2] NEDBAL, R. *Strojírenská technologie : pracovní sešit pro 3. ročník SPŠ*. Zlín, 104 p.
- [3] NEDBAL, R. *Programování CNC strojů : Pracovní sešit pro 2. ročník SPŠ*. Zlín, 66 p.
- [4] KOČMAN, K. Speciální technologie: obrábění : 3.,přepřac. a dopl. vyd.. Brno : CERM, 2004. 227 p.
- [5] VRABEC, M.; MÁDL, J. *NC PROGRAMOVÁNÍ V OBRÁBĚNÍ*. 1st ed. Praha, 2004. 92 p.
- [6] AZK - *Frézky HWT ŘADA C Profi* [online]. 2009 [cit. 2009-05-28]. Dostupný z WWW: <<http://www.azk.cz/line-c-profi.php?lang=cz>>
- [7] *Inkscape* [online]. 2009 [cit. 2009-05-28]. Dostupný z WWW: <<http://www.inkscape.org/index.php?lang=cs>>
- [8] *SURFCAM* [online]. 2009 [cit. 2009-05-28]. Dostupný z WWW: <http://www.3ep Praha.cz/>
- [9] *ZPS-FRÉZOVACÍ NÁSTROJE : Frézy válcové čelní* [online]. 2008 [cit. 2009-05-28]. Dostupný z WWW: <<http://www.zps-fn.cz/katalog-frez/frezy-valcove-celni/>>
- [10] VERNER, Jiří. *Hledej servis : PORSCHE* [online]. c2007 [cit. 2009-05-28]. Dostupný z WWW: <[http://www.hledejservis.cz/servis-znacky\\_porsche](http://www.hledejservis.cz/servis-znacky_porsche)>
- [11] *Necumer : necuron* [online]. [2009] [cit. 2009-05-28]. Dostupný z WWW: <[http://www.necumer.de/index.php?link=produkte\\_gruppen](http://www.necumer.de/index.php?link=produkte_gruppen)>
- [12] ROUSAR. *Briol : Nástroje SECO* [online]. [2009] [cit. 2009-05-28]. Dostupný z WWW: <<http://www.briol-lit.prodejce.cz/N%E1stroje%20SECO.php>>
- [13] *Strong wood : Překližky - modelářské* [online]. 2007 [cit. 2009-05-28]. Dostupný z WWW: <[http://strongwood.cz/index.php?pos=\\_vert&lan=&id=6](http://strongwood.cz/index.php?pos=_vert&lan=&id=6)>

## SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

|          |  |
|----------|--|
| CNC      | Computer Numerical Control                                   |
| CAD      | Computer-aided design (počítačem podporované projektování)   |
| CAM      | Computer-aided manufacturing (počítačem podporovaná výroba)  |
| NC       | Numerical Control  |
| CIM      | Computer Integrated Manufacturing                            |
| TPV      | Technická příprava výroby                                    |
| N        | Číslo bloku  |
| G        | Přípravná funkce   |
| M        | Pomocná funkce   |
| X, Y, Z  | Souřadnice bodu nebo inkrementy v jednotlivých osách         |
| F        | Posuv  |
| S        | Otáčky vřetena   |
| T        | Číslo nástroje   |
| W3C      | World Wide Web Consortium (mezinárodní konsorcium)           |
| SVG      | Scalable Vector Graphics (škálovatelná vektorová grafika)    |
| PNG      | Portable Network Graphics (přenosná síťová grafika)          |
| DWG      | Nativním formát souborů (výkresů) programu AutoCAD (DraWinG) |
| D        | Průměr řezné části frézy                                     |
| l        | Délka řezné části frézy                                      |
| L        | Délky celé frézy   |
| d        | Průměr dřívku frézy  |
| z        | Počet zubů(břitů) frézy                                      |
| $\Sigma$ | Suma   |

$\varepsilon$       Úchylka od aritmetického průměru

$\delta$       Směrodatná odchylka

**SEZNAM OBRÁZKŮ**

|  |    |
|--|----|
| Obr. 1. Nesousledné frézování[2] .....   | 11 |
| Obr. 2. Sousledné frézování [2] .....  | 12 |
| Obr. 3. Čelní frézování [2].....   | 13 |
| Obr. 4. Systém stavění souřadnic [3].....  | 15 |
| Obr. 5. Pravoúhlé řízení [3] .....   | 16 |
| Obr. 6. Souvislé řízení 2D [3].....  | 16 |
| Obr. 7. Souvislé řízení 3D [3].....  | 17 |
| Obr. 8. Souvislé řízení 4D příp5D [3] .....  | 17 |
| Obr. 9. Struktura programovaného slova [4] .....   | 20 |
| Obr. 10. Struktura programovaného bloku [4] .....  | 21 |
| Obr. 11. Rozměry osmistopé děrné pásky [4] .....   | 24 |
| Obr. 12. Definování kartézských souřadnic – pravotočivá soustava [1] .....   | 29 |
| Obr. 13. Souřadný systém pro programování [4] .....  | 30 |
| Obr. 14. Souřadnicový systém soustruhu a nulové body [1].....  | 32 |
| Obr. 15. Souřadnicový systém frézky a nulové body [1] .....  | 33 |
| Obr. 16. Absolutní programování [3] .....  | 34 |
| Obr. 17. Přírůstkové programování [3].....   | 34 |
| Obr. 18. Měření délkových korekcí na frézce [1].....   | 36 |
| Obr. 19. Fréza pravotočivá obrábí v různých polohách zadanou konturu obrobku [1].....                                  | 37 |
| Obr. 20. Interpolace dráhy kontury - inkrementy [1] .....  | 39 |
| Obr. 21. Základní rozměry vyráběného znaku Porsche, vlevo 2D znak, vpravo 3D<br>znak .....                             | 42 |
| Obr. 22. Frézka HWT C-442 CNC Profi .....  | 44 |
| Obr. 23. Základní rozměry fréz [9].....  | 46 |
| Obr. 24. Bitmapový obrázek [10] .....  | 48 |
| Obr. 25. vlevo vektorový obrázek vygenerovaný programem Inkscape, vpravo<br>obrázek po úpravě v programu AutoCAD ..... | 48 |
| Obr. 26. První verze znaku vlevo ihned po frézování, vpravo po začištění<br>smirkovým papírem.....                     | 49 |
| Obr. 27. Druhá verze znaku vlevo ihned po frézování, vpravo po začištění<br>smirkovým papírem.....                     | 50 |
| Obr. 28. Třetí verze znaku po začištění smirkovým papírem.....   | 50 |

---

|  |    |
|--|----|
| Obr. 29. Základní tvar 3D znaku .....                    | 53 |
| Obr. 30. Polotovar připravený k obrábění .....           | 54 |
| Obr. 31. 3D znak po první operaci, hrubování .....       | 54 |
| Obr. 32. 3D znak po druhé operaci, „planar“ .....        | 55 |
| Obr. 33. 3D znak po třetí operaci, hrubování kapes ..... | 55 |
| Obr. 34. Dokončený 3D znak .....                         | 56 |
| Obr. 35. Měřené rozměry na 3D znaku .....                | 59 |



**SEZNAM TABULEK**

|  |    |
|--|----|
| <i>Tab. 1 Význam a rozsah adres [4]</i> .....                    | 25 |
| <i>Tab. 2 Seznam pomocných funkcí [4], [5]</i> .....             | 26 |
| <i>Tab. 3 Seznam přípravných funkcí [3], [4], [5]</i> .....      | 27 |
| <i>Tab. 4. Základní parametry [6]</i> .....                      | 43 |
| <i>Tab. 5. Nástroje použité při obrábění 2D znaku [9]</i> .....  | 46 |
| <i>Tab. 6. Hustoty materiálu Necuron [11]</i> .....              | 51 |
| <i>Tab. 7. Nástroje použité při obrábění 3D znaku [12]</i> ..... | 52 |
| <i>Tab. 8. Strojní časy 2D znaku</i> .....                       | 57 |
| <i>Tab. 9. Strojní časy 3D znaku</i> .....                       | 58 |
| <i>Tab. 10. Rozměr x prvního znaku</i> .....                     | 60 |
| <i>Tab. 11. Rozměr y prvního znaku</i> .....                     | 61 |
| <i>Tab. 12. Rozměr z prvního znaku</i> .....                     | 62 |
| <i>Tab. 13. Rozměr x druhého znaku</i> .....                     | 63 |
| <i>Tab. 14. Rozměr y druhého znaku</i> .....                     | 64 |
| <i>Tab. 15. Rozměr z druhého znaku</i> .....                     | 65 |

## SEZNAM PŘÍLOH

PI CD disk obsahující:

- NC kódy pro obrábění na frézce HWT C-442 CNC
- textovou část bakalářské práce