

# Víceosé operace pro výrobu součásti na soustružnicko-frézovacím centru

Bc. Tomáš Petruskóvský

---

Diplomová práce  
2020



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta technologická

---

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav výrobního inženýrství

Akademický rok: 2019/2020

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení:	Bc. Tomáš Petruskavský
Osobní číslo:	T18597
Studijní program:	N3909 Procesní inženýrství
Studijní obor:	Výrobní inženýrství
Forma studia:	Kombinovaná
Téma práce:	Víceosé operace pro výrobu součástí na soustružnicko-frézovacím centru

### Zásady pro vypracování

1. Teoretická studie na dané téma
2. Návrh obráběcích strategií s využitím soustružnicko-frézovacích operací
3. Volba nástrojů, rezných podmínek, vztažných bodů, upnutí a polotovaru
4. Verifikace a výroba součástí na obráběcím centru NTX 1000

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

**Seznam doporučené literatury:**

SMID, Peter. *CNC programming handbook: a comprehensive guide to practical CNC programming*. 3rd ed. New York, NY: Industrial Press, c2008, XX, 540 s. ISBN 978-0-8311-3347-4.

GRZESIK, Wit. *Advanced Machining Processes of Metallic Materials: Theory, Modelling, and Applications*. Elsevier, 2016.

VRABEC, Martin. *Metodika programování obráběcích strojů s číslicovým řízením*. V Ústí nad Labem: Univerzita J.E. Purkyně, 2012, 109 s. ISBN 978-80-7414-499-8.

Siemens Documentation. [online]. Dostupné z: [https://docs.plm.automation.siemens.com/tdoc/nx/12.0.2/nx\\_help/#uid:xid1128418:index\\_mfggenera](https://docs.plm.automation.siemens.com/tdoc/nx/12.0.2/nx_help/#uid:xid1128418:index_mfggenera)

Vedoucí diplomové práce: **doc. Ing. Ondřej Bílek, Ph.D.**  
Ústav výrobního inženýrství

Datum zadání diplomové práce: **2. ledna 2020**  
Termín odevzdání diplomové práce: **15. května 2020**

L.S.

---

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

---

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

Ve Zlíně dne 10. února 2020

## **PROHLÁŠENÍ AUTORA DIPLOMOVÉ PRÁCE**

Beru na vědomí, že:

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

### **Prohlašuji,**

- že jsem diplomové práci pracoval samostatně a použitou literaturu jsem citoval. V případě publikace výsledků budu uveden jako spoluautor.
- že odevzdaná verze diplomové práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou obsahově totožné.

Ve Zlíně dne:

Jméno a příjmení studenta:

.....  
podpis studenta

## **ABSTRAKT**

Cílem této diplomové práce byla výroba dílu podle technické dokumentace na soustružnicko-frézovacím centru DMG NTX 1000. V teoretické části byly objasněny technologie frézování a soustružení, problematika CNC strojů a jejich programování.

Praktická část byla zaměřena na výrobu a její přípravu. Nejprve byl vytvořen technologický postup výroby a určeny potřebné nástroje. Poté se pokračovalo tvorbou programu pomocí dílenského programování v systému Celos a jeho následným odlaďováním. Na závěr po vyrobení dílce bylo provedeno zhodnocení časové náročnosti výroby.

Klíčová slova: soustružení, frézování, CNC stroj, postup výroby, programování

## **ABSTRACT**

The aim of this diploma thesis was the production of a part according to the technical documentation on the turning-milling center DMG NTX 1000. In the theoretical part there were explained the technologies of milling and turning, the issue of CNC machines and their programming.

The practical part was focused on the production and its preparation. First, the technological process of the production was created and the necessary tools were determined. Then the creation of the program continued with workshop programming in the Celos system and its subsequent debugging. Finally, after the production of the part, an evaluation of the time required for production was performed.

Keywords: turning, milling, CNC machine tool, production process, programming

**Poděkování:**

Touto cestou bych chtěl poděkovat vedoucímu diplomové práce panu doc. Ing. Ondřej Bílek, Ph.D. za cenné rady, poznatky, ochotu a čas který mi věnoval během tvorby diplomové práce. A také za cennou zkušenost s obsluhou moderního CNC stroje. Dále bych chtěl poděkovat své rodině za podporu a trpělivost nejenom při tvorbě diplomové práce, ale za celou dobu mého studia.

Motto:

„Pro život, ne pro školu se učíme.“

Seneca

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

# OBSAH

<b>ÚVOD.....</b>	<b>9</b>
<b>I TEORETICKÁ ČÁST.....</b>	<b>10</b>
<b>1 TECHNOLOGIE OBRÁBĚNÍ.....</b>	<b>11</b>
1.1    TECHNOLOGICKÉ CHARAKTERISTIKY OBRÁBĚCÍHO PROCESU.....	11
1.2    TERMINOLOGIE .....	11
1.2.1    Polotovar .....	11
1.2.2    Obrobek.....	11
1.2.3    Obráběcí nástroj .....	12
1.2.4    Tříška.....	13
<b>2 TECHNOLOGIE FRÉZOVÁNÍ.....</b>	<b>14</b>
2.1    PRINCIP FRÉZOVÁNÍ.....	14
2.2    DRUHY FRÉZOVÁNÍ .....	14
2.2.1    Frézování obvodové .....	14
2.2.2    Frézování čelem nástroje.....	16
2.2.3    Frézování okružní.....	17
2.2.4    Frézování planetové .....	17
2.3    ROZDĚLENÍ FRÉZOVAČÍCH NÁSTROJŮ.....	18
<b>3 SOUSTRUŽENÍ .....</b>	<b>20</b>
3.1    PRINCIP SOUSTRUŽENÍ.....	20
3.2    ŘEZNÉ PODMÍNKY .....	21
<b>4 OBROBITELNOST MATERIÁLU .....</b>	<b>22</b>
4.1    SOUČINITEL OBROBITELNOSTI.....	22
4.2    ZNAČENÍ OBROBITELNOSTI.....	23
4.3    TŘÍDY OBROBITELNOSTI.....	23
4.4    ZKOUŠKY OBROBITELNOSTI .....	24
<b>5 ČÍSLICOVĚ ŘÍZENÉ OBRÁBĚCÍ STROJE .....</b>	<b>25</b>
5.1    POROVNÁNÍ CNC A NC STROJŮ .....	25
5.1.1    NC obráběcí stroje.....	26
5.1.2    CNC obráběcí stroje.....	26
5.2    KONSTRUKCE ČÍSLICOVĚ ŘÍZENÝCH STROJŮ .....	26
5.2.1    Mechanická část .....	27
5.2.2    Snímače polohy .....	28
5.2.3    Pohony.....	28
5.2.4    Pomocné mechanismy.....	29
5.2.5    Logický systém PLC .....	30

5.3	REŽIMY PRÁCE ČÍSLICOVĚ ŘÍZENÝCH STROJŮ.....	30
5.4	ČÍSLICOVÝ ŘÍDICÍ SYSTÉM.....	31
5.5	DĚLENÍ CNC STROJŮ PODLE ZPŮSOBU ŘÍZENÍ.....	33
5.5.1	Soustružnicko – frézovací centrum.....	35
5.6	KINEMATIKA PĚTIOSÝCH STROJŮ .....	35
5.6.1	Hlava – Hlava.....	36
5.6.2	Hlava – Stůl.....	36
5.6.3	Stůl – Stůl.....	37
5.6.4	Stůl – Stůl – Kolíbka.....	38
5.6.5	Dělička .....	38
<b>6</b>	<b>ZÁKLADY PROGRAMOVÁNÍ CNC.....</b>	<b>39</b>
6.1	SOUŘADNÉ SYSTÉMY CNC STROJŮ .....	39
6.1.1	Kartézský souřadný systém.....	39
6.1.2	Polární souřadný systém .....	39
6.2	VZTAŽNÉ BODY U CNC STROJŮ .....	40
6.3	PRAVIDLA PRO ORIENTACI OS U OBRÁBĚCÍCH STROJŮ .....	41
6.4	METODY PROGRAMOVÁNÍ.....	42
<b>7</b>	<b>CNC PROGRAM.....</b>	<b>43</b>
7.1	VYTVOŘENÍ PROGRAMU .....	43
7.2	STRUKTURA CNC PROGRAM.....	43
7.3	POSTUP VYTVÁŘENÍ CNC PROGRAM.....	45
<b>8</b>	<b>SHRNUTÍ TEORETICKÉ ČÁSTI.....</b>	<b>47</b>
<b>II</b>	<b>PRAKTICKÁ ČÁST .....</b>	<b>48</b>
<b>9</b>	<b>STANOVENÍ CÍLŮ DIPLOMOVÉ PRÁCE .....</b>	<b>49</b>
<b>10</b>	<b>OBRÁBĚCÍ CENTRUM.....</b>	<b>50</b>
<b>11</b>	<b>TECHNOLOGICKÝ POSTUP VÝROBY .....</b>	<b>51</b>
11.1	PROBLEMATIKA UPNUTÍ POLOTOVARU .....	51
11.2	UPNUTÍ 1.....	51
11.3	UPNUTÍ 2.....	53
11.4	PŘEHLED POUŽITÝCH OBRÁBĚCÍCH NÁSTROJŮ .....	54
11.4.1	Soustružnický nůž vnější hrubovací.....	54
11.4.2	Soustružnický nůž vnější dokončovací (načisto) .....	55
11.4.3	Monolitní karbidová fréza průměru 4 mm .....	56
11.4.4	Monolitní karbidová fréza průměru 12 mm .....	57
11.4.5	Monolitní karbidový vrták průměru 2 mm.....	58
11.4.6	Závitovací nůž.....	59
11.4.7	Upichovací nůž vnější .....	61
<b>12</b>	<b>PROGRAMOVÁNÍ.....</b>	<b>62</b>



12.1	ÚVOD PROGRAMU .....	63
12.2	VOLBA VHODNÝCH CYKLŮ .....	63
12.3	ZADÁVÁNÍ TVARU .....	65
12.4	VOLBA ŘEZNÝCH PODMÍNEK .....	65
12.5	ZALOŽENÍ NÁSTROJE .....	67
12.6	VLOŽENÍ NÁSTROJE DO ZÁSOBNÍKU .....	69
12.7	ZAMĚŘOVÁNÍ NÁSTROJE .....	70
12.8	STRUKTURA VYTVOŘENÉHO PROGRAMU .....	72
<b>13</b>	<b>PŘÍPRAVA VÝROBY .....</b>	<b>74</b>
13.1	NAŘEZÁNÍ POLOTOVARU .....	74
13.2	UPNUTÍ POLOTOVARU .....	74
13.3	ZAROVNÁNÍ ČELA .....	76
13.4	NULOVÝ BOD OBROBKU .....	77
13.5	SIMULACE .....	78
<b>14</b>	<b>VÝROBA A OPTIMALIZACE .....</b>	<b>79</b>
14.1	VÝROBA .....	79
14.2	OPTIMALIZACE .....	80
14.3	ČASOVÁ NÁROČNOST VÝROBY .....	80
<b>15</b>	<b>ZÁVĚR .....</b>	<b>83</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY .....</b>	<b>84</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK .....</b>	<b>87</b>
	<b>SEZNAM OBRÁZKŮ .....</b>	<b>89</b>
	<b>SEZNAM TABULEK .....</b>	<b>92</b>
	<b>SEZNAM PŘÍLOH .....</b>	<b>93</b>

## ÚVOD

Předmětem diplomové práce bylo zhotovit výrobek na moderním soustružnicko-frézovacím centru NTX 1000 firmy DMG Mori. Před samotnou výrobou bylo nutné zúčastnit se několika školení, aby byla dokonale pochopena obsluha stroje.

Teoretická část byla zaměřena na problematiku obrábění a CNC strojů. Na začátku bylo obecně vysvětleno, v čem technologie obrábění spočívá, jaké základní typy obrábění se rozlišují a jaké nástroje jsou pro obrábění využívány. Ve zbývajících částech, byla objasněna problematika CNC strojů a jejich programování.

V praktické části bylo nejprve představeno soustružnicko-frézovací centrum, na kterém výroba dílce probíhala. Dále byl objasněn výrobní postup, podle kterého se následně pokračovalo při tvorbě programu. V souvislosti s tímto výrobním postupem, byly také určeny potřebné nástroje.

Zbývajících pasáží praktické části byla zaměřena nejdříve na přípravu výroby. Byly sepsány potřebné úkony, které bylo před samotnou výrobou nutné vykonat. Na závěr byl popsán proces simulace programu a jeho následná optimalizace.

## **I. TEORETICKÁ ČÁST**

# 1 TECHNOLOGIE OBRÁBĚNÍ

Z pohledu vědního oboru, technologie obrábění studuje, zkoumá a analyzuje vzájemné souvislosti obráběcího procesu. Proces obrábění je uskutečňován v soustavě Stroj – Nástroj – Obrobek – Přípravek. Polotovarem procesu je obrobek a základním výstupem jsou jednotlivé obrobené plochy. [1]

## 1.1 Technologické charakteristiky obráběcího procesu

Základním rysem této technologie je oddělování částic (třísek) materiálu obrobku břitem nástroje. Toto fyzikálně-mechanické oddělování materiálu se specifikuje jako řezný proces. Ten lze dělit vzhledem k způsobu oddělování materiálu na kontinuální (soustružení, vrtání, vyvrtávání), diskontinuální (hoblování, obrážení) a cyklický (frézování, broušení). Samotný řezný proces probíhá za určitých řezných podmínek, a ty jsou řešeny v rámci obráběcích podmínek. [1]

## 1.2 Terminologie

V rámci technologie obrábění existuje základní terminologie, která usnadňuje její porozumění. K těmto termínům se řadí například polotovary, obrobek apod.

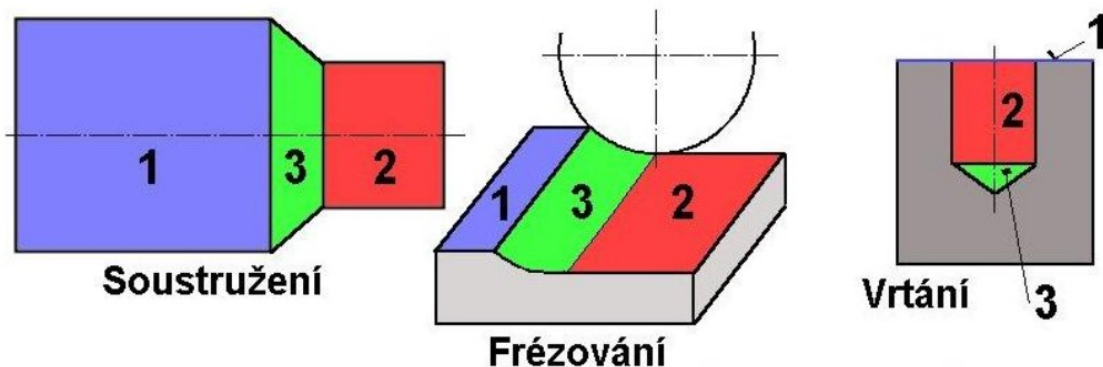
### 1.2.1 Polotovary

Jedná se o výchozí materiál, který bude následně pomocí obrábění upraven do požadovaného tvaru. Polotovary jsou děleny na normalizované a nenormalizované. Mezi normalizované polotovary jsou řazeny například tyče, trubky, plechy, dráty. Do druhé skupiny, tzn. nenormalizovaných polotovarů, patří odlitky, výkovky, vylisky, svarky nebo například slinuté polotovary. [1]

### 1.2.2 Obrobek

Za obrobek se považuje součást, která je obráběná, nebo částečně či úplně obrobená. Z geometrického hlediska je charakterizován třemi typy ploch. Prvním typem je plocha, která má být teprve obrobena tzn. plocha obráběná. Druhým typem je plocha přechodová, což je část povrchu obrobku, vytvořená působením ostří nástroje během zdvihu či otáčky nástroje nebo obrobku. Obrobená plocha je třetím typem, která představuje hlavní výstup

obráběcího procesu. Je určena svými rozměry, polohou, tvarem, strukturou a vlastnostmi povrchu. [1]



Obr. 1 – Základní plochy obrobku při obrábění [3]

1 – obráběná plocha 2 – obrobená plocha 3 – přechodová plocha

### 1.2.3 Obráběcí nástroj

Důležitými aspekty obráběcího nástroje jsou materiál, z kterého je vyroben a jeho geometrie. Tělo nástroje je definováno upínací a ustavovací plochou a řeznou částí. Řezná část je složena z břitu nástroje tvořeného plochami čela a hřbetu a z ostří. [1]



Obr. 2 – Hlavní části soustružnického nože [4]

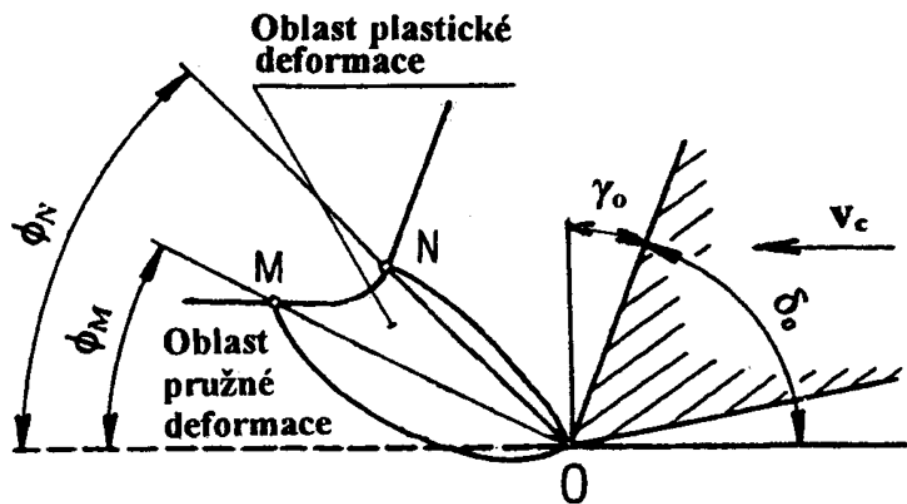
- upínací plocha (stopka) – plocha, za kterou je nástroj upnut v obráběcím stroji
- plocha čela – plocha nebo souhrn ploch, po které odchází tříska
- vedlejší ostří – provádí dokončovací práci na obrobené ploše, ale nevytváří plochu přechodovou

- hlavní ostří – tato část, slouží k vytvoření přechodové plochy na obrobku
- plocha hřbetu – plocha přikloněná k přechodové ploše (hlavní ostří), nebo k obrobené ploše (vedlejší ostří)
- hlava nástroje – obsahuje břit nástroje
- tělo nástroje – část, za kterou je nástroj upínán (skládá se z ustavovací a upínací plochy) [3]

#### 1.2.4 Tříška

Teorie vzniku a tvoření třísky je složitý proces, který je ovlivněn mnoha činiteli. Těmi jsou například fyzikální vlastnosti obráběného materiálu a jejich následná závislost na podmínkách deformace plastické.

Tříška představuje vedlejší produkt řezného procesu. K jejímu vzniku dochází vnikáním řezného klínu nástroje do obrobku. Na začátku se obráběný materiál před klínem hromadí a dochází k jeho deformaci. K lomu a odtržení třísky dochází v případě překročení meze pevnosti. Jejich technologické charakteristiky ovšem významně vypovídají o průběhu procesu řezání jak z energetického hlediska, tak i z hlediska jejich řízeného odchodu z řezné zóny. [1,5]



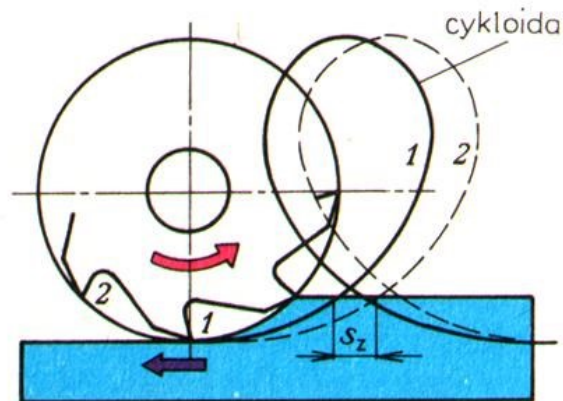
Obr. 3 – Oblast plastických deformací v odřezávané vrstvě [1]

## 2 TECHNOLOGIE FRÉZOVÁNÍ

Jedná se o obráběcí metodu, jejíž principem je odebrání materiálu obrobku pomocí břitů otáčejícího se nástroje. Posuv je nejčastěji konán součástí ve směru kolmém k ose frézovacího nástroje. Řezný proces této metody je přerušovaný tzn., že zuby frézy odřezávají třísky proměnné tloušťky. [1]

### 2.1 Princip frézování

Při této metodě je obrobek pevně upnut na pracovním stole frézky, ten vykonává plynulý pohyb směrem k nástroji, tomuto pohybu se také říká pohyb vedlejší (pracovní posuv). Ve zvláštních případech, jako například výroba ozubení odvalovacím způsobem, se místo obrobku může posouvat otáčející se nástroj. Břit nástroje vykonává během řezného procesu nejenom otáčivý pohyb vůči obrobku, ale také pohyb posuvný. Z tohoto poznatku vyplývá skutečnost, že záběrová dráha každého zubu frézy není kruhová, nýbrž má tvar cykloidy. Tento pohyb je nazýván pohybem hlavním (řezným pohybem zubu). [6]



Obr. 4 – Znárodnění dráhy zubu frézy [6]

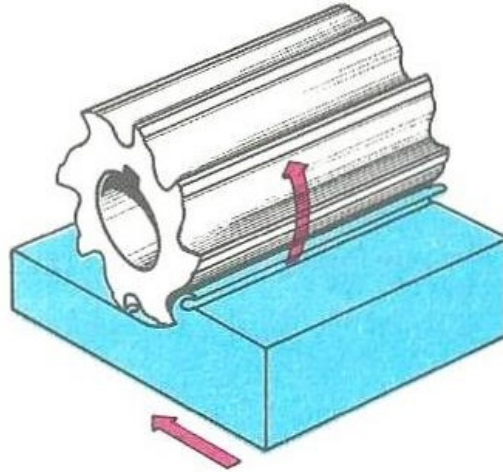
### 2.2 Druhy frézování

Existují čtyři základní druhy frézování, a to frézování obvodové, čelní, okružní a planetové. Rozlišitelným znakem je poloha osy nástroje vzhledem k obráběné ploše.

#### 2.2.1 Frézování obvodové

Tento způsob frézování je využíván převážně při práci s válcovými a tvarovými frézami, které jsou opatřeny zuby pouze na válcovém obvodu. Hloubka řezu je volena kolmo

na osu nástroje a směr posuvu. Osa otáčejícího se nástroje je rovnoběžná s obrobenou plochou. Podle toho, jaký je vzájemný vztah mezi smyslem otáčení frézy a směru posuvu obrobku, se rozlišuje frézování sousledné a nesousledné. [6]



Obr. 5 – Frézování obvodem frézy [7]

#### a) Nesousledné frézování

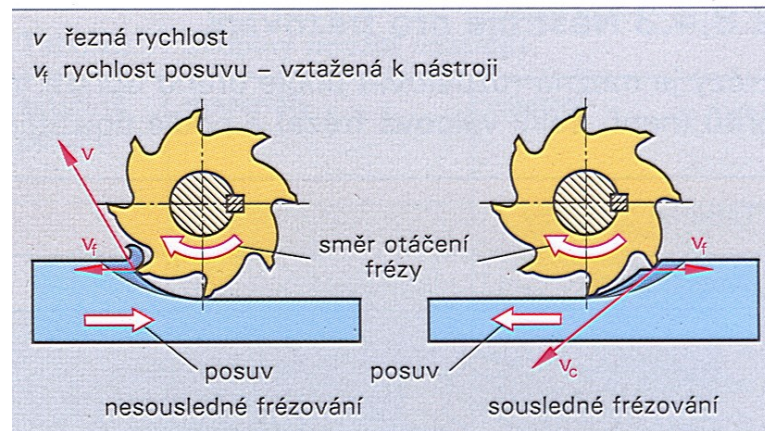
Při nesousledném frézování je smysl otáčení nástroje proti směru posuvu obrobku. Tloušťka třísky je postupně měněna z hodnoty nulové na hodnotu maximální. Nevýhodou je horší jakost obrobené plochy, což je způsobeno tím, že na začátku řezu břit zubu frézy klouže po již obrobené ploše. Jelikož řezná síla působí směrem k nástroji, dochází ke snaze vytrhnutí obrobku z upínače. Naopak výhodou je klidná bezrázová práce frézy. Tato metoda je výhodná pro obrábění výkovků či odlitků. Z důvodu vnikání břitů do tvrdé povrchové vrstvy obrobku zespodu a následného odlamování materiálu, což má za následek větší trvanlivost břitů. [6]

#### b) Sousledné frézování

V případě sousledného frézování je smysl otáčení frézy shodný se směrem posuvu obrobku. Tloušťka třísky se při obrábění zmenšuje, což znamená, že se od materiálu odděluje v nejslabším místě. Tato skutečnost negativně ovlivňuje životnost břitů nástroje. Sousledné frézování lze provádět pouze na strojích, které mají ve stole vymezenou vůli mezi maticí a pohybovým šroubem, aby nedocházelo k vtahování obrobku pod nástroj. To by způsobilo poškození břítu. Těmito stroji jsou například CNC frézky, protože pohybové šrouby jsou vyrobeny bez vůle. Výhodou této metody je, že řezná síla tlačí obrobek do upínače, takže lze obrábět při vyšších hodnotách řezné rychlosti a hloubce řezu. Jakost obrobené plochy je



kvalitnější než v případě nesousledného frézování. Vhodné pro obrábění měkkých a houževnatých materiálů. [6]



Obr. 6 – Porovnání sousledného a nesousledného frézování [8]

### 2.2.2 Frézování čelem nástroje

Tento způsob je uplatňován zejména u válcových fréz, u kterých při odřezování třísky pracují nejenom břity na obvodu, ale i na čelní ploše nástroje, které obráběnou plochu vyhlazují. Obrobená plocha je kolmá na osu otáčení nástroje.

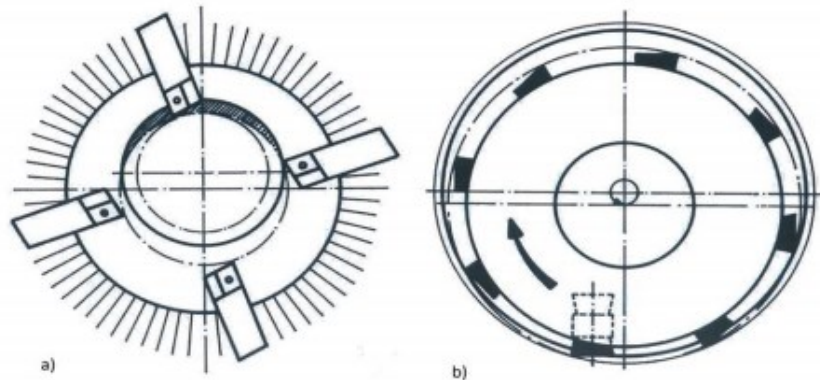
Při otočení frézy o  $360^\circ$  je obrobek posunut o dráhu, která je dána posuvem na otáčku. Tloušťka třísky se ve směru od vstupu ke středu odřezávané vrstvy zvětšuje, a naopak od středu odřezávané vrstvy k místu výstupu břitu nástroje z materiálu postupně zmenšuje. V případě čelního frézování se jedná o výkonnější metodu frézování než v případě obvodového, protože je v záběru více zubů současně, díky tomu lze pracovat s vyššími hodnotami posuvu obrobku. [6]



Obr. 7 – Frézování čelem čelní frézy [9]

### 2.2.3 Frézování okružní

Tato metoda se používá pro frézování dlouhých válcových tyčí a pro výrobu závitů. Nástrojem je frézovací hlava, která je osazena několika noži. V případě obrábění dlouhých tyčí se frézovací hlava posouvá i otáčí, na rozdíl od frézování závitů, kdy se jen otáčí a zbývající pohyby vykonává obrobek. [6]

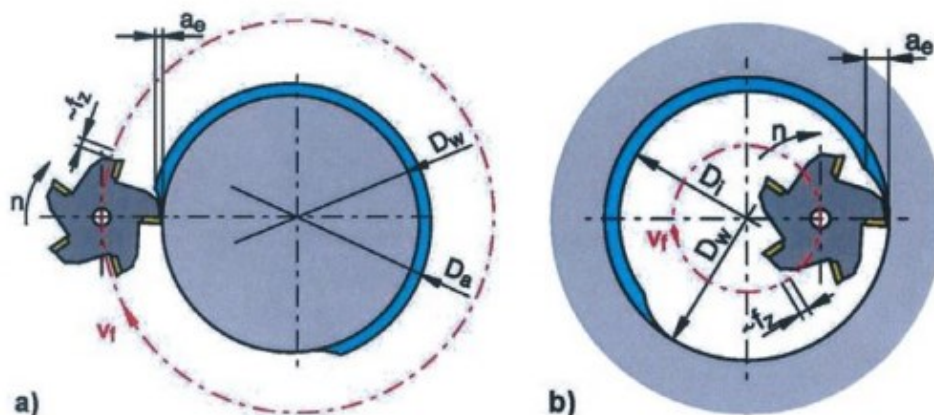


Obr. 8 – Druhy okružního frézování [10]

a – vnější, b – vnitřní

### 2.2.4 Frézování planetové

Toto frézování se praktikuje hlavně u číslicově řízených strojů a obráběcích center, které jsou vybaveny kruhovou interpolací dráhy nástroje, což umožňuje pohyb po kružnici. Díky tomuto pohybu lze frézovat celé rotační plochy nebo jen jejich části. [6]



Obr. 9 – Planetové frézování [11]

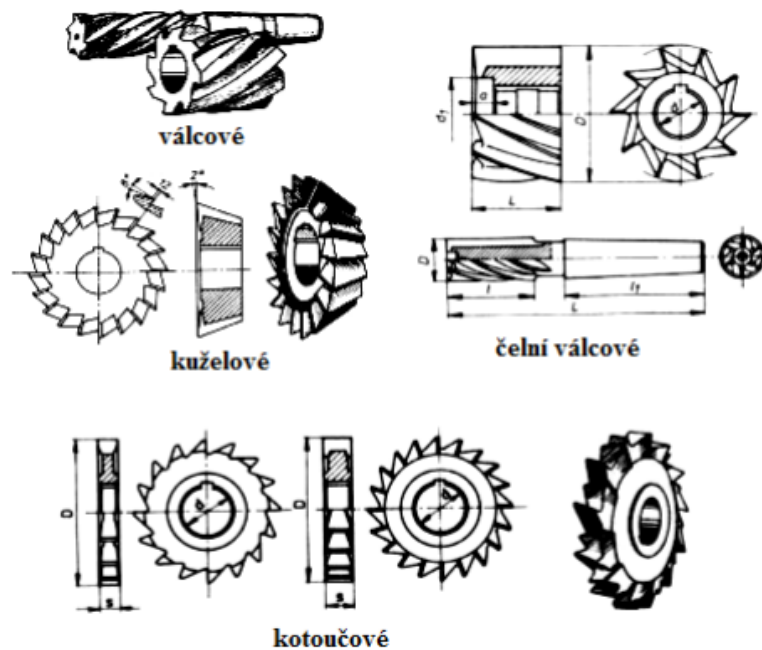
a – vnější, b – vnitřní

## 2.3 Rozdělení frézovacích nástrojů

Výroba fréz se provádí různými technologiemi, ovšem základní typy fréz mají velikost i tvar normalizovaný. Jejich dělení lze provést podle následujících hledisek. [12]

1. Podle plochy, na které jsou vytvořeny břity:

- válcové, čelní válcové
- kotoučové
- kuželové
- úhlové
- pilové kotouče
- tvarové
- speciální



Obr. 10 – Rozdělení fréz [13]

2. Podle uspořádání a tvaru břitu:

- hrubovací
- dokončovací

3. Podle způsobu upínání:

- nástrčné
- stopkové (válcová stopka, kuželová stopka)

4. Podle směru otáčení:
  - pravořezné
  - levořezné
5. Podle materiálu břitu:
  - rychlořezná ocel (RO)
  - slinuté karbidy (SK)
  - cermetové karbidy (Ti+TiN)
  - nitridová keramika
  - polykrystalický diamant
  - kubický nitrid boru
6. Podle konstrukce:
  - celistvé
  - dělené
  - složené
  - se vsazenými nebo připájenými destičkami z SK
  - se vsazenými segmenty břitů [12]



Obr. 11 – Fréza Quattromill s vyměnitelnými destičkami [14]

### 3 SOUSTRUŽENÍ

Jedná se o metodu obrábění, pomocí které se zhotovují rotační součásti. Jako nástroje jsou používány převážně jednobřité nástroje různého provedení. Soustružení je považováno za nejjednodušší způsob obrábění, s tím souvisí i jeho velmi frekventovaná využitelnost ve strojírenství. [1]

#### 3.1 Princip soustružení

Jako hlavní pohyb bývá označován rotační pohyb obrobku, kdy rychlost hlavního pohybu je také řeznou rychlostí  $v_c$ . Posuvovým pohybem je obecný nebo přímočarý pohyb, který vykonává nejčastěji nástroj a jeho rychlost se stanovuje dle rovnice 1.

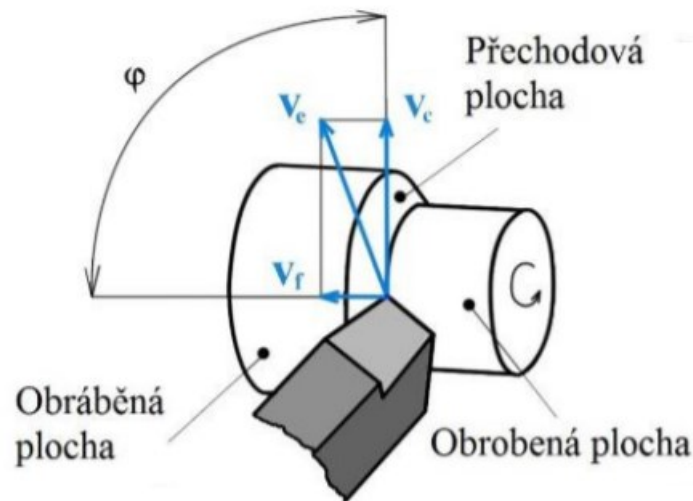
$$v_f = 10^{-3} \cdot f \cdot n \quad (1)$$

- $f$  – posuv na otáčku obrobku
- $n$  – otáčky obrobku

Tvar řezného pohybu se liší podle toho, jaká operace je vykonávána. Při soustružení válcové plochy má tvar šroubovice, u soustružení čelní plochy Archimédovi spirály a v případě rotační plochy obecného tvaru se jedná o pohyb po obecné prostorové křivce. Rychlost řezného pohybu je určena vektorovým součtem řezné rychlosti a posuvové rychlosti viz rovnice 2. [1]

$$v_e = \sqrt{v_c^2 + v_f^2} \quad (2)$$

- $v_c$  – řezná rychlost
- $v_f$  – posuvová rychlost



Obr. 12 – Vektory pohybů při podélném soustružení válcové plochy [20]

- $v_e$  – rychlost řezného pohybu
- $v_f$  – rychlost posuvová
- $v_c$  – rychlost řezná
- $\varphi$  – úhel posuvového pohybu

### 3.2 Řezné podmínky

Hodnota řezné rychlosti závisí na více aspektech, mezi které patří: vlastnosti obráběného materiálu, řezné vlastnosti materiálu nástroje, jmenovitý průřez třísky a zvolená trvanlivost břitu nástroje. Posuv na otáčku obrobku je volen co největší vzhledem k tuhosti obrobku a v závislosti na požadované jakosti povrchu obrobené plochy.

Tab. 1 – Orientační hodnoty posuvů pro různé typy operací [1]

Hrubování	Obrábění na čisto	Jemné soustružení
$f = 0,4 \div 0,7 \text{ mm}$	$f = 0,06 \div 0,3 \text{ mm}$	$f = 0,005 \div 0,05 \text{ mm}$

Šířka záběru ostří je limitována mechanickými vlastnostmi obráběného materiálu, tuhostí obrobku a způsobem obrábění. Z pohledu hospodárnosti se volí, pokud možno co největší, nejlépe tak, aby celý přídavek na obrábění byl odebrán jedním záběrem. [1]

## 4 OBROBITELNOST MATERIÁLU

Jedná se o technologickou vlastnost, pomocí které lze určit vhodnost daného materiálu k obrábění. Obrobitelnost zahrnuje vliv fyzikálních a mechanických vlastností materiálu, tepelného zpracování, chemického složení, struktury a způsobu výroby polotovaru na kvalitativní, kvantitativní a ekonomické výsledky procesu řezání.

Obrobitelnost nelze posuzovat pouze vzhledem k obráběnému materiálu, ale musí se brát zřetel i na způsob obrábění a na řezné podmínky. Z toho vyplývá, že také souvisí s řezivostí nástroje, protože ekonomické, energetické a kvalitativní vyhodnocení obrábění je závislé na fyzikálních vlastnostech bříty.

Pro její objektivní posouzení slouží několik metod. Při těchto metodách je sledována dosažitelná řezná rychlost pro dané podmínky, řezný odpor vznikající při obrábění, příkon potřebný pro obrábění, teplota bříty, jakost obrobené plochy a další parametry. [1,15]

### 4.1 Součinitel obrobitelnosti

Pro vyjádření obrobitelnosti daného materiálu ve strojírenství se využívá poměr řezné rychlosti dosažitelné u tohoto materiálu k řezné rychlosti dosažitelné u etalonového materiálu, to vše při jinak stejných podmínkách. [15]

$$K_V = \frac{v_{cT/VB} \text{ zkoušeného materiálu}}{v_{cT/VB} \text{ etalonového materiálu}} \quad (3)$$

- $K_V$  – součinitel obrobitelnosti
- $v_{cT} / VB$  – řezná rychlost  $v_c$  při trvanlivosti  $T$  pro opotřebení hřbetu  $VB$

Pro vyjádření  $K_V$ , také lze použít odvozenou závislost:

$$x = \frac{C_{vzk.mat.}}{C_{v_{et.mat.}}} \cdot T^{(1/m_{et.mat.} - 1/m_{zk.mat.})} \quad (4)$$

- $C_v$  – konstanta určující vliv způsobu práce
- $T$  – Trvanlivost nástroje

V případě etalonových materiálů v jednotlivých skupinách má součinitel obrobitelnosti hodnotu  $K_V=1$ . U soustružení je hodnota trvanlivosti obvykle volena  $T=15$  min a opotřebení  $VB=0,3 \div 0,4$  mm. [1]

## 4.2 Značení obrobiteľnosti

Pro běžné potřeby vyhodnocení obrobiteľnosti jsou technické konstrukční materiály zařazeny do devíti skupin, které jsou značeny malými písmeny abecedy.

- a. litiny
- b. oceli
- c. těžké nezelezné kovy a jejich slitiny (měď a slitiny mědi)
- d. lehké nezelezné kovy a jejich slitiny (hliník a slitiny hliníku)
- e. plastické hmoty
- f. přírodní nerostné hmoty
- g. vrstvené hmoty
- h. pryže

V každé z devíti skupin je vždy vybrán konkrétní materiál, který je využíván jako etalon obrobiteľnosti. Ve vztahu právě k tomuto materiálu je stanovena obrobiteľnost všech ostatních materiálů celé skupiny.

Pro rozlišování materiálů podle obrobiteľnosti, byl vytvořen zvláštní způsob zařazování do tzv. tříd.

## 4.3 Třídy obrobiteľnosti

V jednotlivých skupinách jsou materiály řazeny do dvaceti tříd obrobiteľnosti. Tyto třídy jsou vztaženy k příslušným součinitelům obrobiteľnosti, ty jsou odstupňovány podle geometrické řady, s kvociemtem  $q = 10^{1/10} = 1,2589$ .

Třídy jsou značeny pomocí čísel 1-20. Čím vyšší číslo je, tím je obrobiteľnost lepší. Samotná čísla jsou umístěna před písmeno určující skupinu materiálu. [1,15]



Součinitel obrobitelnosti Kv		Třída obrobitelnosti pro skupinu materiálů			
		Ocel etalon	Litiny etalon	Neželezné kovy etalon	Lehké kovy etalon
od - do	střední hodnota	a	b	c	d
0,045-0,054	0,05		1b		
0,055-0,069	0,065		2b		
0,07-0,089	0,08		3b		
0,09-0,11	0,1		4b		
0,12-0,14	0,13		5b		
0,15-0,17	0,16		6b		
0,18-0,221	0,2		7b		
0,23-0,28	0,25		8b		
0,29-0,35	0,32		9b		
0,36-0,44	0,4	6a	10b	7c	6d
0,45-0,56	0,5	7a	11b	8c	7d
0,57-0,71	0,63	8a	12b	9c	8d
0,72-0,89	0,8	9a	13b	10c	9d
<b>0,90-1,12</b>	<b>1</b>	<b>10a</b>	<b>14b</b>	<b>11c</b>	<b>10d</b>
1,13-1,41	1,26	11a	15b	12c	11d
1,42-1,78	1,59	12a	16b	13c	12d
1,79-2,24	2	13a	17b	14c	13d
2,25-2,82	2,5		18b		
2,83-3,55	3,15		19b		
3,56-4,47	4		20b		

Tab. 2 – Součinitel obrobitelnosti a korespondující třídy obrobitelnosti [1]

#### 4.4 Zkoušky obrobitelnosti

Součinitel obrobitelnosti se stanovuje pouze za normativních podmínek, mezi které patří především identifikovaný nástroj a řezné podmínky. Doporučené nástroje a řezné podmínky pro provedení zkoušek jsou uvedeny v obrázcích 13. a 14. [1]

Tab. 3 – Doporučené nástroje pro zkoušku obrobitelnosti ocelových materiálů [1]

Metoda obrábění	Doporučené nástroje
Soustružení	Vyměnitelné destičky typu SNGN 120408 nebo SPGN 120408, slinutý karbid P20, průřez držáku 25x25 mm, úhel $K_r = 70^\circ$ (PN 223850.1 nebo PN 223850.2)
Vrtání	Vrták Ø10mm, ČSN 221140, strojní ostření s tolerancí délky ostří 0,2 mm. Pro vrtáky se slinutým karbidem doporučen druh K10.
Frézování	Frézovací hlava PN 222462.15 nebo PN 222462.25 o průměru 125 mm, počet zubů 10. Po upnutí destiček je dovolené maximální házení axiální 0,03mm, házení radiální 0,05 mm.

## 5 ČÍSLICOVĚ ŘÍZENÉ OBRÁBĚCÍ STROJE

Obráběcí stroje se dělí na konvenční a číslicově řízené. V případě konvenčních strojů jsou veškeré činnosti prováděny ručně operátorem, který má k dispozici různé prvky mechanizace a automatizace. Kdežto číslicově řízené stroje jsou stroje nebo celá seskupení strojů, jejichž pracovní cyklus je řízen pomocí číslicově řízených obvodů nebo zařízení.

Díky číslicově řízeným strojům lze zkvalitnit strojírenskou výrobu a zvýšit její produktivitu. NC stroje a jeho jednotlivé subsystemy se vyvíjí již od čtyřicátých let minulého století. Během vývoje bylo provedeno několik značných změn v konstrukci strojů, byla změněna jejich koncepce, ale také parametry technologického procesu. Zlepšení technických parametrů je dosaženo například zvýšením řezných rychlostí, a především pracovních i pojížděcích posuvů. [2,24]



Obr. 13 – Číslicově řízený stroj [16]

### 5.1 Porovnání CNC a NC strojů

Zkratka NC pochází z anglického označení numerical control, což znamená číslicově řízený. První číslicově řízené stroje byly vyvinuté v 50. letech 20. století. Stroje řízené tímto způsobem byly později nahrazeny modernějšími CNC stroji neboli computer numerical control. Jak již z názvu vyplývá tento typ strojů byl vybaven řídicím počítačem, který se stará o chod stroje.

### 5.1.1 NC obráběcí stroje

Řízení stroje probíhá díky programu zaznamenaného na děrný štítek nebo pásek, který je vložen v NC stroji. Do paměti stroje je načten pouze jeden řádek děrného pásku, po jejím vykonání se načítá nový řádek a stávající obsah paměti se maže.

Mezi značnou nevýhodu této technologie se řadí nedostatečná pružnost výroby. V případě, pokud je nutná změna v programu, je nutné provést celé vyděrování pásku či štítku znovu. Díky tomuto dochází k velkým ekonomickým ztrátám vlivem prodlužování času potřebného pro výrobu součástí. [17]

### 5.1.2 CNC obráběcí stroje

Stroje tohoto typu jsou vybaveny řídicím počítačem, který má na starosti řízení chodu stroje. Samotný program je načten pomocí systému stroje do paměti ze záznamového média (disketa, flash disk) nebo díky LAN síti (tzn. propojení stroje s počítačem mimo stroj). Z této paměti si lze posléze kdykoliv tento program opět vyvolat a spustit.

Na rozdíl od NC strojů, je interpolátor softwarovou záležitostí, nikoliv hardwarovou, což umožňuje měnit vlastnosti řídicího systému a doplňovat jej o různé funkce, aniž by bylo nutné provést změnu v hardwarové struktuře zařízení.

Jednou z velkých výhod těchto strojů je generování dráhy nástroje pomocí přímého matematického popisu tvaru dráhy programem. To umožňuje vytvářet křivky jako parabola, hyperbola, cykloida, spline a provádět kruhovou interpolaci v prostoru. [17]

Mezi další výhody například patří:

- práce s podprogramy, cykly a parametry
- produktivnější a hospodárnější výroba
- automatická výměna nástroje
- využití grafické simulace k testu programu → nižší zmetkovitost

## 5.2 Konstrukce číslicově řízených strojů

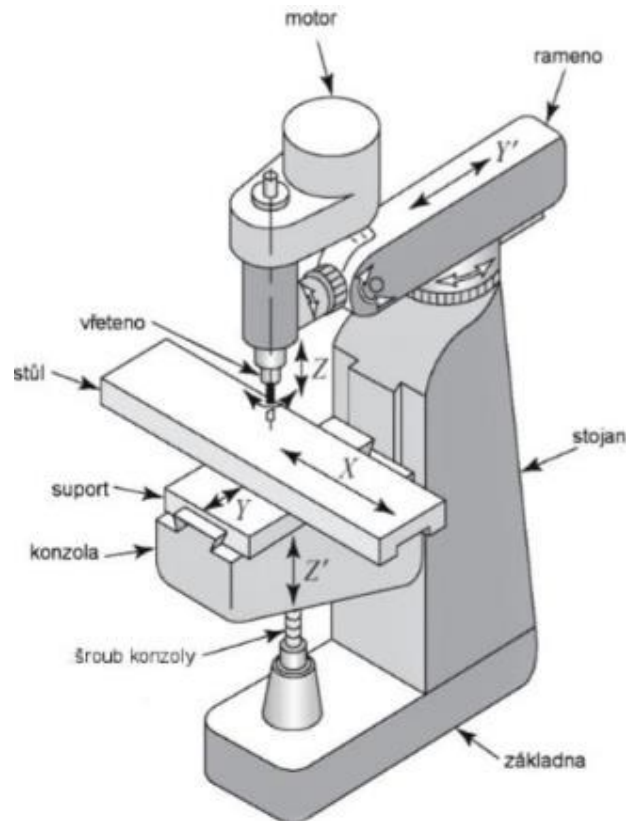
Na číslicově řízené stroje jsou kladeny specifické požadavky z důvodu požadované přesnosti tvaru a rozměrů obráběné součásti, jakosti obráběného povrchu, bezpečnosti provozu a snadné obsluhy stroje.

Požadavky na konstrukci stroje:

- vysoká tuhost a přesnost
- vysoká přesnost a životnost aktivních částí (vodící plochy)
- snadná zaměnitelnost
- přesná polohová vazba (regulační obvody polohování tvoří servomechanizmy a odměřovací zařízení)
- teplotní stabilizace
- automatická výměna nástroje
- vybavení pro předseřízení, výměnu a údržbu
- zajištění aktivní i pasivní bezpečnosti obsluhy [2]

### 5.2.1 Mechanická část

Mechanická část stroje je závislá na typu stroje a jeho technické realizaci. Například v případě portálové frézky je složena z následujících prvků: lože, stůl, stojan, vřeteník, vřeteno, převodová skříň. Většinou jsou tyto konstrukční prvky tvořeny z litinových odlitků. Konstrukce mechanické části musí být dostatečně tuhá a musí umožňovat jednoduchou obsluhu a údržbu. Mezi další důležité aspekty patří dostatečný odvod tepla a třísek. Součástí této části jsou i vedení, jejichž kvalita ovlivňuje výslednou přesnost stroje. Mezi hojně používané typy vodících ploch se řadí vedení kluzné s polosuchým třením, vedení kluzné hydrodynamické a vedení valivé. [2]



Obr. 14 – Hlavní konstrukční skupiny tříosého NC stroje [2]

### 5.2.2 Snímače polohy

Snímače polohy patří mezi důležitou součást stroje, protože velkou měrou ovlivňují výslednou přesnost stroje. Snímače se řadí mezi odměřovací zařízení, což je součást diferenčního členu.

Do diferenčního členu vstupují informace z výpočetní části řídicího systému (operačního systému) o požadovaných pokynech ve tvaru řídicích inkrementů. Následně z diferenčního členu vystupují data pro servomechanizmy. Tyto data závisí na dalších informacích, především na informaci ze snímače polohy.

Odměřování může na stroji probíhat různými způsoby. Jeden ze způsobů je podle umístění snímače polohy na stroji. Toto umístění může být buď to přímé, nebo nepřímé. Další možnost dělení je závislá na principu odměřovacího zařízení. [2]

### 5.2.3 Pohony

Pohony umožňují na stroji nastavit otáčky na hodnotu optimální řezné rychlosti. Nastavování otáček lze provádět plynulou nebo stupňovitou změnou podle typu pohonu.

Stupňovitá změna otáček umožňuje nastavení řezné rychlosti s určitou chybou. V případě plynulé změny jde o optimální nastavení řezné rychlosti.

Pro tyto systémy jsou charakteristické poměrně malými rozměry, menší hmotností, vysokou účinností a bezporuchovým provozem. Pohony u obráběcího stroje se dělí na hlavní a vedlejší.

Hlavní pohony jsou používány pro uskutečnění hlavního řezného pohybu. Toto ovšem není jediná funkce, kterou tyto pohony zabezpečují, dalšími jsou např.:

- zajištění řezných rychlostí v dostatečně velkých rozsazích
- umožnění optimální řezné rychlosti s dostatečnou přesností a udržení této rychlosti bez ohledu na zatížení
- zabezpečení potřebného výkonu pro řezný pohyb
- zabezpečení rychlé reverzace řezného pohybu
- zabezpečení rychlého zabrzdění pohonu při jeho vypnutí
- zajištění konstantní řezné rychlosti v závislosti na měnícím se poloměru obrábění

Vedlejší pohony zabezpečují další funkce NC strojů jako například:

- pohony posuvů včetně rotačních souřadnic
- otáčení revolverových hlav
- pohon dopravníků třísek [2]

#### 5.2.4 Pomocné mechanismy

Tyto typy mechanismů zajišťují řadu potřebných činností a funkcí číslicově řízených strojů. Mezi pomocné mechanismy se řadí hydraulické zařízení nebo například zařízení pro mazání.

##### a) Hydraulické zařízení

Hydraulické zařízení je zdrojem tlakového oleje a ve většině případů tvoří samostatný typizovaný celek. Používá se k ovládní pomocných funkcí nejenom samotného NC stroje, ale také k ovládní jeho příslušenství. Součástí tohoto zařízení je zdroj tlakového oleje tzn. hydrogenerátor, rozvod systémem hadic, ocelové trubky, rozvodné kostky a řídicí ventily.

### b) Mazací zařízení

Mazací zařízení tvoří samostatný celek, který je tvořen tlakovým čerpadlem, olejovou nádrží, rozvodem tlakového oleje a kontrolním systémem. Hlavní funkcí tohoto zařízení je mazání kluzných ploch supportů, kuličkových šroubů apod. [2]

### 5.2.5 Logický systém PLC

Logický systém je podřízen číslicovému řízení. Z pohledu technologického je řešen jako programovatelné zařízení, které na základě vstupních signálů řeší logické funkce. PLC je propojeno s řídicím systémem a mezi těmito částmi stroje existuje neustálá vzájemná komunikace.

Tento logický subsystém obsahuje kromě výkonových regulátorů pohonů také řídicí pomocné mechanismy stroje, které zprostředkovávají řídicímu systému zpětná hlášení o stavu stroje a případných chybových hlášeních. V rámci číslicově řízeného stroje je pro tento subsystém podřízena vlastní mechanika. [2]

## 5.3 Režimy práce číslicově řízených strojů

Každý stroj je vybaven několika režimy, které umožňují pracovat vhodným způsobem, tzn. v předem definovaných podmínkách. Mezi tyto režimy patří například ruční režim, ruční předvolba, automatický, editační atd.

### a) Ruční režim

V tomto režimu lze pracovat s NC strojem díky ručnímu řízení pomocí tlačítek nebo koleček, které definují směr pohybu a velikost posuvu (pracovní posuv nebo rychloposuv). Dále lze v tomto režimu zapnout otáčky vřetene nebo je naopak zastavit, nastavit nástroj do pracovní polohy nebo také spustit nebo vypnout chladicí kapalinu.

### b) Automatický režim

V automatickém režimu se postupně vykonávají jednotlivé řídicí bloky programu včetně všech činností stroje, což vede k získání požadovaného polotovaru nebo přímo výrobku.

### c) Referenční režim

Tento režim zajišťuje najetí do referenčního bodu přímo z řídicího panelu NC stroje.

**d) Editační režim**

V rámci tohoto režimu je možné provádět změny (editovat) v NC programu, který je načtený do řídicího systému stroje nebo uložen na HD disk CNC řídicího systému. Pod pojmem editace si lze představit jakoukoliv změnu v programu například změnu jednotlivých adres nebo celých bloků. Editační režim obsahuje také příkazy pro vyhledání znaků nebo jejich řetězců.

**e) Ruční předvolba – MDI**

V režimu MDI lze zadávat jednotlivé bloky ručně z klávesnice NC systému a ty následně ukládat do paměti nebo je lze přímo vykonat.

**f) Servisní a diagnostický režim**

V tomto režimu je možno kontrolovat systém stroje, případně i lokalizovat vzniklou závadu. [2,24]

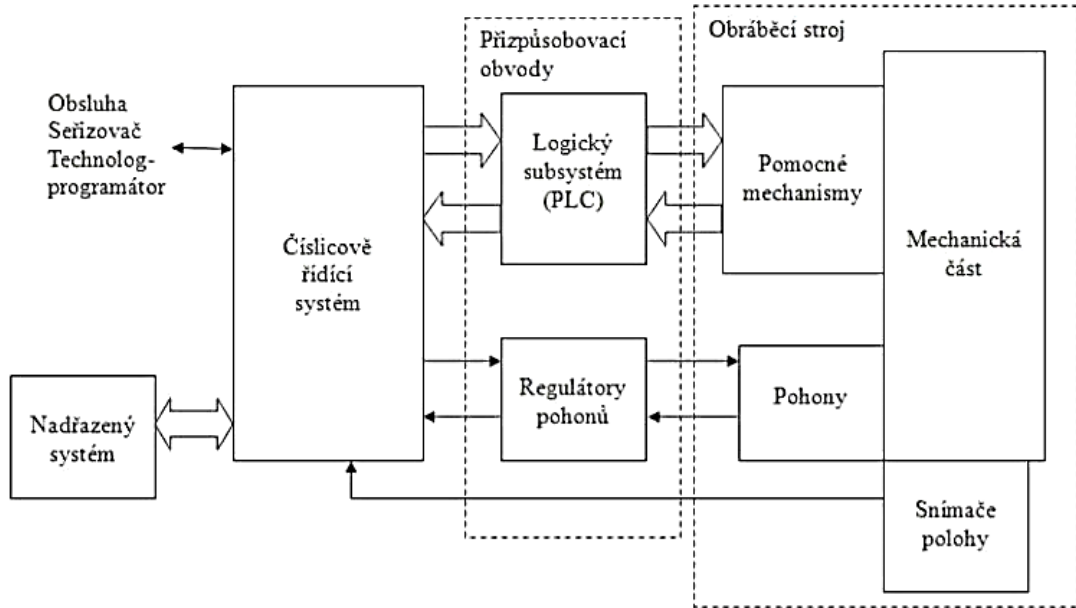
**5.4 Číslicový řídicí systém**

Řídicí systém bývá považován za srdce i mozek obráběcího stroje. Na jeho výkonu, rychlosti zpracování informace, snadnosti obsluhy a programování a také hlavně na jeho spolehlivosti je závislý celý chod stroje.

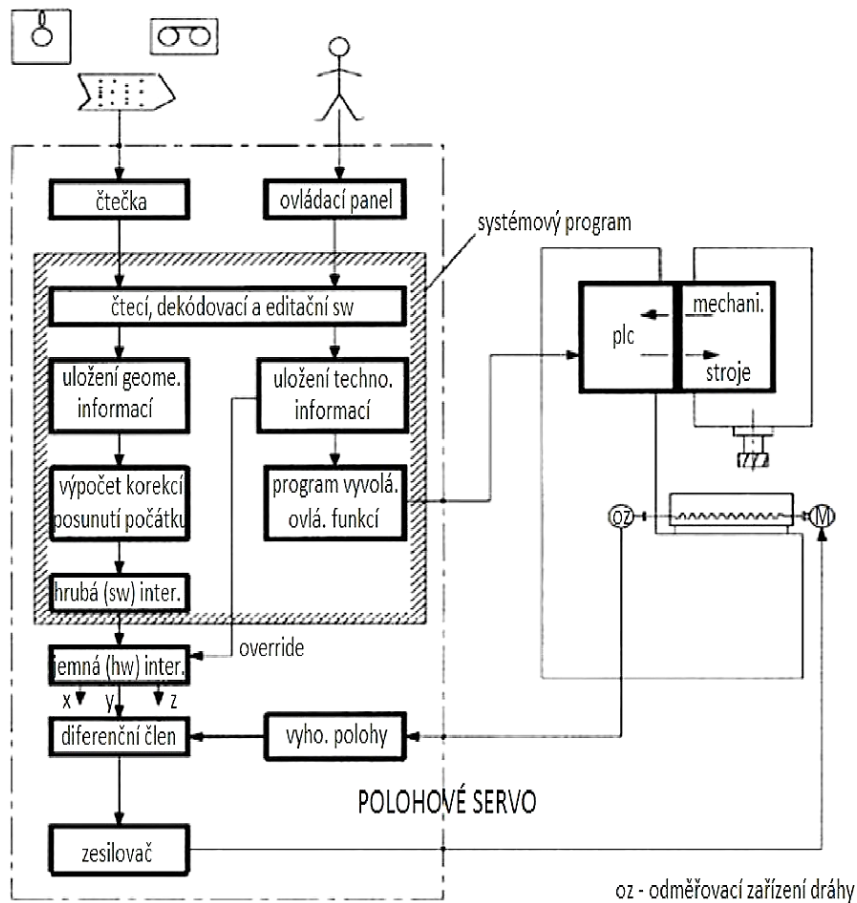
Číslicové řízení lze chápat jako řízení na základě nějaké číslicové informace, která je do systému zadána operátorem případně programátorem. Řídicí systémy prochází neustálým vývojem a renovacemi.

Počátky číslicově řízených NC strojů jsou spjaty s děrnými pásky nebo štítky pomoci, kterých byly programy dodávány do strojů. Tento způsob byl používán při velkosériové výrobě složitých součástí. V osmdesátých letech minulého století došlo k průlomům, kdy došlo k vybavení tehdejšího NC stroje počítačovou jednotkou. [2,18]





Obr. 15 – Blokové schéma NC stroje [2]



Obr. 16 – Blokové schéma CNC stroje [21]

- Čtecí zařízení – jde o rozhraní sloužící k přenesení/nahrání programu (USB, LAN)

- Ovládací panel – umožňuje provádět potřebné příkazy nutné k ruční obsluze, seřízení a programování CNC stroje
- Dekódovací člen – má za úkol přeměnit signál ve tvaru číslicového kódu na hodnoty vstupních signálů pro řídicí prvky pohonů
- Program – soubor informací pomocí, kterého je řízen výrobní proces součásti
- Interpolátor – vypočítává skutečnou dráhu nástroje, která je ovlivněna geometrií, délkovou a rádiusovou korekcí nástroje a tvarem obráběné plochy
- PLC část – jedná se o samostatný výkonný počítač obsahující 64 binárních vstupů/výstupů. PLC část přímo ovlivňuje krokové servopohony. Přijímá a zpracovává signál z dotykové sondy či z ručního kolečka ovládacího panelu.
- Pohon včetně – většinou je realizován asynchronním třífázovým elektromotorem řízeným frekvenčním měničem napojeným přímo na PLC část [21]

## 5.5 Dělení CNC strojů podle způsobu řízení

Díky neustálému rozvoji v oblasti konstrukce obráběcích strojů a jejich řídicích systémů, bylo umožněno zvýšení počtu řízených os a také přechod z pravoúhlého systému řízení na souvislý systém řízení. Díky souvislému řízení lze dosáhnout lepších technologických výsledků, především při obrábění tvarových prostorových ploch.[2,24]

### Rozdělení strojů podle počtu současně řízených os:

#### a) Dvousé řízení

Jedná se o řízení dvou souřadných os současně v jedné pracovní rovině. Umožňuje také regulovat parametry, jako jsou posuv, otáčky, volba nástroje apod. V rámci tohoto řízení lze použít i přídavnou osu, která je ovšem programována zvlášť.

Dráha nástroje se nachází mezi dvěma rovinně definovanými body po kruhové nebo přímkové dráze. Další spojovací elementy lze aproximovat pomocí přímek či kružnic. Tento způsob řízení je používán u soustružení rotačních tvarů, vrtání, závitování nebo srážení hran, to vše v ose obrobku. [2]

#### b) Dvou a půl osé řízení

Toto řízení umožňuje řídit souvisle dvě souřadné osy v různých rovinách a třetí osu v dalším bloku. Pohyb nástroje a regulace parametrů je totožná jako v případě dvousého

řízení. Využití tohoto řízení spočívá v obrábění rovinných tvarů. Konkrétními případy jsou např. frézování rovinných tvarů, vrtání, závitování. [2]

#### **c) Tříosé řízení**

Řízení tohoto typu umožňuje řídit tři souřadné osy (X, Y, Z) souvisle. Nástroj se pohybuje mezi dvěma prostorově danými body po přímkové, kruhové či spirálové dráze. Využití tohoto řízení spočívá v obrábění otevřených prostorových tvarů v rámci technologií, mezi které patří vrtání, závitování, frézování prostorových a rovinných tvarů na CNC frézkách nebo CNC obráběcích centrech. [2]

#### **d) Čtyřosé řízení**

V případě tohoto způsobu řízení, jsou řízeny souvisle tři souřadné osy X, Y, Z a natočení obrobku kolem jedné ze souřadných os (osa X – souřadnice natočení A, osa Y – souřadnice natočení B, osa Z – souřadnice natočení C). Nakláněn nemusí být pouze nástroj, ale lze také použít pomocný otočný stůl, buď to se svislou, nebo vodorovnou osou rotace.

Nástroj se pohybuje mezi dvěma prostorově definovanými body po kruhové, přímkové nebo spirálové dráze. Díky tomuto pohybu nástroje je možné obrábět otevřené prostorové tvary v technologiích, jako jsou vrtání, závitování, frézování rovinných a prostorových tvarů na CNC frézkách, CNC vyvrtávačkách či CNC obráběcích centrech. [2]

#### **e) Pětiosé řízení**

Pětiosé řízení umožňuje řídit souvisle tři souřadné osy X, Y, Z, a natočení nástroje souřadnicemi podle dvou rotačních os. Místo naklonění nástroje lze využít otočného stolu se dvěma rotačními osami. Kromě těchto geometrických parametrů jsou řízeny i další parametry technologického procesu (např. posuv, otáčky atd..).

Pohyb nástroje je definován pomocí dvou prostorově definovaných bodů, a jeho dráha má tvar přímky, kruhu nebo spirály. Tento způsob řízení je používán pro obrábění prostorových tvarů z pěti stran objektu díky následujícím technologiím: vrtání, závitování, frézování rovinných a prostorových tvarů na CNC frézkách nebo CNC obráběcích centrech. [2]

### 5.5.1 Soustružnicko – frézovací centrum

Jedná se o speciální víceúčelový, multifunkční CNC stroj, který je vybaven dvěma vřeteny. Nástrojové vřeteno je vybaveno motorem, díky kterému je možno provádět operace jako je frézování nebo vrtání.

Díky tomuto je možno provádět výrobu složitějších výrobků na jedno upnutí a s tím související rychlejší výroba. Tento typ stroje je vhodný pro složité a přesné obrábění, které je vyžadováno zejména v leteckém či lékařském průmyslu. [25, 26]



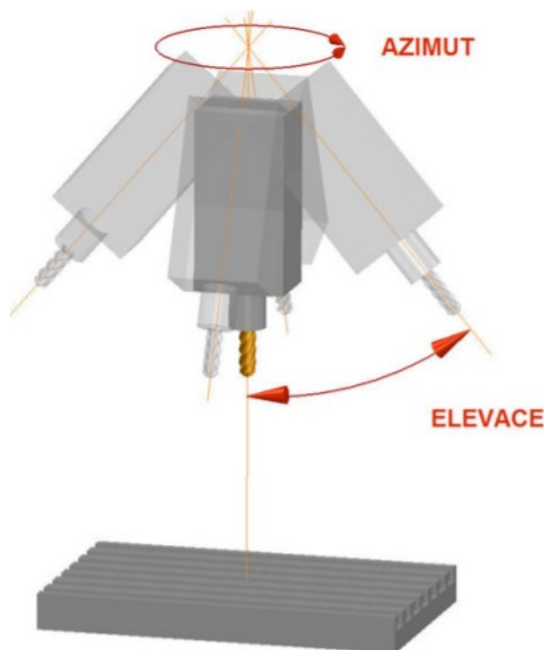
Obr. 17 – Pracovní prostor soustružnicko frézovacího centra DMG Mori NTX 1000 [27]

## 5.6 Kinematika pětiosých strojů

Kinematika pětiosých a víceosých strojů definuje pohyb jednotlivých částí obráběcích strojů. Podle souřadných os X, Y, Z jsou realizovány lineární pohyby, v případě víceosého obrábění jsou k těmto souřadným osám přidávány osy rotační A, B, C. V praxi je rozeznáváno několik koncepcí obráběcích strojů. Tyto koncepce jsou rozeznávány podle toho, která část stroje se pohybuje v rotačních osách. [19]

### 5.6.1 Hlava – Hlava

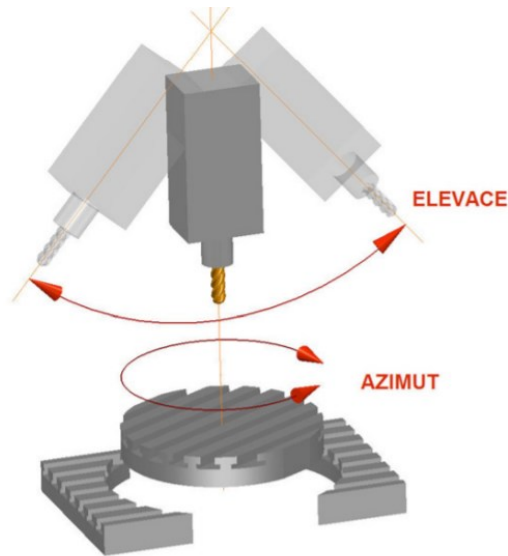
U koncepce typu hlava – hlava dochází k pohybu obráběcí hlavy stroje jak v úhlu azimutu, tak elevaci. Tento typ je hojně využíván u obráběcích strojů, které jsou vybaveny velkými pojezdy, díky těm je umožněno obrábět velké dílce. Mezi nevýhody patří menší tuhost obráběcí hlavy a omezení úhlu azimutu, což u některých strojů způsobuje neumožnění obrábění po spirále. [19]



Obr. 18 – *Koncepce hlava – hlava* [19]

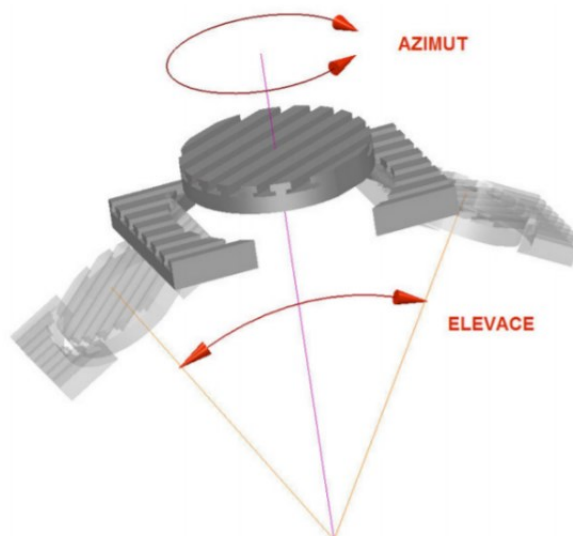
### 5.6.2 Hlava – Stůl

V rámci této koncepce dochází k rozdělení rotačního pohybu mezi hlavu a stůl obráběcího stroje. Rotace hlavy je vykonávána podle úhlu elevace, rotaci v azimutu zajišťuje rotační stůl. Typ hlava – stůl je tužší než konfigurace hlava – hlava. Kromě toho, je také výhodou, neomezený limit úhlu elevace rotačního stolu. Typickým představitelem této koncepce jsou stroje DMG. [19]

Obr. 19 – *Koncepce hlava – stůl* [19]

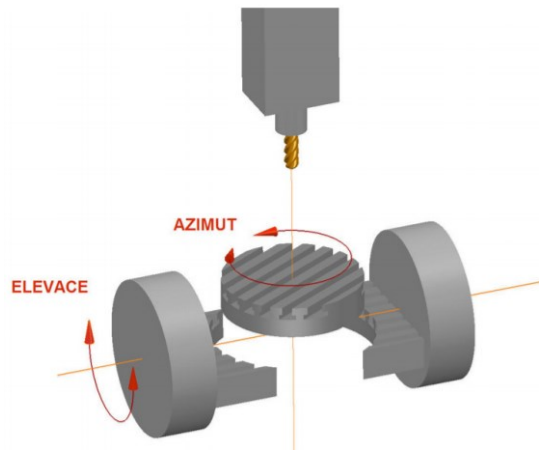
### 5.6.3 Stůl – Stůl

V případě koncepce stroje stůl – stůl se o rotační pohyb azimutu a elevace stará rotačně sklopný stůl obráběcího stroje. Umístění osy elevace může být buď vertikální, nebo pod určitým úhlem. Nejčastěji používaným úhlem je  $45^\circ$ . Mezi výhody této koncepce patří vysoká tuhost a snadný odjezd od obrobku v jakékoliv fázi obrábění. To je způsobené tím, že pohyb v ose Z je uskutečňován vřetenem, jehož směr je vždy vertikální. [19]

Obr. 20 – *Koncepce stůl – stůl* [19]

#### 5.6.4 Stůl – Stůl – Kolíbka

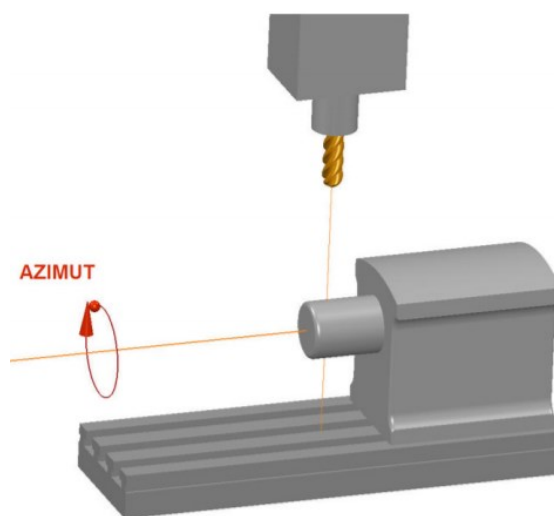
Jedná se o obdobnou konfiguraci jako je stůl – stůl. Jedinou odlišností je uchycení stolu obráběcího stroje, ten je uchycen na obou koncích stolu, většinou orientovaného podle osy X.



Obr. 21 – *Koncepce stůl – stůl – kolíbka* [19]

#### 5.6.5 Dělička

Koncepce obráběcího stroje tohoto typu umožňuje pouze čtyřosé obrábění, protože tyto stroje disponují pouze úhlem azimutu, ten je převážně realizován podle osy X. Je možné se také setkat s děličkou, kterou lze dodatečně upevnit na stůl tříosého obráběcího stroje, aby bylo docíleno čtyřosého obrábění. [19]



Obr. 22 – *Dělička* [19]

## 6 ZÁKLADY PROGRAMOVÁNÍ CNC

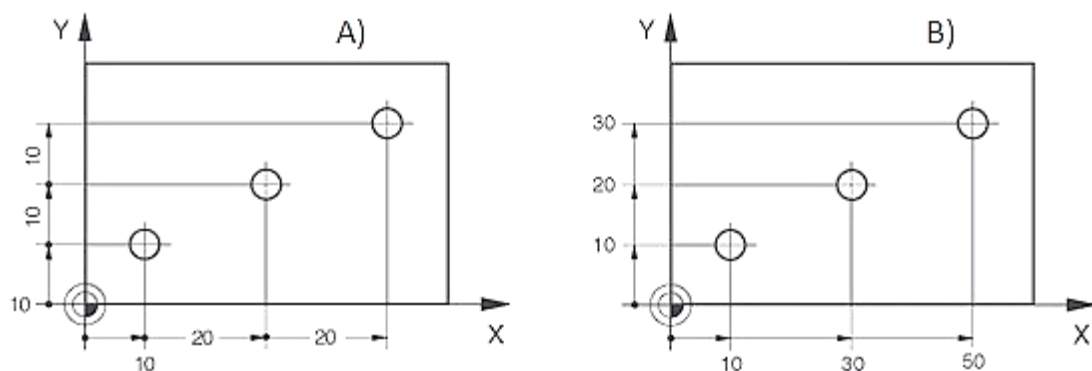
Programováním CNC strojů jsou nejčastěji zaúkolováni programátoři. Ti k tomu využívají moderní softwary, pomocí kterých program vytvoří. K tomu, aby mohli vytvořit funkční program je nutné porozumět základní problematice. Jako je například souřadný systém nebo vztažné body konkrétního CNC stroje.

### 6.1 Souřadné systémy CNC strojů

Souřadné systémy slouží k orientaci nástroje či obrobku v prostoru. Díky souřadnému systému lze navést nástroj nebo obrobek do požadovaného bodu v prostoru. Pro správné pochopení činnosti číslcového řízení, je nutné jednoznačné určení souřadných os v pracovním prostoru CNC stroje. [2]

#### 6.1.1 Kartézský souřadný systém

Jedná se o základní souřadný systém, který je využíván na většině CNC strojů. Bývá také označováno jako pravoúhlý pravotočivý souřadný systém. Existuje pravidlo, pomocí kterého lze určit správnou orientaci v prostoru. Toto pravidlo se nazývá pravidlo pravé ruky. [17,24]



Obr. 23 – Kartézský souřadný systém [22]

A – Přírůstkové souřadnice, B – Absolutní souřadnice

#### 6.1.2 Polární souřadný systém

Polární souřadný systém využívá matematických vztahů. Jedná se o transformační rovnice, pomocí kterých lze transformovat buď to, polární souřadnice na kartézské viz rovnice



5. nebo naopak viz. rovnice 6. Tento typ souřadného systému se používá zejména pro programování polohy otvorů na roztečné kružnici.







$$X = R \cdot \cos \alpha, Y = R \cdot \sin \alpha \quad (5)$$

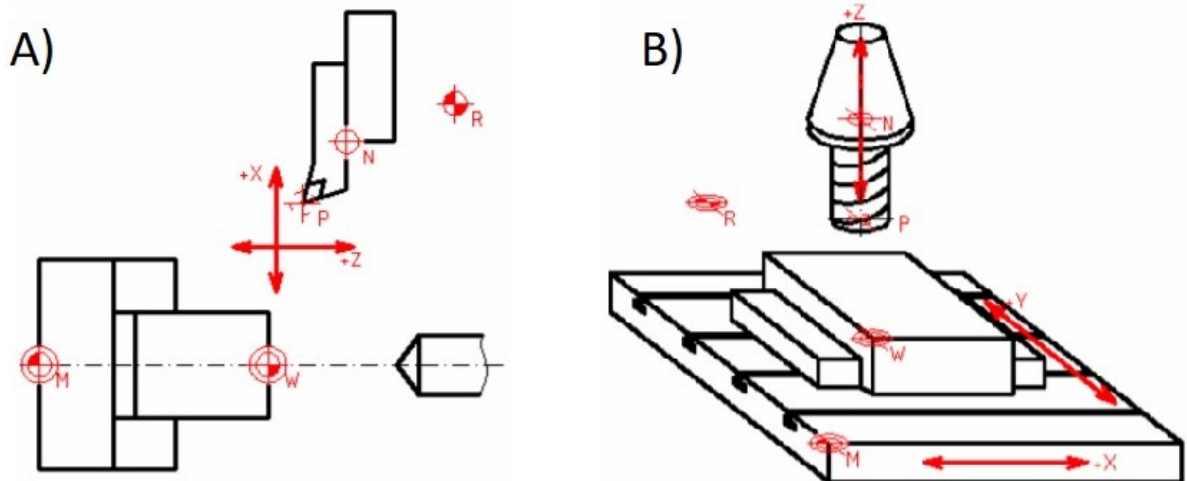
$$R = (X^2 + Y^2)^{1/2}, \alpha = \arctg(Y/X) \quad (6)$$

## 6.2 Vztažné body u CNC strojů

V rámci každého řídicího systému CNC stroje existují body, díky kterým se orientuje v prostoru. Od těchto bodů se také odměřují zadávané souřadnice.

Tab. 4 – Tabulka vztažných bodů řídicího systému [21]

Grafická značka	Název a označení		Popis
	<b>M</b>	Nulový bod stroje	Je stanoven výrobcem. Jedná se výchozí počátek souřadného systému. U soustruhů bývá umístěn v ose rotace a u frézek v krajní poloze stolu frézky v rovině X – Z. Nemůže být změněn programátorem.
	<b>W</b>	Nulový bod obrobku	Jeho polohu si programátor volí sám s ohledem na tvar součástky a zvyklosti. Váží se k němu všechny programované souřadnice drah v NC programu. Většinou se nulový bod obrobku u soustružení volí na čelní ploše součástky a u frézování na nejbližší ploše k vřetenu součástky.
	<b>R</b>	Referenční bod	Je dán výrobcem a slouží k nalezení nulového bodu stroje při zapnutí stroje. Při zapnutí stroje se provede tzv. zreferování počátečních nastavení stroje eliminace chyb.
	<b>N</b>	Nulový bod nástrojového držáku stroje	Jedná se o bod, ke kterému se vztahují rozměry všech nástrojů. Je stanoven výrobcem a nelze ho měnit. Při vložení držáku do zásobníku nástrojů je tento bod totožný s nulovým bodem výměny nástroje
	<b>T</b>	Nulový bod výměny nástroje	Tento bod slouží k určení bezpečného místa výměny nástroje. Např.: bezpečné otočení revolverové hlavy v pracovním prostoru stroje, tak aby nedošlo k poškození nástroje, stroje ani obrobku.
	<b>P</b>	Nulový bod nástroje	Charakteristický bod pro dané typy nástrojů. U soustružnického nože se jedná o bod ležící na teoretické špičce nástroje, zatímco u rotačních nástrojů se nachází na čelní ploše v ose rotace nástroje.



Obr. 24 – Vztažné body [21]

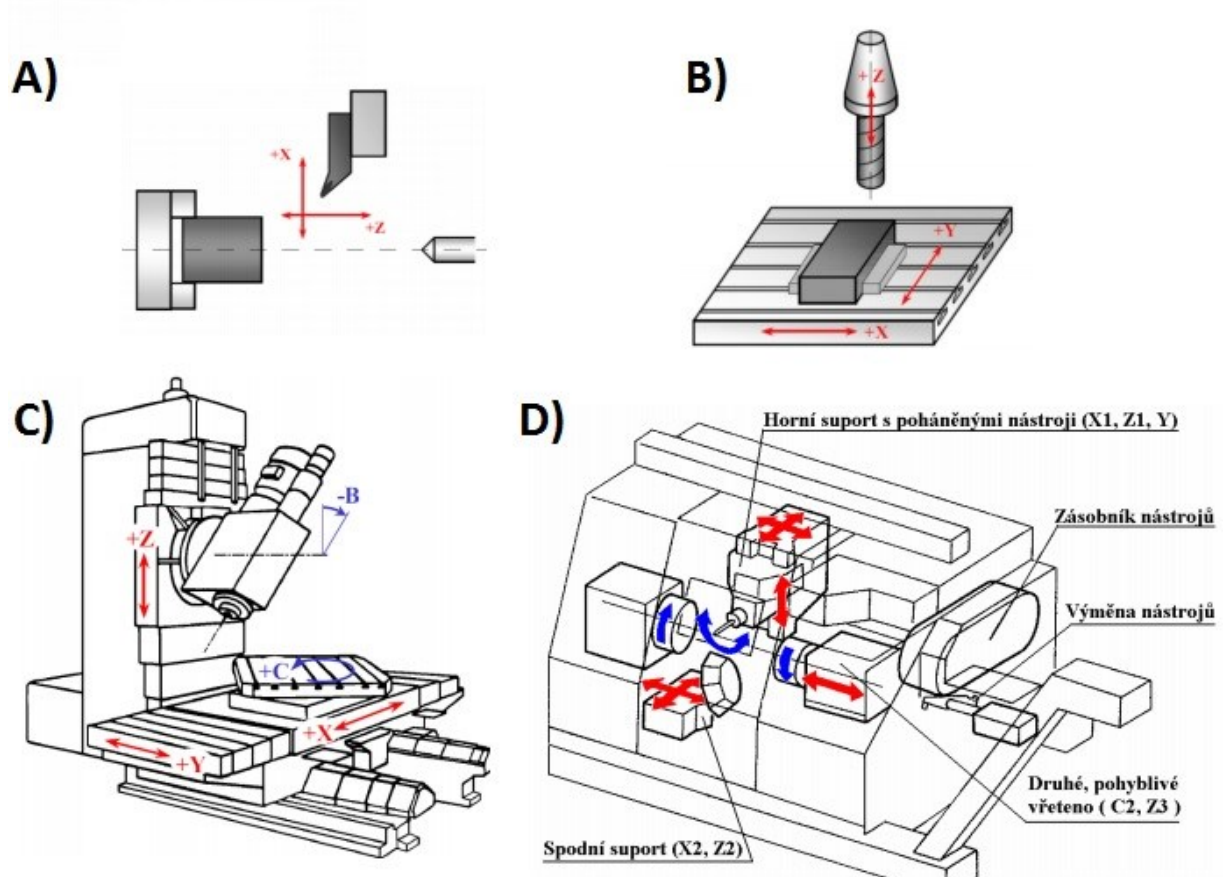
A – Soustruh, B – Frézka

### 6.3 Pravidla pro orientaci os u obráběcích strojů

V případě CNC strojů existují určitá pravidla pro umístění souřadného systému. Účelem těchto pravidel je sjednocení pohybů na všech CNC strojích. Na základě těchto pravidel je pro programátora jednoduché programovat různé druhy CNC strojů, jelikož osy strojů jsou stejné, tak program může být s minimem úprav použit na více CNC strojích. [21]

Mezi tyto základní pravidla patří:

- vychází se od nehybného obrobku
- vždy musí být definovaná osa X
- osa X leží v upínací rovině obrobku nebo je s touto rovinou rovnoběžná
- osa Z je totožná nebo rovnoběžná s osou pracovního vřetena
- kladný smysl os je od obrobku k nástroji neboli ve směru zvětšujícího se obrobku
- pokud je stroj vybaven doplňkovými pohyby v osách X, Y, Z tak se označují U, V, W
- v případě, že se obrobek pohybuje proti nástroji, označují se takové osy  $X'$ ,  $Y'$ ,  $Z'$  [21]



Obr. 25 – Znázornění os u základních obráběcích strojů [21]

A – Soustruh, B – Frézka, C – 5osé frézovací centrum, D – Víceosý soustruh

## 6.4 Metody programování

V praxi se lze setkat se třemi metodami programování absolutní, přírůstkové a polární. Při programování není nutné používat pouze jednu metodu, je možné tyto metody kombinovat.

### a) Absolutní programování

Při této metodě jsou při programování zadávány hodnoty, které jsou vztaženy k nulovému bodu.

### b) Přírůstkové programování

Při přírůstkovém programování jsou programátorem zadávány hodnoty přírůstkové, tzn. hodnoty, které jsou vztaženy k místu, kde se stroj aktuálně nachází a kam má dále směřovat. [2,24]

## 7 CNC PROGRAM

Jedná se o technologický program, popisující činnost numericky řízeného stroje při výrobě produktu. Je složen z příkazů, podle kterých probíhá obrábění produktu. CNC programy začínají hlavičkou, do které lze vložit textovou poznámku, která může obsahovat například název programu, umístění nulového bodu nebo například nástroje obsažené v programu.

### 7.1 Vytvoření programu

Vytvoření programu lze docílit pomocí tří způsobů. O tom, jakým způsobem bude programování probíhat, hodně vypoví samotný tvar výrobku. U složitějších výrobků je nejvýhodnější možnost vytvoření programu pomocí CAD/CAM systému. U tvarově jednodušších produktů lze využít zbývající dvě metody těmi jsou ruční nebo dílenské programování.

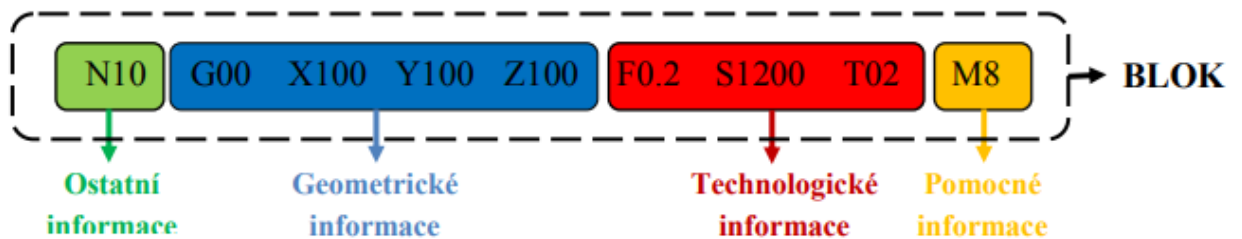
Při tvoření programu pomocí ručního programování, je program tvořen buď přímo na CNC strojích, nebo v tzv. technologických licencích. Tyto licence jsou umístěné mimo CNC stroj, například na počítači v kanceláři, a na samotný stroj je přenesen pomocí DNC sítě.

Dalším způsobem je dílenské programování, které je prováděno na stroji. Při tomto programování jsou využívány údaje o polotovaru a tvaru budoucí součásti. V tomto případě se hojně využívají z důvodu urychlení programování pevné cykly, které jsou součástí systému CNC stroje. Na stroji je také možnost provést simulaci, která zobrazuje výrobu součásti.

Program si je možno také vygenerovat na počítači v kanceláři, k čemuž slouží speciální CAM softwary. Vygenerovaný program si lze upravit pomocí textového editoru upravit nebo případně doplnit a poté přenést pomocí DNC sítě na stroj. [2,21,24]

### 7.2 Struktura CNC program

Struktura CNC programu je tvořena tzv. bloky, které jsou složeny z jednotlivých příkazů. Tyto příkazy se skládají z adresové a významové části.



Obr. 26 – Stavba CNC programu [23]

Význam jednotlivých adres:

- N – číslo bloku (může či nemusí být uvedeno, pouze pro lepší orientaci v programu)
- G – přídatné funkce
- X, Y, Z – Souřadnice
- F – Rychlost posuvu
- S – Otáčky vřetena
- T – Volba nástroje
- M – Pomocné funkce (spouštějí činnost strojních mechanismů – zap. vyp. otáček)

Významovou částí tohoto bloku je: 10, 00, 100, 100, 100, 0.2, 1200, 02, 8

Tab. 5 – Přehled běžně používaných M-funkcí [2]

Funkce	Význam
<b>M00</b>	<b>Programové zastavení.</b> STOP vykonávání programu včetně zastavení vřetena a chlazení do doby opětovného startu stroje.
<b>M03</b>	<b>Spuštění otáček vřetena ve směru hodinových ručiček.</b> (CW)
<b>M04</b>	<b>Spuštění otáček vřetena proti směru hodinových ručiček.</b> (CCW)
<b>M05</b>	<b>Zastavení otáček vřetena.</b>
<b>M06</b>	<b>Výměna nástroje.</b>
<b>M08</b>	<b>Zapnutí chlazení.</b>
<b>M09</b>	<b>Vypnutí chlazení.</b>
<b>M17</b>	<b>Konec podprogramu.</b>
<b>M30</b>	<b>Konec programu</b>

Tab. 6 – Přehled běžně používaných G-funkcí [2]

Funkce	Význam
G00	Rychloposuv - lineární interpolace maximálním posuvem
G01	Lineární interpolace – pohyb po přímce zadanou hodnotou posuvu F
G02	Kruhová interpolace - pohyb po kružnici v směru hodinových ručiček (CW - clockwise)
G03	Kruhová interpolace - pohyb po kružnici proti směru hodinových ručiček (CCW - counterclockwise)
G17	Volba pracovní roviny X/Y
G18	Volba pracovní roviny Z/X
G19	Volba pracovní roviny Y/Z
G40	Bez korekce rádiusu
G41	Korekce dráhy nástroje vlevo od obrysu (sousledné frézování)
G42	Korekce dráhy nástroje vpravo od obrysu (nesousledné frézování)
G54 - G57	Absolutní posunutí nulového bodu
G90	Absolutní programování
G91	Inkrementální (přírůstkové) programování
G92	Omezení otáček stroje
G94	Posuv v milimetrech za minutu [ $\text{min}^{-1}$ ]
G95	Posuv v milimetrech za jednu otáčku [mm]
G96	Zapnutí konstantní řezné rychlosti $v_c = \text{konst.}$
G97	Vypnutí konstantní řezné rychlosti $n = \text{konst.}$

### 7.3 Postup vytváření CNC program

Tvorbou CNC programu se většinou zabývají programátoři, ti jej vytváří pomocí CAD/CAM softwarů. Pokud se jedná o jednodušší výrobky, lze tento proces přenechat i operátorům na dílně. V případě, že tvorbou programu je pověřen programátor, je postup tvorby tohoto programu následující:

- Prostudování technické dokumentace a zvolení technologie obrábění
- Volba polotovaru a jeho upnutí ve stroji
- Volba vhodných nástrojů potřebných pro výrobu společně s řeznými podmínkami
- Založení programu pod určitým jménem (v praxi je používáno číslo výkresu)
- Zadání rozměrů polotovaru, nulového bodu a způsobu programování

- Po těchto krocích, následuje tvorba tzv. těla programu, v tom jsou zadávány informace o pohybu nástroje dle konstrukčního výkresu  
Tělo programu je tvořeno ze dvou částí, a to hlavním programem, kde je řečeno, jak a čím bude výroba probíhat, a podprogramem, který popisuje kde (na jakých souřadnicích) bude program probíhat
- Blok ukončující program, nejčastěji využívanou funkcí je M30
- Po vytvoření kompletního programu následuje jeho kontrola pomocí tzv. simulace, ve které lze odhalit hrubé chyby vzniklé při programování
- Takto zkontrolovaný program je přenesen na CNC stroj, na kterém je provedeno jeho odladění (ověření vhodnosti nástrojů, řezných podmínek atd.)
- Konečným bodem je výroba výrobku [21, 23]

## 8 SHRnutí TEoretické Části

V úvodu teoretické části byla obecně vysvětlena technologie obrábění a její základní terminologie. Poté byly objasněny principy konkrétních typů obrábění, mezi které patří soustružení a frézování. V první polovině teoretické části nebyla opomenuta důležitá problematika, kterou je obrobiteľnosť materiálu.

Druhá polovina byla zaměřena na číslicově řízené stroje. Postupně byly probrány témata jako konstrukce číslicově řízených strojů, jejich řídicí systém, ovládání, rozdělení z hlediska způsobu řízení nebo kinematika. Závěr byl věnován základům programování číslicově řízených strojů, a samotné skladbě CNC programu a postupu jeho vytvoření.



## **II. PRAKTICKÁ ČÁST**

## 9 STANOVENÍ CÍLŮ DIPLOMOVÉ PRÁCE

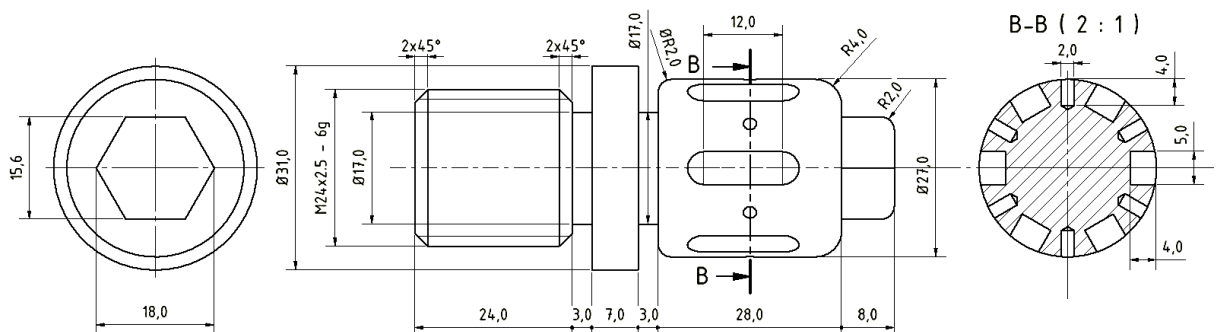
Cílem diplomové práce bylo vyrobit součást pomocí soustružnicko-frézovacího centra od firmy DMG Mori. Tato součást byla vyrobena ze slitiny AW2030 a její tvar je znázorněn na fotografii níže. Nejprve byl vytvořen výrobní postup včetně použitých obráběcích nástrojů. Následně se pokračovalo tvorbou programu. Při programování se postupovalo podle předem naplánovaného výrobního postupu.

Po vytvoření programu bylo nutné připravit si potřebné nástroje pro výrobu. Tato příprava spočívala v založení nástroje do skupiny nástrojů ve stroji a následně v zaměření nástroje pomocí dotykové sondy.

Poté byl na pásové pile přichystán polotovár, ze kterého byl dílec vyráběn. Po těchto potřebných úkonech se mohlo pokračovat samotnou výrobou a optimalizací řezných podmínek.

Hlavním cílem diplomové práce tedy byla výroba součásti na základě technologické dokumentace. Výroba byla složena z několika bodů:

- Vytvoření výrobního postupu
- Tvorba programu pomocí dílenského programování
- Přichystání potřebných nástrojů pro výrobu
- Zaměření nástrojů
- Volba řezných podmínek
- Přichystání polotovaru
- Výroba dílce a optimalizace řezných podmínek



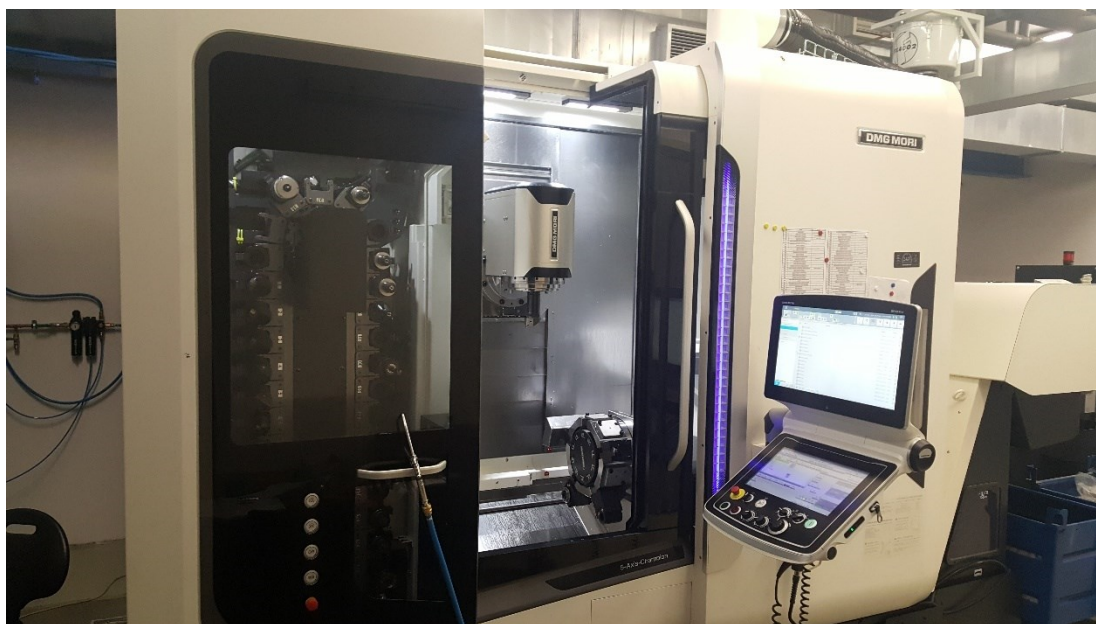
Obr. 27 – Vyráběný dílec

## 10 OBRÁBĚCÍ CENTRUM

Výroba byla prováděna na soustružnicko-frézovacím centru NTX 1000 od firmy DMG Mori. Tento stroj je vybaven vřetenem pro pětiosé simultánní obrábění s přímým pohonem v ose B a také standartně nástrojovým vřetenem Capto C5. Díky plně řízenému odvodu tepla pomocí cirkulace oleje v těle stroje je zajištěna vysoká přesnost výroby. Operačním systémem tohoto stroje je Celos.

Tab. 7 – *Technické údaje stroje*

Pracovní prostor	
Max. průměr soustružení	430 mm
Max. délka soustružení	800 mm
Max. vzdálenost mezi středy	1 050 mm
Hlavní vřeteno	
Integrovaný motor vřetena s osou C	6 000 ot/min
Max. pracovní průměr použité tyče	65 mm
Frézovací vřeteno soustruhu	
Max. otáčky frézovacího vřetena	12 000 ot/min
Nástrojové vřeteno	
Max. počet nástrojových pozic	10
Max. otáčky vřetena rotačního nástroje	10 000 ot/min
Osa B	
Rozsah naklápění osy B	-30° až 240°
Zásobník nástrojů	
Kapacita zásobníku nástrojů	38 nástrojů



Obr. 28 – *DMG Mori NTX 1000*

## 11 TECHNOLOGICKÝ POSTUP VÝROBY

Před samotnou výrobou a programováním bylo nutné si prohlédnout technický výkres součásti a rozmyslet si, jak bude výroba dílce probíhat. To spočívalo ve vytvoření výrobního postupu, podle kterého bude výroba postupovat. Tento výrobní postup poté sloužil jako „kuchařka“ při programování obráběcího programu.

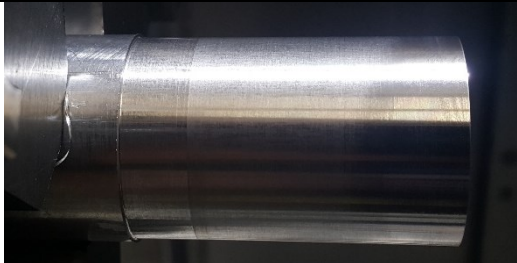
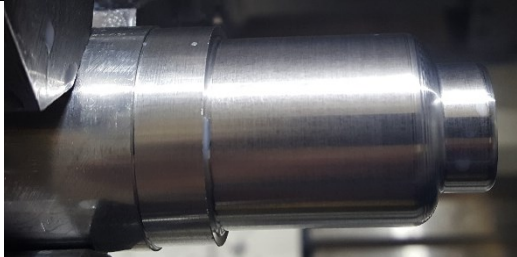
### 11.1 Problematika upnutí polotovaru


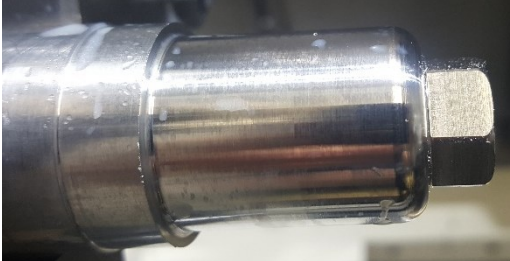
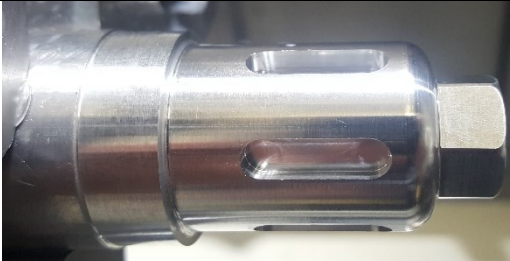
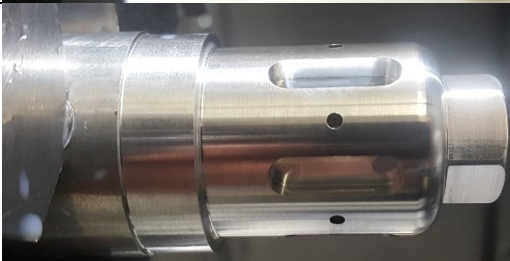

Výroba dílce byla provedena pomocí dvou upnutí. Tato skutečnost byla zapříčiněna tím, že v případě výroby na jedno upnutí docházelo k průhybu součásti na jejím konci. K této deformaci docházelo z důvodu velké vyložené délky upnutého polotovaru. Tím, že výroba byla rozdělena na dvě upnutí došlo k vyřešení tohoto problému.

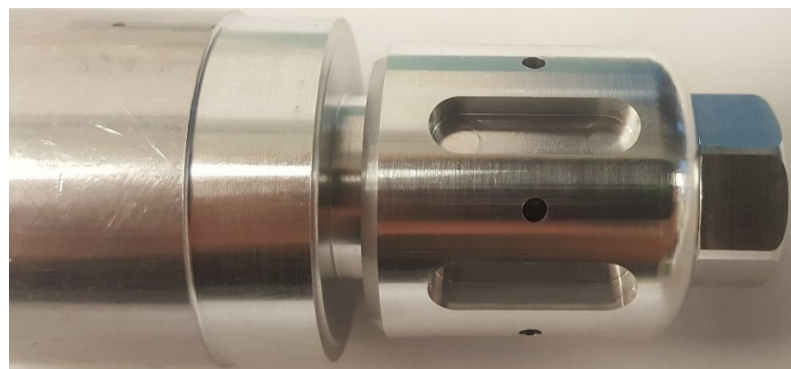
### 11.2 Upnutí 1.

V rámci 1. upnutí byly provedeny operace jako soustružení tvaru výrobku, frézování drážek, vrtání děr či frézování šestihranu. Tabulka 8 obsahuje fotografie, které znázorňují tyto jednotlivé operace a nástroje použité při jejich vykonávání.

Tab. 8 – Výrobní postup 1. upnutí

Pořadí operace	Popis operace	Grafické znázornění	Nástroj
1.	Soustružení vnějšího tvaru D31		Soustružnický nůž vnější načisto
2.	Soustružení vnějšího tvaru – nahrubo		Soustružnický nůž vnější hrubovací

3.	Soustružení vnějšího tvaru – načisto		Soustružnický nůž vnější načisto
4.	Frézování šestihranu		Monolitní karbidová fréza D12
5.	Frézování drážek		Monolitní karbidová fréza D4
6.	Vrtání otvorů D2		Monolitní karbidový vrták D2
7.	Zápich		Zapichovací nůž vnější

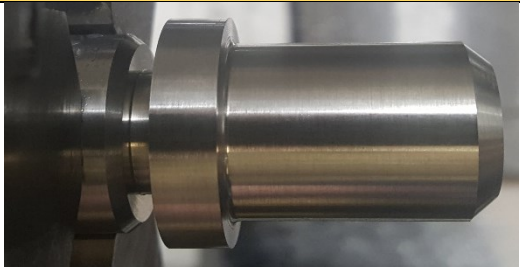
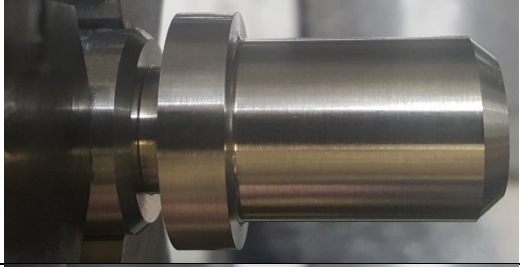
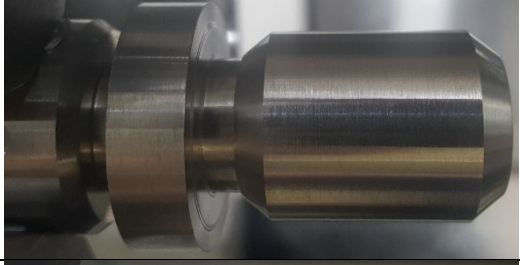
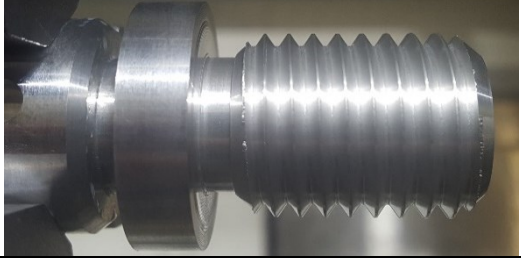


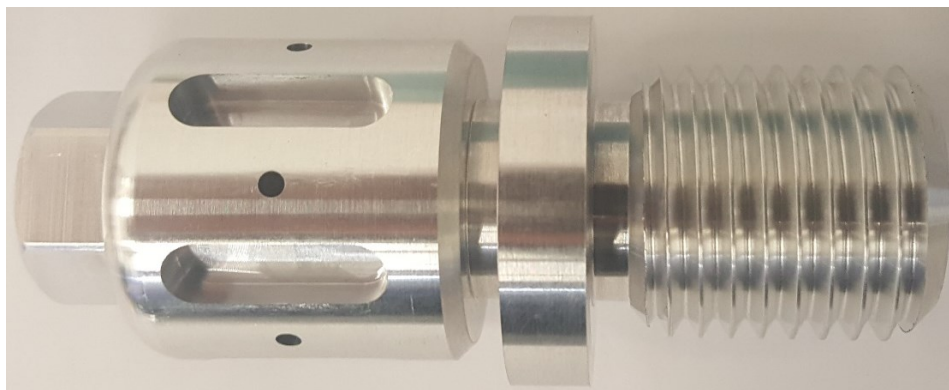
Obr. 29 – Tvar výrobku po 1. upnutí

### 11.3 Upnutí 2.

Během 2. upnutí byly provedeny už pouze tři operace, mezi které patřilo soustružení vnějšího tvaru, zápich a soustružení vnějšího závitu M24x2,5. Fotografie znázorňující provedené operace a použité nástroje jsou uvedeny v tabulce níže.

Tab. 9 – Výrobní postup 2. upnutí

Pořadí operace	Popis operace	Fotografie	Nástroj
1.	Soustružení vnějšího tvaru – nahrubo		Soustružnický nůž vnější nahrubo
2.	Soustružení vnějšího tvaru – načisto		Soustružnický nůž vnější hrubovací
3.	Zápich		Zapichovací nůž vnější
4.	Závit M24x2,5		Závitovací nůž vnější



Obr. 30 – Hotový výrobek

## 11.4 Přehled použitých obráběcích nástrojů

Pro výrobu součásti bylo celkově použito sedm nástrojů. Konkrétně se jednalo o soustružnické nože vnější, monolitní vrták, dvě monolitní frézy, závitovací nůž vnější a upichovací nůž. Výrobce všech těchto nástrojů byla firma Seco.

Tab. 10 – Přehled použitých nástrojů

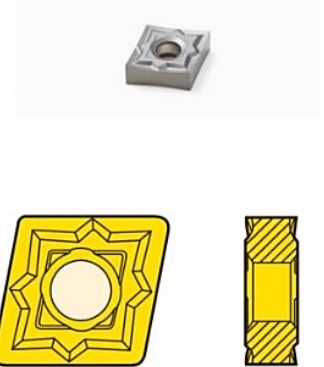
Typ nástroje	Využití operace	Způsob chlazení	Povlak
Soustružnický nůž vnější hrubovací	Soustružení vnějších tvarů nahrubo	Emulze – vnitřní skrze vřeteno	Nepovlakováno
Soustružnický nůž vnější dokončovací	Soustružení vnějších tvarů načisto	Emulze – vnitřní skrze vřeteno	Nepovlakováno
Monolitní karbidová fréza D4 mm	Frézování drážek	Emulze – vnější chlazení	NXT
Monolitní karbidová fréza D12 mm	Frézování 6hranu	Emulze – vnější chlazení	NXT
Monolitní karbidový vrták D2 mm	Vrtání děr Ø2 mm	Emulze – vnitřní skrze vřeteno	Nepovlakováno
Závitovací nůž	Soustružení závitu M24 x 2,5	Emulze – vnitřní skrze vřeteno	PVD
Upichovací nůž vnější	Zápich	Emulze – vnitřní skrze vřeteno	PVD

### 11.4.1 Soustružnický nůž vnější hrubovací

Tento nástroj měl několik využití. První operací bylo zarovnání čela polotovaru po jeho zkrácení na pásové pile. Druhým jeho využitím bylo, „naškrábnutí“ polotovaru pro zaměření nulového bodu. A nakonec pro výrobní operace soustružení vnějšího tvaru s přídatkem pro dokončení. Nástroj byl v podobě sestavy, která byla složena z držáku, jeho

prodloužení a karbidové destičky typu CNMG120404-MF1 890. Celou sestavu lze vidět na obrázku níže.

Název	Popis	Hodnota
AN	hlavní úhel hřbetu	0.0 deg
Čárový kód	Čárový kód produktu	50197740001000
D1	průměr stavěcího otvoru	5.2 mm
EPSR	celkový úhel destičky	80.0 deg
IC	průměr vepsané kružnice	12.70 mm
L	Teoretická délka břitu	12.90 mm
RE	Rohový rádius	0.40 mm
S	Tloušťka destičky	4.76 mm
Hmotnost	Čistá hmotnost	0.009 kg



Obr. 31 – Základní specifikace hrubovací břitové destičky CNMG120404-MF1 890



Obr. 32 – Komponenty sestavy hrubovacího nástroje

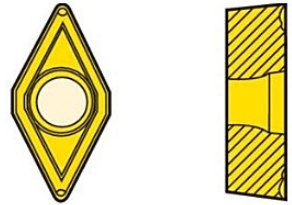
A – Držák destičky, B – Prodloužení

#### 11.4.2 Soustružnický nůž vnější dokončovací (načisto)

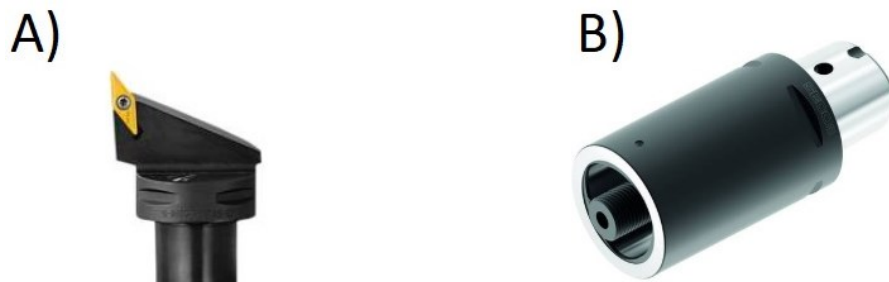
Jak napovídá samotný název nástroje, jeho využití spočívá v dokončovacích operacích tzn., že tento druh nástrojů odpovídá za finální kvalitu obrobené plochy. V rámci této výroby byl použit pro šlicht vnějšího tvaru výrobku. I tento nástroj byl podobně jako vnější soustružnický nůž hrubovací v podobě sestavy. Ta bylo také složena z držáku, jeho prodloužení a břitové destičky typu DCMT11T304-F2 HX.



Název	Popis	Hodnota
AN	hlavní úhel hřbetu	7.0 deg
Čárový kód	Čárový kód produktu	11734740001008
D1	průměr stavěcího otvoru	4.5 mm
EPSR	celkový úhel destičky	55.0 deg
IC	průměr vepsané kružnice	9.53 mm
L	Teoretická délka břitu	11.60 mm
RE	Rohový rádius	0.40 mm
S	Tloušťka destičky	3.97 mm
Hmotnost	Čistá hmotnost	0.004 kg



Obr. 33 – Základní specifikace dokončovací břitové destičky DCMT11T304-F2 HX



Obr. 34 – Komponenty sestavy dokončovacího nástroje

A – Držák destičky, B – Prodloužení

### 11.4.3 Monolitní karbidová fréza průměru 4 mm

Využití tohoto nástroje spočívalo ve vyfrézování drážek na výrobku. Upnutí frézy do stroje bylo provedeno pomocí kleštiny a kleštinového upínače.



Obr. 35 – Upínací mechanismus frézy

A – kleština, B – Kleštinový držák

Název	Popis	Hodnota
APMXS	Max. hloubka řezu v bočním směru posuvu	20.0 mm
Čárový kód	Čárový kód produktu	27334029000107
CCC	Břity do středu nástroje	1
CGT	Typová řada nástroje	JS513
CHW	šířka rohového sražení	0.040 mm
Cmax	Maximální průměr otvoru pro šroubovou interpolaci	7.9 mm
Cmin	Minimální průměr otvoru pro šroubovou interpolaci	5.2 mm
COATING	Povlak břitů	NXT
DC	Obráběcí průměr	4.000 mm
DMM	Průměr stopky / otvoru pro trn	6.00 mm
DN	Průměr krčku	4.0 mm
FHA	Úhel šroubovice břitů	46.0 deg
ICC	Kanálky vnitřního chlazení	No
KCH	úhel rohového sražení	45.0 deg
LN	Délka krčku	23.0 mm
OAL	Celková délka	57.0 mm
PCEDC	Počet obvodových břitů	3
PSIR	Záběrový úhel nástroje	0.0 deg
Typ upnutí	Typ upnutí	Cylindrical
Hmotnost	Čistá hmotnost	0.023 kg



Obr. 36 – Základní specifikace monolitní karbidové frézy D4

#### 11.4.4 Monolitní karbidová fréza průměru 12 mm

Monolitní fréza průměru 12 byla využita pro tvorbu šestihranu při prvním upnutí obrobku. Její upnutí bylo vyřešeno stejně, jako v případě předchozí frézy tzn. pomocí kleštiny a kleštinového upínače.

Název	Popis	Hodnota
APMXS	Max. hloubka řezu v bočním směru posuvu	45.0 mm
Čárový kód	Čárový kód produktu	27424029000105
CCC	Břity do středu nástroje	1
CGT	Typová řada nástroje	JS514
CHW	šířka rohového sražení	0.120 mm
Cmax	Maximální průměr otvoru pro šroubovou interpolaci	23.7 mm
Cmin	Minimální průměr otvoru pro šroubovou interpolaci	15.6 mm
COATING	Povlak břitů	NXT
DC	Obráběcí průměr	12.000 mm
DMM	Průměr stopky / otvoru pro tm	12.00 mm
FHA	Úhel šroubovice břitů	46.0 deg
ICC	Kanálky vnitřního chlazení	No
KCH	úhel rohového sražení	45.0 deg
OAL	Celková délka	100.0 mm
PCEDC	Počet obvodových břitů	4
PSIR	Záběrový úhel nástroje	0.0 deg
Typ upnutí	Typ upnutí	Cylindrical
Hmotnost	Čistá hmotnost	0.040 kg



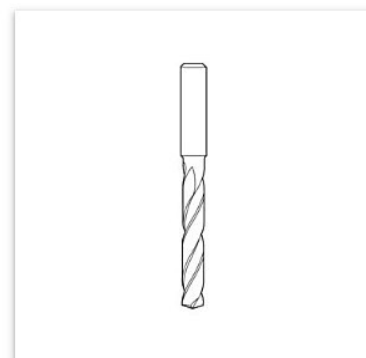
Obr. 37 – Základní specifikace monolitní karbidové frézy D12

#### 11.4.5 Monolitní karbidový vrták průměru 2 mm

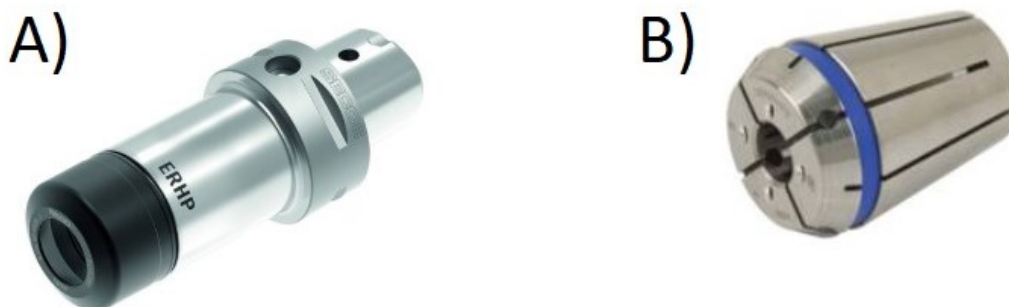
Výhodou těchto monolitních vrtáků, je jejich všestrannost a nižší náklady. V rámci výroby byl využit pro vyvrtání děr po obvodu výrobku. Jeho upnutí bylo principiálně obdobné jako u fréz.

Jednalo se také o kleštinu a kleštinový držák. Kleština byla zatěsněná a kleštinový držák, který zajišťuje vysokou přesnost při vysokorychlostním obrábění. Z důvodu využití vrtáku s vnitřním chlazením, byla zvolena zatěsněná kleština, která zajistí maximální průtok chladicí kapaliny vnitřkem vrtáku. Tímto bylo zajištěno nejlepší možné chlazení vrtáku při vrtání.

Název	Popis	Hodnota
Čárový kód	Čárový kód produktu	46131030000103
CHW	šířka rohového sražení	0.150 mm
DC	Obráběcí průměr	2.000 mm
DMM	Průměr stopky / otvoru pro trn	4.00 mm
Typ třídy	Typ třídy	Carbide PVD
KCH	úhel rohového sražení	35.0 deg
LCF	délka zubové drážky	15.0 mm
LFS	Vedlejší funkční délka	19.0 mm
LS	Délka stopky	27.0 mm
LU	Využitelná délka	12.0 mm
OAL	Celková délka	46.0 mm
PL	délka špičky	0.4 mm
Typ upnutí	Typ upnutí	Cylindrical
SIG	Vrcholový úhel	140.0 deg
Hmotnost	Čistá hmotnost	0.005 kg
ZEFP	Počet efektivních obvodových břitů	2



Obr. 38 – Základní specifikace monolitního vrtáku D2

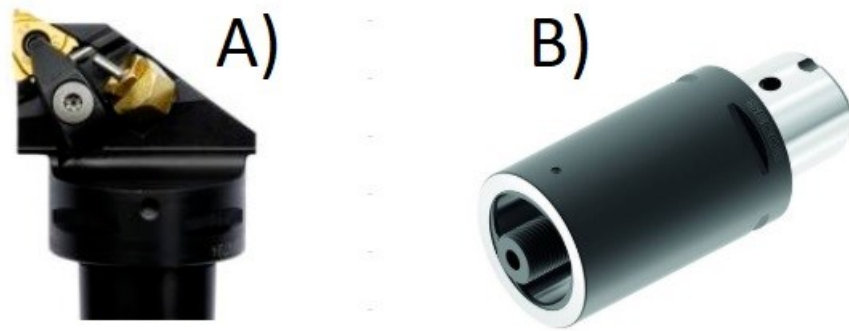


Obr. 39 – Upínací mechanismus vrtáku

A – Kleštinový držák, B – Zatěsněná kleština

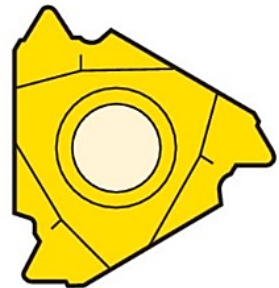
#### 11.4.6 Závítovací nůž

Soustružení závitu M24x2,5 bylo zhotoveno pomocí závítovacího nože. Ten byl sestaven z břitové destičky typu 16ER1.0 ISO, CP500, jejího držáku a prodloužení.



Obr. 40 – Upínací mechanismus závitovacího nože

Název	Popis	Hodnota
Čárový kód	Čárový kód produktu	49554000000205
CEDC	počet břitů	3
IC	průměr vepsané kružnice	9.53 mm
IH	Destička pro směr řezu	Right
L	Teoretická délka břitu	16.50 mm
NT	Počet zubů	1.0
PDX	Vzdálenost profilu ex	0.80 mm
PDY	Vzdálenost profilu ey	0.8 mm
PNA	Vrcholový úhel profilu	60.0 deg
RE	Rohový rádius	0.14 mm
S	Tloušťka destičky	3.47 mm
SSC	Velikost lůžka pro břitovou destičku	16
TCTR	Toleranční třída závitů	3h/4h
TPN	min. rozteč závitů	1.00 mm
TPX	max. rozteč závitů	1.00 mm
TTP	Typ závitů	External



Obr. 41 – Základní specifikace břitové destičky 16ER1.0 ISO, CP500

V případě závitovací břitové destičky se jednalo o cermetovou destičku, která byla ošetřena povlakem PVD. Pro tento typ povlaku je charakteristická tvrdost, díky které se také zvyšuje odolnost proti otěru. Složkami tohoto povlaku jsou (Ti,Al)N a TiN.

### 11.4.7 Upichovací nůž vnější

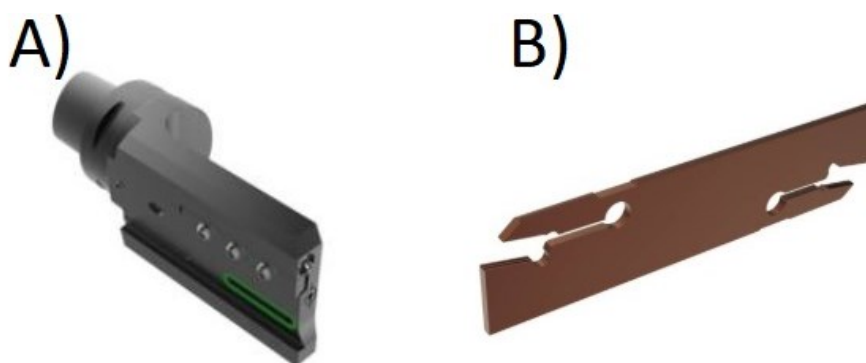
Tento nástroj byl využit pro dvě operace výroby. Jeho první využití spočívalo ve zkosení hrany  $1 \times 45^\circ$  na konci výrobku. Podruhé byl upichovací nůž využit na úplný závěr výroby, kdy díky němu došlo k upíchnutí výrobku od polotovaru.

Upichovací nůž vnější byl sestaven ze tří částí. Těmi konkrétně byly adaptér pro upichovací nástroj, ve kterém byla připevněna planžeta s břitovou destičkou typu LCMF160302-0300-FT CP500. Tato destička byla stejně jako v případě závitové břitové destičky, vyrobena z cermetu a opatřena PVD povlakem.

Název	Popis	Hodnota
AN	hlavní úhel hřbetu	7.0 deg
Čárový kód	Čárový kód produktu	91088000001007
CDXI	Maximální hloubka řezu břitové destičky	14.0 mm
CEDC	počet břitů	2
CW	Šířka řezu	3.00 mm
Typ třídy	Typ třídy	Carbide PVD
IGL	Měřená délka břitové destičky	15.9 mm
IH	Destička pro směr řezu	Neutral
RE	Rohový rádius	0.20 mm
S	Tloušťka destičky	4.50 mm
SSC	Velikost lůžka pro břitovou destičku	16
Hmotnost	Čistá hmotnost	0.003 kg



Obr. 42 – Základní specifikace břitové destičky LCMF160302-0300-FT CP500



Obr. 43 – Upínací mechanismus upichovacího nože

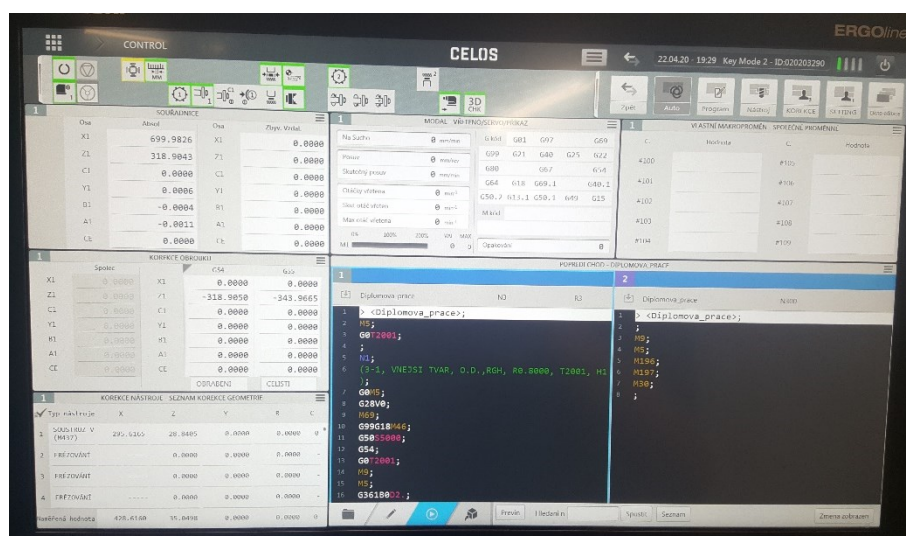
A – Adaptér pro připevnění planžety, B – Planžeta

## 12 PROGRAMOVÁNÍ

Programování bylo prováděno přímo na soustružnicko-frézovacím centru tzv. metodou dílenského programování. Toto programování probíhalo v rozhraní systému Celos, kterým byl stroj vybaven. Pro vytváření programu byly využívány pouze cykly, které byly součástí tohoto systému. Při tvorbě se postupovalo podle předem vytvořeného výrobního postupu. To znamená, že se začalo vnějším tvarem výrobku, a pokračovalo dalšími operacemi jako bylo frézování, vrtání apod.



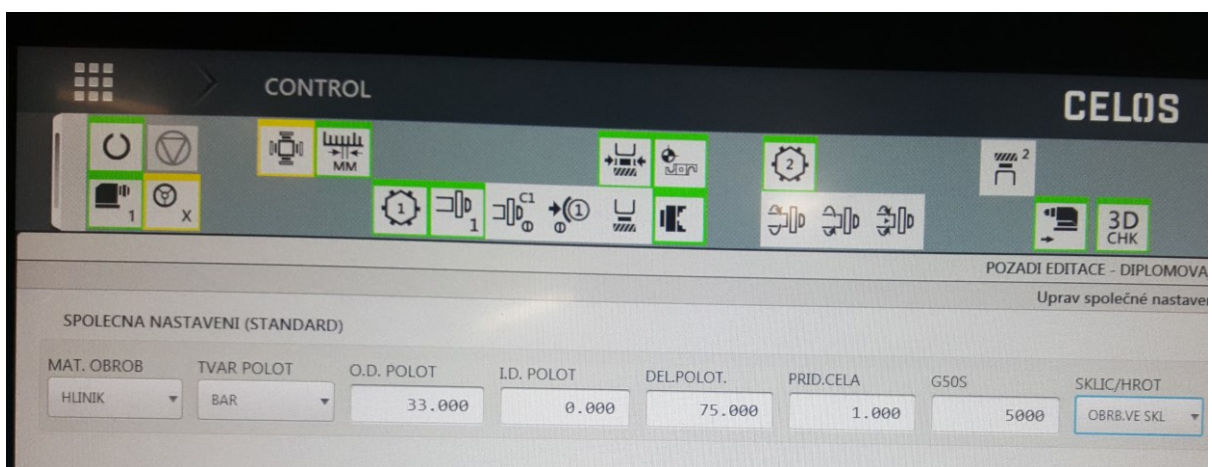
Obr. 44 – Spodní ovládací panel stroje se systémem Celos



Obr. 45 – Horní ovládací panel stroje se systémem Celos

## 12.1 Úvod programu

Tvorba programu na soustružnicko-frézovacím centru probíhala v postupných krocích, kdy nejprve musel být charakterizován polotovar, poté se pokračovalo programováním, volbou obráběcích nástrojů a v poslední řadě řeznými podmínkami. Na začátek tedy bylo nutné zadat jaké rozměry polotovar má, z jakého materiálu je, jaký nulový bod bude pro výrobu využíván, a omezení otáček během obrábění. Toto omezení otáček poté platilo po celý průběh programu, a v ISO kódu programu bylo toto omezení značeno funkcí G50.



Obr. 46 – Základní charakteristika polotovaru

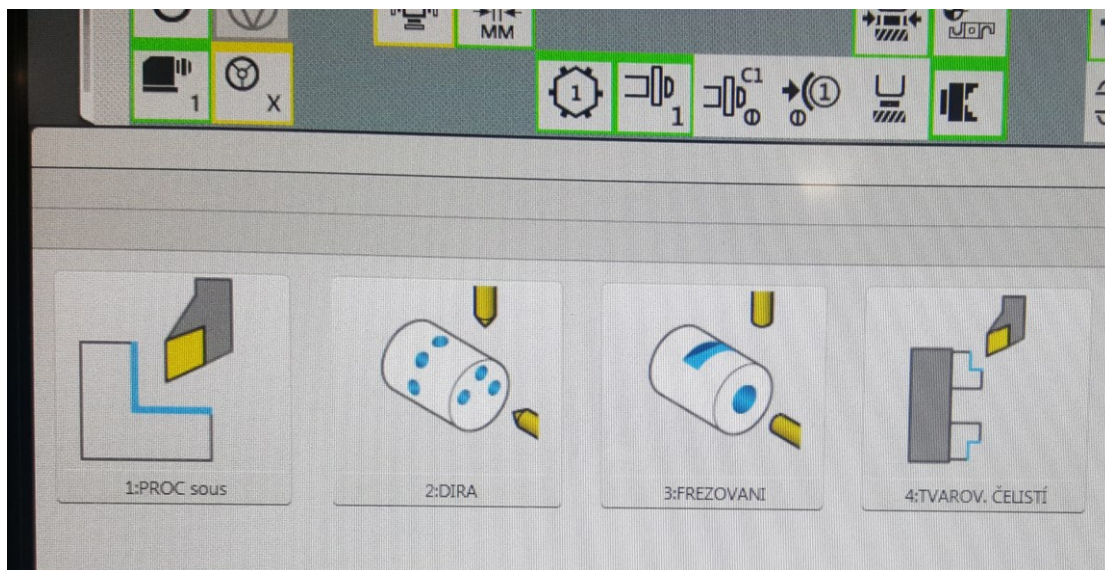
## 12.2 Volba vhodných cyklů

Po zadání úvodních informací, následovala samotná tvorba programu. To probíhalo tak, že nejprve byl vybrán druh obrábění, pomocí kterého bude získán požadovaný tvar. Na výběr byly tři základní druhy a to soustružení, frézování nebo vrtání. Tyto základní obráběcí metody dále obsahovaly konkrétnější cykly viz. obr. 48. a 49.

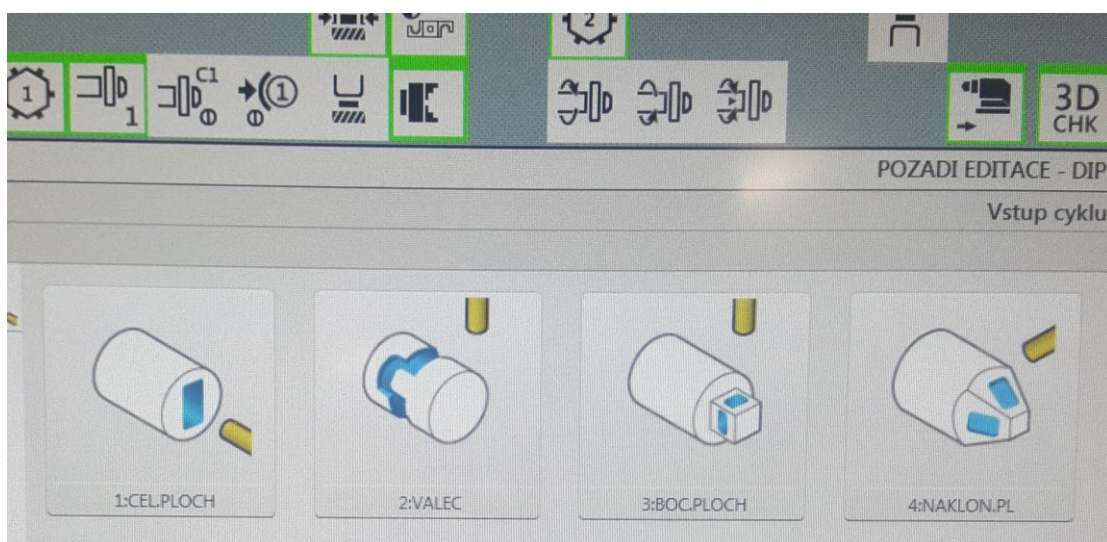
Pro výrobu součásti byly využity následující cykly:

- Soustružení vnějšího tvaru směrem zprava do leva
- Soustružení zápichu
- Soustružení šestihranu
- Soustružení závitu
- Vrtání
- Frézování drážek





Obr. 47 – Základní obráběcí metody



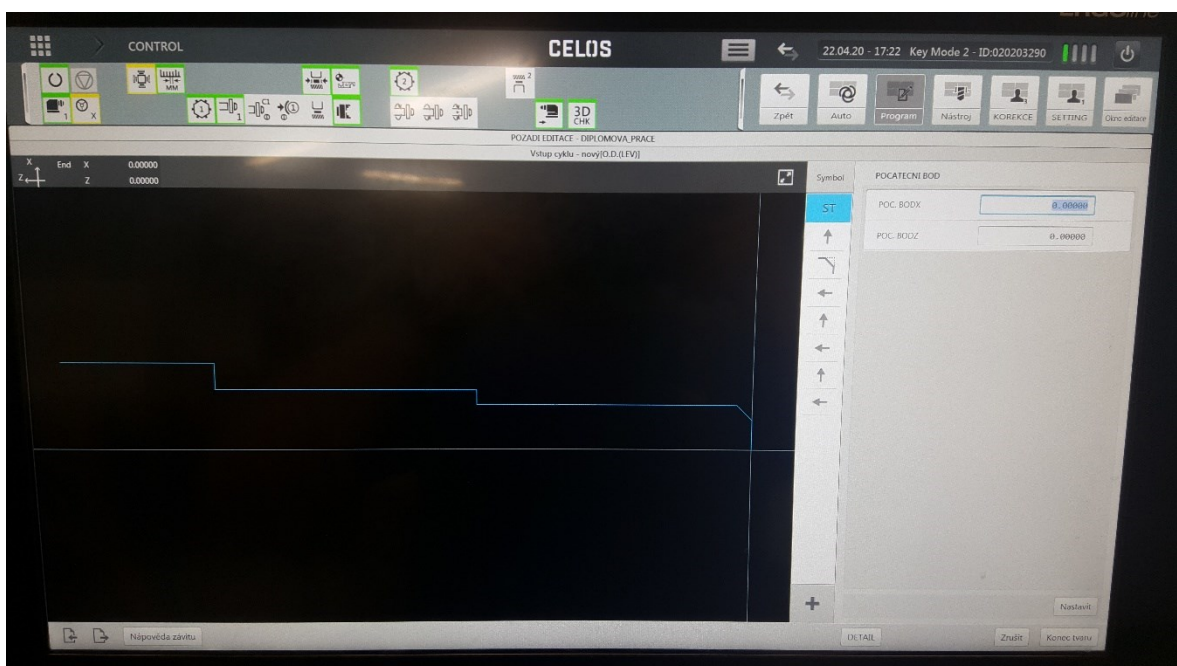
Obr. 48 – Frézovací cykly



Obr. 49 – Soustružnické cykly

### 12.3 Zadávání tvaru

Po volbě vhodného výrobního cyklu, se pokračovalo „kresbou“ požadovaného tvaru. Tato „kresba“ poté sloužila jako dráha nástroje při obrábění zvoleným výrobním cyklem. Při tvorbě této dráhy se postupovalo následovně. Nejprve se určil počáteční bod, a poté se pomocí úseček různého smyslu kreslil požadovaný tvar. Na výběr byly úsečky směrem doprava, doleva, nahoru, dolů nebo pod úhlem. Další možností bylo také vložení zkosení nebo zaoblení mezi dvě dříve vložené úsečky. Při této možnosti bylo pouze nutné zadat buď to poloměr zaoblení nebo úhel zkosení.



Obr. 50 – Tvorba tvaru výrobku

### 12.4 Volba řezných podmínek

K volbě řezných podmínek byly využity doporučené hodnoty od výrobce. Tyto hodnoty bylo možné najít buďto v katalogu, nebo v kalkulačce řezných podmínek na internetových stránkách firmy Seco, kde po vyplnění několika údajů byly řezné podmínky přímo zobrazeny. Mezi tyto vyplňované údaje patřilo například o jaký materiál se jedná, nebo jaký průměr bude obráběn.

Tab. 11 – Řezné podmínky frézy D4 dostupné z webových stránek Seco

Řezné podmínky    Materiál: SMG N2    Boční frézování

Po přihlášení získáte další informace. Pokud zatím nemáte účet, klikněte zde pro registraci.

Počet záběrů (ae)	Radiální záběr (ae)	Počet záběrů (ap)	Hloubka řezu (ap)
3	0.833 mm	1	4.0 mm
<b>Posuv/zub</b> 0.065 mm/zub	<b>Řezná rychlost</b> 310 m/min	Chladicí médium Emulze	Otáčky 8223 ot/min
Rychlost posuvu 2138 mm/min	Úběr materiálu (Q)		
	7.12 cm <sup>3</sup> /min		

**Materiál**

N2

Hliníkové slitiny, 9% < Si < 16%

Výběr materiálu >

**Metoda obrábění**



Boční frézování

Zvolte metodu obrábění >

**Ostatní údaje**

Požadovaný počet záběrů (ae) [3 - 208]  
3

Požadovaný počet axiálních záběrů (ap) [1 - 303]  
1

Požadovaný posuv/zub [0.00316 - 0.0758]  
0.065 mm/zub

Požadovaná řezná rychlost [309 - 462]  
310 m/min

Přečítat řezné podmínky



Přidavek (Sae) 2.5 mm

Přidavek (Sap) 4.00 mm

Pokud by řezné podmínky navrhované z kalkulačky na webových stránkách nevyhovovaly, bylo možné je jednoduše změnit. A to tím způsobem, že ve sloupci Ostatní údaje, byla zapsána požadovaná hodnota posuvu nebo řezné rychlosti. V souvislosti s touto úpravou byly automaticky upraveny i všechny ostatní parametry.

Tab. 12 – Řezné podmínky frézy D4 dle katalogu Seco

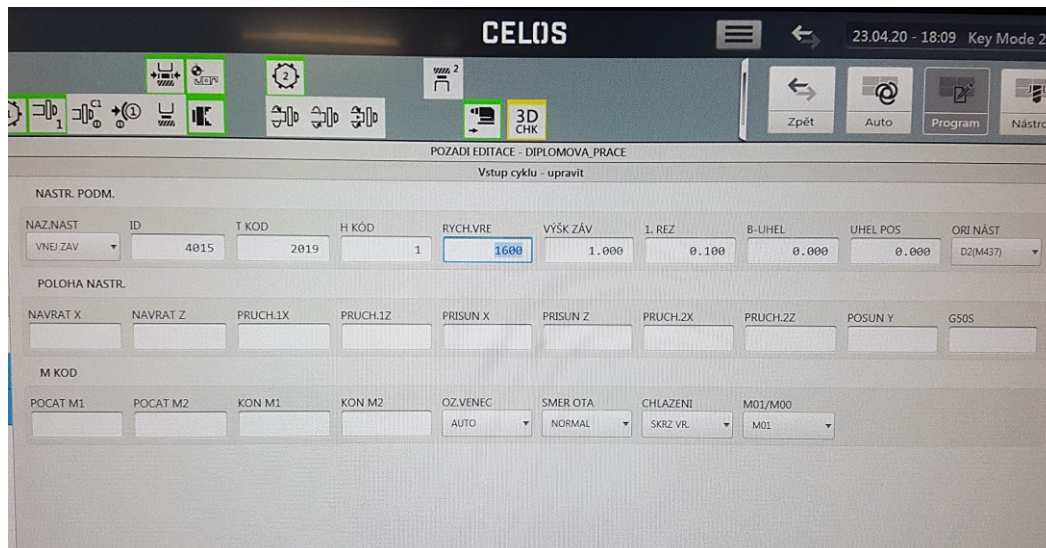
Řezné podmínky – JS514 Boční frézování

SMG		a <sub>e</sub> /DC	a <sub>p</sub> /DC	f <sub>z</sub>												
				1	2	3	4	5	6	8	10	12	16	20	25	
N1	E/M/A	0,30	1,0	0,0090	0,018	0,026	0,036	0,044	0,055	0,070	0,090	0,11	0,13	0,15	0,17	500 (400 – 600)
<b>N2</b>	<b>E/M/A</b>	<b>0,30</b>	<b>1,0</b>	<b>0,0090</b>	<b>0,018</b>	<b>0,026</b>	<b>0,036</b>	<b>0,044</b>	<b>0,055</b>	<b>0,070</b>	<b>0,090</b>	<b>0,11</b>	<b>0,13</b>	<b>0,15</b>	<b>0,17</b>	<b>320 (255 – 385)</b>
N3	E/M/A	0,30	1,0	0,0090	0,018	0,026	0,036	0,044	0,055	0,070	0,090	0,11	0,13	0,15	0,17	215 (170 – 265)
N11	E/M/A	0,30	1,0	0,0090	0,018	0,026	0,036	0,044	0,055	0,070	0,090	0,11	0,13	0,15	0,17	355 (235 – 470)

Tab. 13 – Tabulka zvolených řezných podmínek

Nástroj	Posuv [mm/ot]	Řezná rychlost [m/min]	Hloubka řezu [mm]
Soustružnický nůž vnější hrubovací	0,060	300	0,5
Soustružnický nůž vnější načisto	0,04	340	0,4
Monolitní karbidová fréza Ø12 mm	200	150	$a_p = 8$ $a_e = 0,4$
Monolitní karbidová fréza Ø4 mm	400	250	$a_p = 2,5$ $a_e = 0,066$
Monolitní karbidový vrták Ø2 mm	0,150	50	---
Závitovací nůž vnější	1640 mm/min	85	---
Zapichovací nůž vnější	0,150	100	---

$a_p$  – axiální záběr,  $a_e$  – radiální záběr



Obr. 51 – Tabulka pro vyplňování řezných podmínek

## 12.5 Založení nástroje

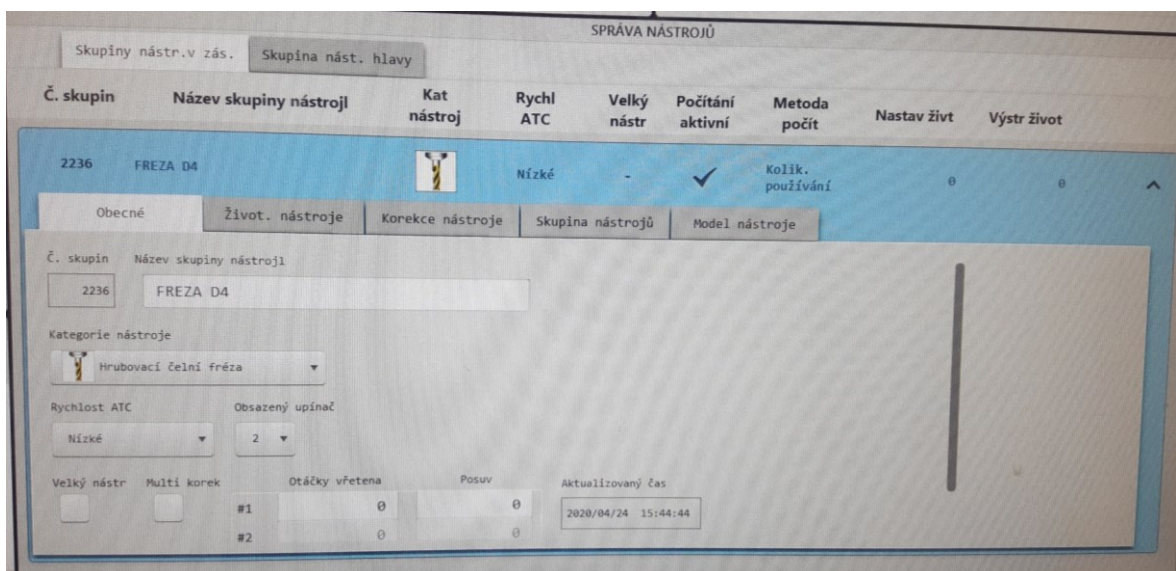
Pro to, aby bylo možné požadovaný nástroj použít při tvorbě programu, bylo nutné jej nejdříve založit v seznamu nástrojů stroje. Díky tomuto založení nástroje bylo možné jej vložit do jednotlivých výrobních cyklů.

Při tomto zakládání jednotlivých nástrojů, bylo nutné nejdříve určit jejich sériová čísla a číslo skupiny. U sériového čísla se u každého nástroje zadává hodnota 1. Tato hodnota byla striktně doporučena při zaškolování na stroji školitelem. Na rozdíl od čísla skupiny, jehož hodnota musí být jedinečná a závisí vždy na programátorovi nebo obsluze stroje. Toto číslo posléze funguje jako „vyvolávací“ číslo nástroje.

Po splnění těchto nezbytných nutností, se dále pokračovalo samotnou základní charakteristikou nástroje. Bylo nutné například určit o jaký typ nástroje se jedná, zadat jeho název, který bude zobrazován společně s číslem skupiny, pokud bude daný nástroj součástí výrobního programu.

Dále se zadávali funkční rozměry nástroje. Mezi tyto rozměry například u frézy patří délka ostří, její průměr, hodnota zaoblení, pokud by jím fréza byla vybavena nebo způsob chlazení nástroje. Poté byl vytvořen model držáku pomoci, kterého bude nástroj do stroje upevněn.

Tento držák poté figuroval i v simulaci stroje během obrábění. Díky tomu byl poté stroj chráněn před možnou kolizí během obrábění. K vytvoření modelu vedly dvě varianty. První variantou bylo jeho vytvoření pomocí přednastavených tvarů ve stroji, druhou variantou bylo vytvoření modelu pomocí modelovacího programu NX, a jeho uložení do stroje.

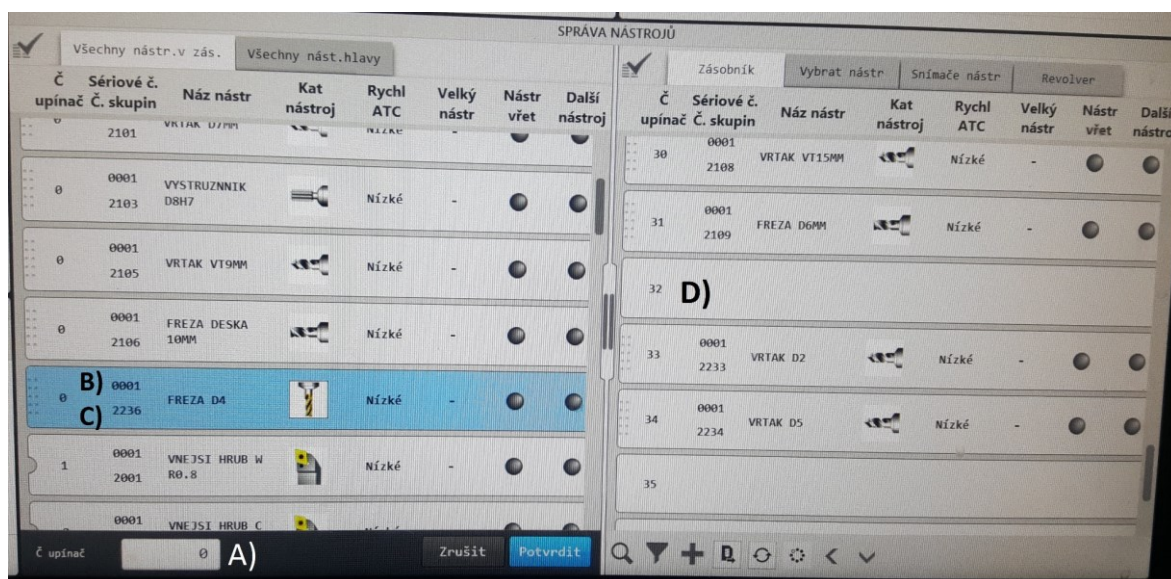


Obr. 52 – Zakládání nového nástroje

## 12.6 Vložení nástroje do zásobníku

Po tom, co byl nástroj založen v seznamu všech nástrojů stroje, bylo umožněno jeho přesunutí do tzv. aktivní skupiny. Zařazením do této skupiny, bylo docíleno, že nástroji lze přiřadit 1 z 32 upínačů v zásobníku nástrojů.

Číslo upínače určovalo, na jakou pozici v zásobníku bylo nutné nástroj vložit. To tedy znamená, že pokud bude v programu zadán nástroj určitého čísla skupiny, tak stroj bude vědět, pod kterou pozicí v zásobníku je tento nástroj evidován a provede požadovanou operaci.



Obr. 53 – Zařazení nástroje do stavu aktivního

- A) – Číslo kapsy v zásobníku, B) – Sériové číslo, C) – Číslo skupiny,  
D) – Přiřazovaná kapsa v zásobníku



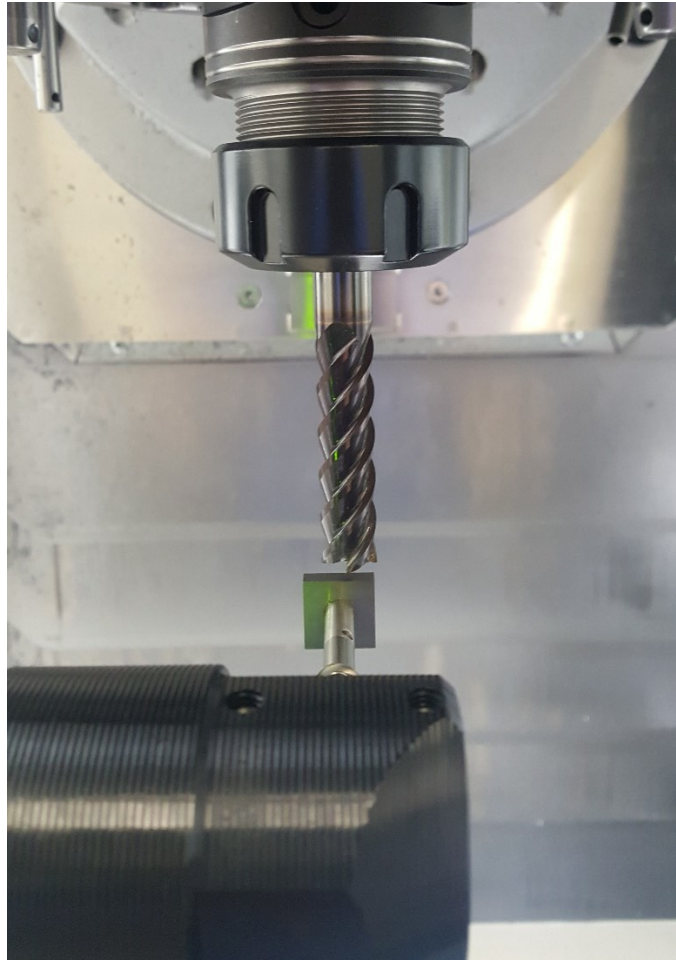
Obr. 54 – Zásobník stroje NTX 1000

## 12.7 Zaměřování nástroje

Po založení nástroje do seznamu nástrojů stroje, mohl být následně vložen do zásobníku. Poté jej bylo možné zaměřit pomocí nástrojové sondy od firmy Renishaw. Jelikož sonda není stále ve stroji, bylo ji nutné před zaměřováním do stroje upnout.

Samotné zaměřování spočívalo v najetí nástroje k nástrojové sondě. Způsob najetí se lišil podle zaměřovaného nástroje. Pokud se jednalo o soustružnický nůž, bylo potřeba najet ve dvou osách, a to v ose „x“ a „z“. V případě osových nástrojů bylo potřeba zaměřit pouze osu „z“ (viz. obr. 54.) .

Po najetí nástroje k sondě a jeho následném zaměření, bylo provedeno uložení zjištěné hodnoty. K uložení sloužila tabulka „Korekce nástroje“ (viz. obr. 56. a 57.), kde bylo nutné označit na jaké číslo korekce je požadováno uložení naměřených hodnot, a následně pomocí tlačítka import tyto data uložit.



Obr. 55 – Zaměřování frézy v ose „Z“

1	Typ nástroje	X	Z	Y	R	C
1	FRÉZOVÁNÍ <b>A)</b>	----	0.0000	0.0000	0.0000	-
2	FRÉZOVÁNÍ	----	0.0000	0.0000	0.0000	-
3	FRÉZOVÁNÍ	----	0.0000	0.0000	0.0000	-
4	FRÉZOVÁNÍ	----	0.0000	0.0000	0.0000	-
5	FRÉZOVÁNÍ	----	0.0000	0.0000	0.0000	-
6	FRÉZOVÁNÍ	----	0.0000	0.0000	0.0000	-
7	FRÉZOVÁNÍ	----	0.0000	0.0000	0.0000	-
8	FRÉZOVÁNÍ	----	0.0000	0.0000	0.0000	-
9	FRÉZOVÁNÍ	----	0.0000	0.0000	0.0000	-
<b>B)</b>	Naměřená hodnota	297.9699	35.0498	0.0000	0.0000	0

Vst. data: Stará data:

Zrušit Zobrazit Frezování

Obr. 56 – Zaměřování nástroje 1. část

A) – Označené číslo korekce, B) – Naměřené hodnoty



Typ nástroje	X	Z	Y	R	C
1 FRÉZOVÁNÍ	----	73.9085	0.0000	2.0000	-
2 FRÉZOVÁNÍ	----	0.0000	0.0000	0.0000	-
3 FRÉZOVÁNÍ	----	0.0000	0.0000	0.0000	-
4 FRÉZOVÁNÍ	----	0.0000	0.0000	0.0000	-
5 FRÉZOVÁNÍ	----	0.0000	0.0000	0.0000	-
6 FRÉZOVÁNÍ	----	0.0000	0.0000	0.0000	-
7 FRÉZOVÁNÍ	----	0.0000	0.0000	0.0000	-
8 FRÉZOVÁNÍ	----	0.0000	0.0000	0.0000	-
9 FRÉZOVÁNÍ	----	0.0000	0.0000	0.0000	-

Naměřená hodnota: 297.9699      Hlava1, Počet1, Geometrie, R: 2.0000      Stará data: 0.0002

Obr. 57 – Zaměřování nástroje 2. část

A) – Uložená naměřená data

## 12.8 Struktura vytvořeného programu

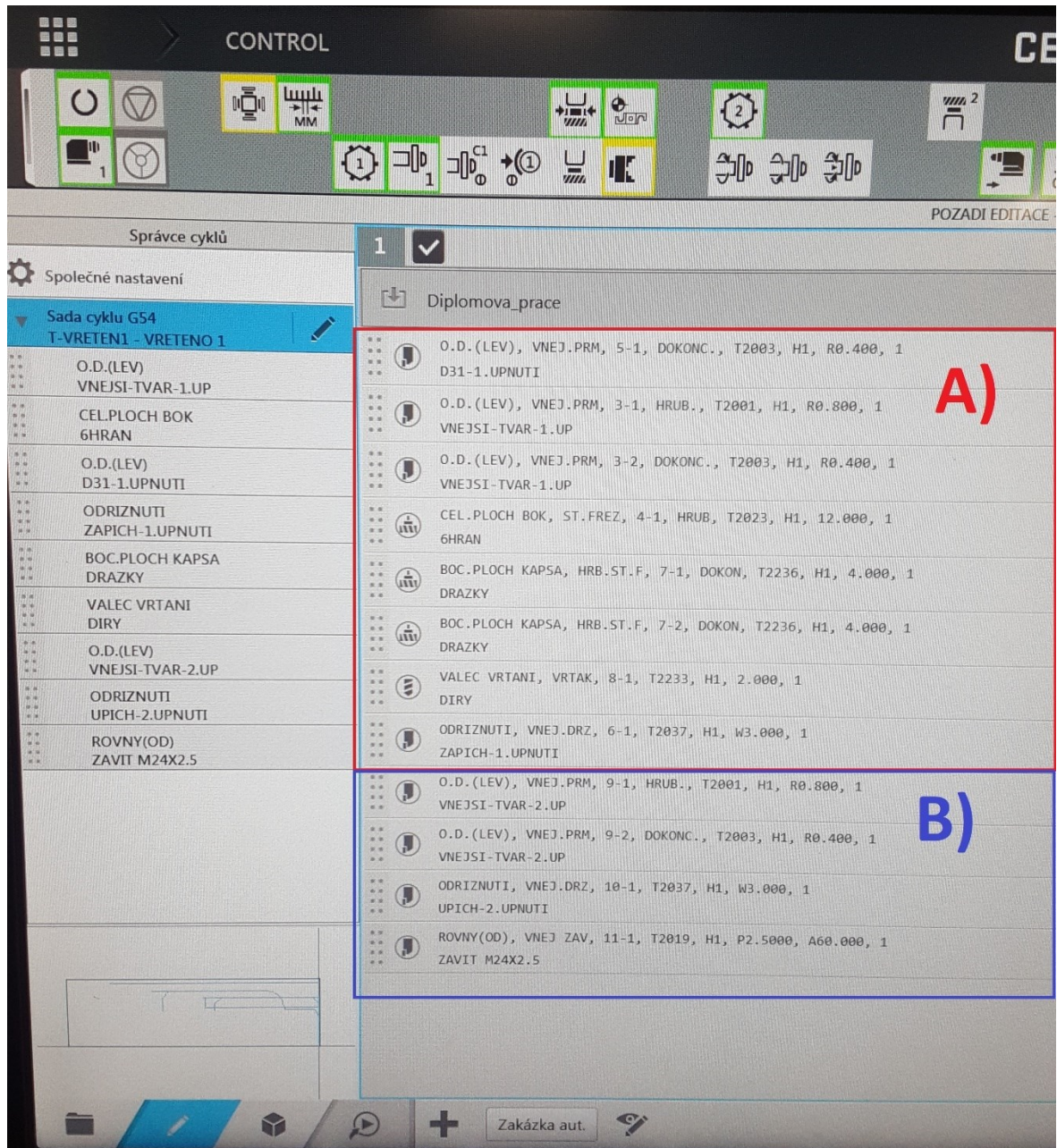
Jelikož byla výroba rozdělena do dvou upnutí, bylo potřeba vytvořit dva programy. Každý z těchto programů měl svoje upnutí a s tím související nulový bod. Tyto nulové body byly zaměřovány způsobem, který je popsán v kapitole 13.4 a jejich poloha se nacházela na čele upnutého polotovaru.

Na obrázku 58. jsou znázorněny cykly, ze kterých byly jednotlivé výrobní programy sestaveny. V případě prvního upnutí se jednalo o osm cyklů. Program pro druhé upnutí byl, co se týče počtu cyklů, poloviční oproti prvnímu.

V rámci programu pro první upnutí byly využity cykly soustružnické, frézovací a vrtací. Nejdříve byly využity soustružnické cykly, pomocí kterých bylo docíleno požadovaných průměrů. Posléze se pokračovalo víceosým obráběním. Konkrétně se jednalo o frézovací cykly, kterými byl nejprve vyhotoven šestihran na čele výrobku. Poté se pokračovalo frézováním drážek po obvodu dílce. Celkově bylo vyfrézováno 6 drážek, které byly rozmístěny po 60°.

Programování frézovacího cyklu pro výrobu těchto drážek probíhalo tak, že byla vytvořena nejprve jedna drážka, a ta pomocí funkce „kopie“ byla namnožena podle požadovaného počtu a úhlu. Stejným způsobem se postupovalo i při programování vrtacího cyklu pro díry Ø2 mm, které byly taktéž umístěny po obvodu dílce. Poslední operací prvního upnutí byl zápich, ke kterému byl využit soustružnický cyklus.

Druhé upnutí obsahovalo pouze soustružnické cykly. Na začátek byl osoustružen polotovar hrubovacím a poté také dokončovacím cyklem na tvar požadovaných rozměrů. Poté byl proveden zápich a na závěr byl vyroben závitovým cyklem vnější závit o parametru M24 x 2,5.



Obr. 58 – Struktura programů po jednotlivých cyklech

A) – Cykly 1. upnutí, B) – Cykly 2. upnutí

## 13 PŘÍPRAVA VÝROBY

Ještě před samotným stiskem „zeleného tlačítka“ a spuštěním programu bylo nutné vykonat několik úkonů. Mezi tyto úkony patřila příprava polotovaru, jeho následující upnutí do sklíčidel, zaměření nulového bodu obrobku a kontrola programu pomocí simulace.

### 13.1 Nařezání polotovaru

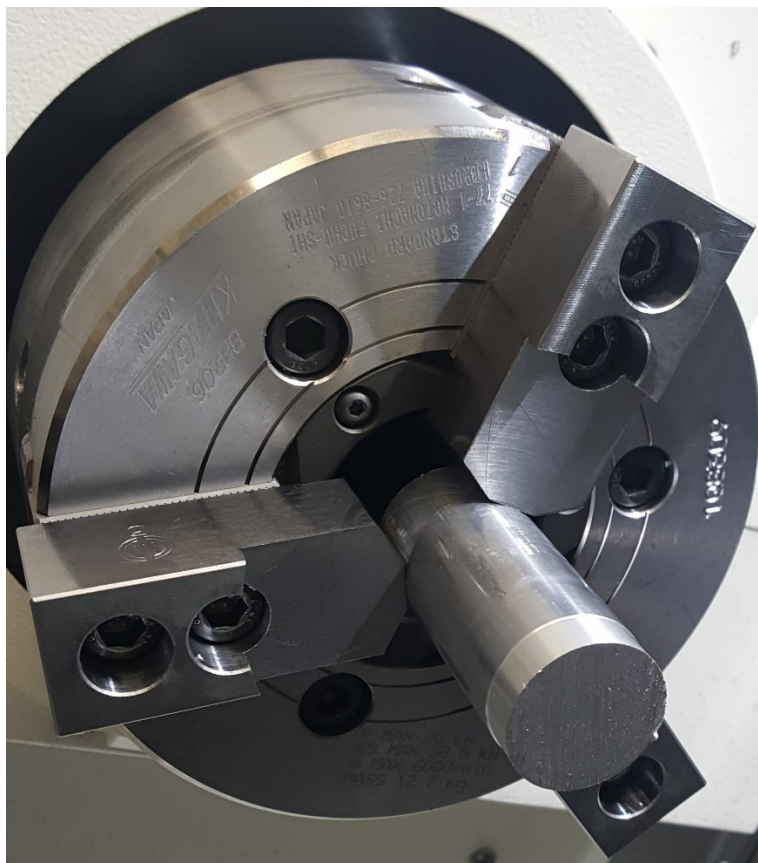
Prvním krokem výroby, bylo nařezání polotovaru slitiny AW2030. Průměr polotovaru činil 32 mm a byl zkracován na délku 76 mm. K tomuto byla využita pásová pila od firmy Proma, kterou byla dílna vybavena.



Obr. 59 – Pásová pila

### 13.2 Upnutí polotovaru

Po přichystání polotovaru následovalo jeho upnutí. Nejprve bylo zapotřebí zkontrolovat a případně nastavit upínací tlak. Potřebný tlak na bezpečné upnutí činil 4MPa. Tímto tlakem bylo zajištěno to, aby během obrábění polotovaru nedošlo k jeho vymrštění. Samotné upnutí bylo provedeno pomocí 3 čelistového sklíčidla, které bylo nutné nastavit pomocí šroubů a drážek do rozměrů potřebných pro upnutí polotovaru. Správnost upnutí, bylo možné zkontrolovat pomocí značky na hlavním vřetenu a upínacím sklíčidle.(viz obr. 61.)



Obr. 60 – Sklíčidlo Kitagawa s měkkými čelistmi



Obr. 61 – Značka označující správnost upnutí



Obr. 62 – Ukazatel a seřizovač upínacího tlaku

### 13.3 Zarovnání čela

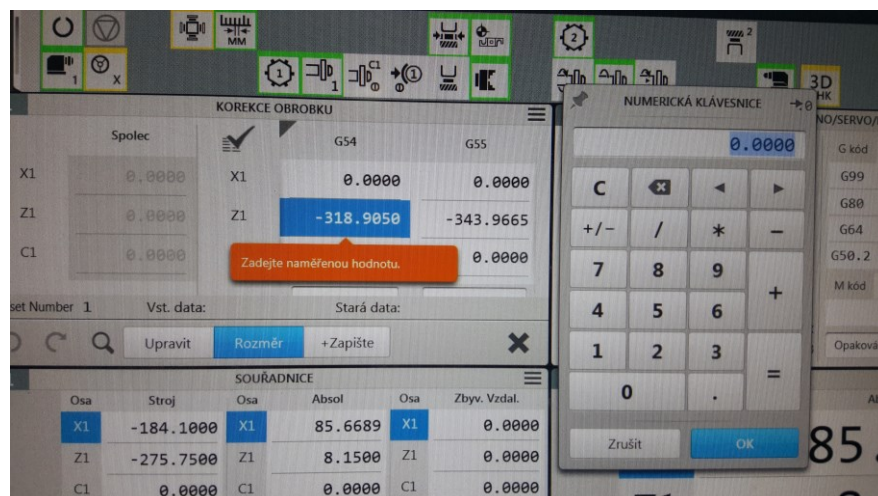
Jelikož řez po přípravné operaci, kdy byl polotovár zkracován na pásové pile, nebyl rovný, ale výrazně šikmý, bylo nutné provést zarovnání čela polotovaru. Toto zarovnání bylo provedeno pomocí ručního soustružení. To spočívalo v roztočení hlavního vřetena a následným osoustružením čela vnějším hrubovacím soustružnickým nožem. Touto operací bylo zajištěno přesné zaměření nulového bodu obrobku.



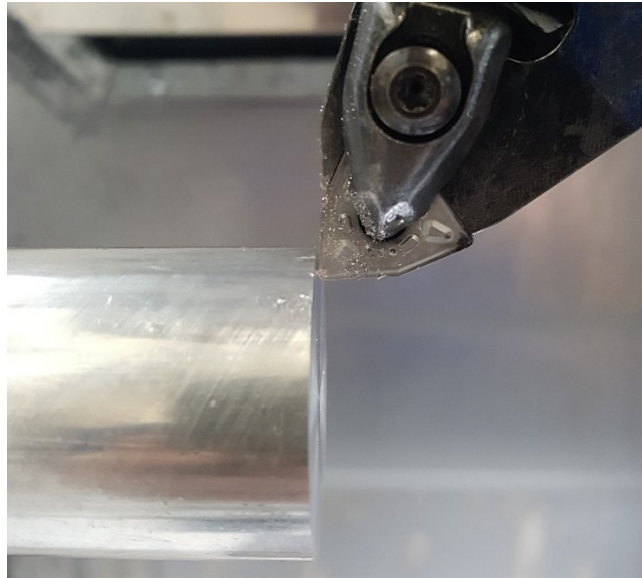
Obr. 63 – Šikmý řez

### 13.4 Nulový bod obrobku

Zaměření nulového bodu obrobku ( $W_0$ ) bylo provedeno tzv. metodou naškrábnutí. Tato metoda spočívala v roztočení vřetene a pomalým přiblížením vnějšího soustružnického nože k polotovaru do okamžiku, kdy došlo k „naškrábnutí“ (obrobení malé třísky) čela polotovaru. V tomto okamžiku se odjelo nástrojem od obrobku v ose X, a následně se Z-ová souřadnice zapsala jako nulový bod obrobku. Toto zapsání dané souřadnice se provedlo v sekci korekce obrobku viz. foto níže.



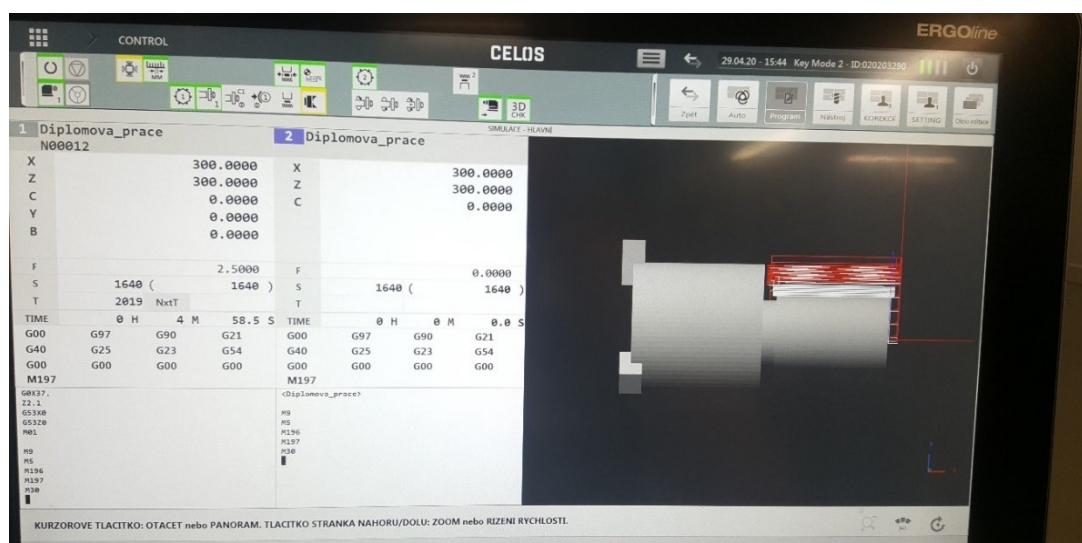
Obr. 64 – Detail tabulky korekce obrobku



Obr. 65 – Metoda naškrábnutí

### 13.5 Simulace

Na závěr celé přípravy byla provedena simulace programu. Ta byla jeho nedílnou součástí a bylo jí nutné věnovat velkou pozornost. To hlavně z toho důvodu, že se jedná o poslední možnou kontrolu programu před jeho spuštěním. V rámci simulace bylo možné zkontrolovat veškeré operace, ze kterých byl program tvořen. V případě možné kolize, by na simulaci bylo viditelně červeně zvýrazněno místo, při jaké operaci a v jakých místech by k této kolizi došlo. Tím pádem by bylo ještě možné program upravit tak, aby se vzniklým kolizím zamezilo.



Obr. 66 – Prostředí simulace

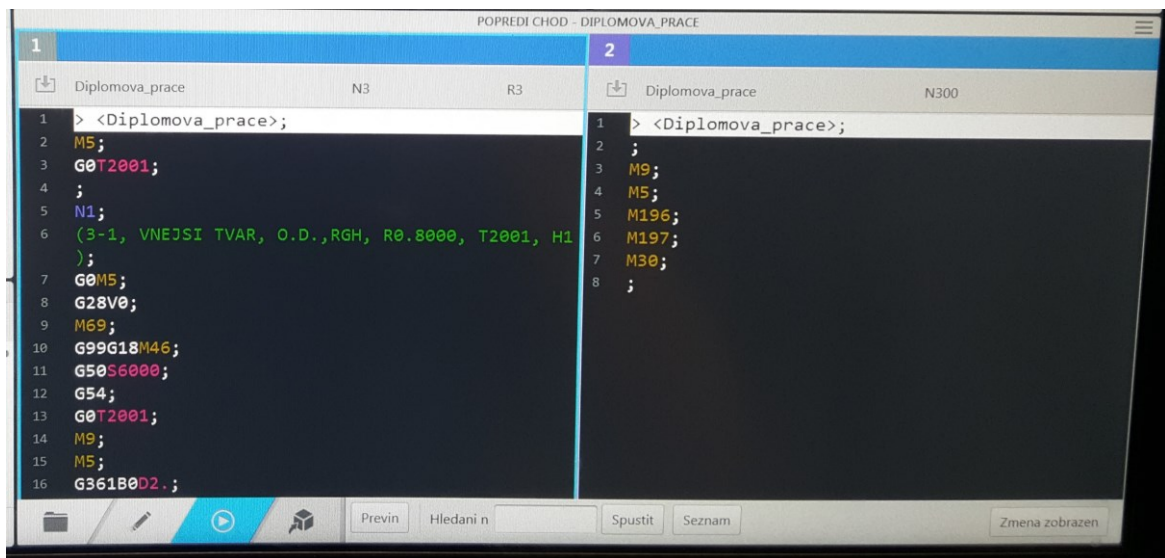
## 14 VÝROBA A OPTIMALIZACE

Po splnění všech přípravných operací a zkontrolování programu pomocí simulace bylo možné pokračovat výrobou.

### 14.1 Výroba

Jelikož simulaci programu nelze považovat za stoprocentní kontrolu, muselo se při prvním spuštění programu postupovat obezřetně. To znamená, že bylo nutné hlídat délku nástrojů nebo například příjezdy nástrojů k obráběnému polotovaru. Tyto příjezdy jsou ovlivněny hodnotami, které byly naměřeny při zaměřování nástrojů. Pokud by nástroj byl zaměřen špatně hrozila by kolize nástroje s polotovarem.

Proto první odjetí programu probíhalo způsobem, kdy byl program zapnut po bloku a pomocí potenciometru na rychloposuv upravována jeho hodnota. Aby se zamezilo možnosti právě jmenované kolize.



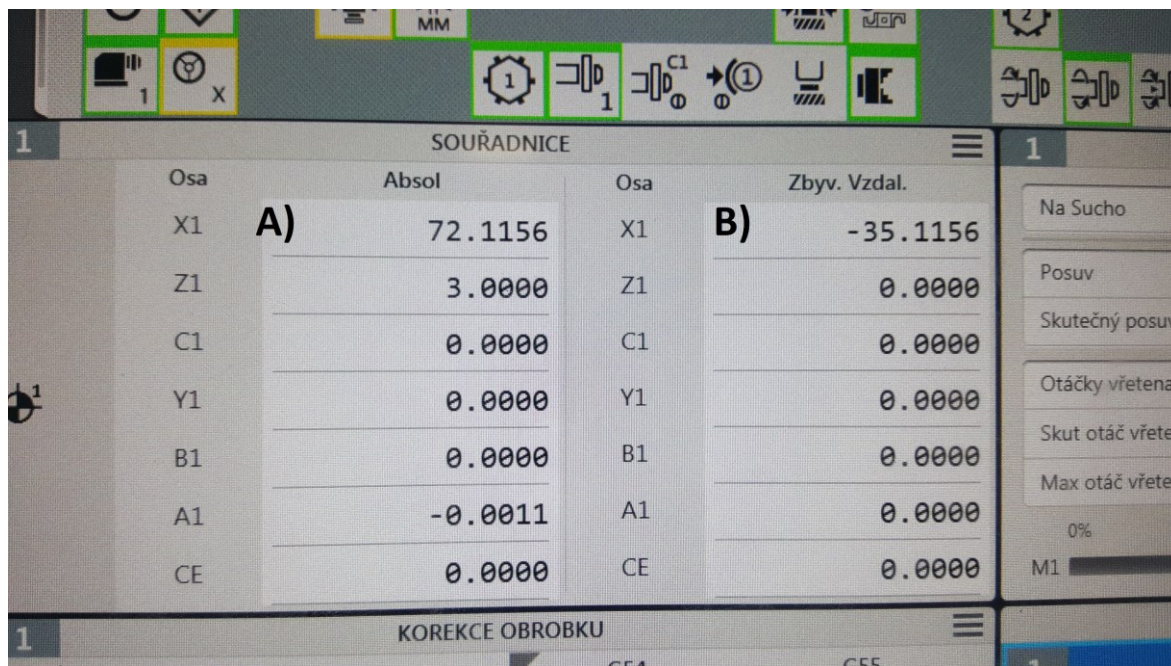
```
POPREDI CHOD - DIPLOMOVA_PRACE

1 | 1 | > <Diplomova_prace>;
2 | 2 | M5;
3 | 3 | G0T2001;
4 | 4 | ;
5 | 5 | N1;
6 | 6 | (3-1, VNEJSI TVAR, O.D.,RGH, R0.8000, T2001, H1
7 | 7 | );
8 | 8 | G0M5;
9 | 9 | G28V0;
10 | 10 | M69;
11 | 11 | G99G18M46;
12 | 12 | G50S6000;
13 | 13 | G54;
14 | 14 | G0T2001;
15 | 15 | M9;
16 | 16 | M5;
17 | 17 | G361B0D2.;

1 | 1 | > <Diplomova_prace>;
2 | 2 | ;
3 | 3 | M9;
4 | 4 | M5;
5 | 5 | M196;
6 | 6 | M197;
7 | 7 | M30;
8 | 8 | ;
```

Obr. 67 – ISO kód programu





The screenshot shows a CNC control interface with a menu bar at the top containing various icons. Below the menu bar, there are two tables labeled 'A)' and 'B)' under the heading 'SOUŘADNICE'. Table A) shows absolute coordinates for axes X1, Z1, C1, Y1, B1, A1, and CE. Table B) shows remaining distances for the same axes. To the right of the tables, there is a control panel with buttons for 'Na Sucho', 'Posuv', 'Skutečný posuv', 'Otáčky vřetena', 'Skut otáč vřeter', and 'Max otáč vřeter', along with a progress indicator for 'M1'.

SOUŘADNICE	
Osa	Absol
X1	72.1156
Z1	3.0000
C1	0.0000
Y1	0.0000
B1	0.0000
A1	-0.0011
CE	0.0000

SOUŘADNICE	
Osa	Zbyv. Vzdal.
X1	-35.1156
Z1	0.0000
C1	0.0000
Y1	0.0000
B1	0.0000
A1	0.0000
CE	0.0000

Obr. 68 – Odladování programu po bloku

A) Souřadnice vzhledem k nulovému bodu, B) Zbývající velikost dráhy v rámci bloku

## 14.2 Optimalizace

Během výroby prvního výrobku, probíhala současně i její optimalizace. Ta spočívala například v úpravě posuvu nebo otáček v případě špatné kvality obrobeného povrchu. Konkrétním případem byla první operace, kdy obrábění vnějším soustružnickým nožem doprovázelo jeho pískání. Tento problém byl vyřešen právě zvýšením posuvu.

V případě, že by se jednalo o velkosériovou výrobu, bylo by dobré věnovat se optimalizaci z hlediska časové náročnosti výroby. Jelikož se v tomto případě jednalo o výrobu kusovou, tak tuto problematiku nebylo nutné řešit.

## 14.3 Časová náročnost výroby

V následující kapitole bude vyhodnocena výroba z hlediska časové náročnosti a bude porovnán čas vygenerovaný simulací programu se samotným výrobním časem.

Tab. 14 – Porovnání časů simulace a samotné výroby 1. upnutí

Číslo operace	Simulace	Výroba
1.	31 s	22 s
2.	3 min 17 s	3 min 10 s
3.	1 min 27 s	1 min
4.	1 min 15 s	1 min
5.	1 min 15 s	1 min 45 s
6.	55 s	1 min 15 s
7.	50 s	1 min 30 s
8.	25 s	30 s
<b>Celkový čas</b>		
	9 min 55 s	10 min 32 s

Z tabulky 13. vyplývá, že čas potřebný pro výrobu během 1. upnutí byl roven 10 minutám a 32 sekundám. Rozdíl oproti vygenerovanému času během simulace činil 37 sekund. Tento rozdíl byl způsoben, snížením rychloposuvu na potenciometru během obrábění, s čímž simulace nepočítá. Nejdéle trávající operací bylo hrubování vnějšího tvaru, což trvalo zhruba 3 minuty.

Tab. 15 – Porovnání časů simulace a samotné výroby 2. upnutí

Číslo operace	Simulace	Výroba
1.	3 min 34 s	3 min 45 s
2.	30 s	25 s
3.	20 s	20 s
4.	45 s	45 s
<b>Celkový čas</b>		
	5 min 9 s	5 min 15 s

Pro druhé upnutí byly časové rozdíly nepatrné viz. tabulka 14. Délka výroby v rámci druhého upnutí byla 5 minut a 15 sekund. V případě druhého upnutí bylo nejdelší operací opět hrubovací cyklus, který trval 3 minuty 45 sekund. V obou případech nejdelších výrobních časů by se dala jejich hodnota ještě zkrátit. V případě, že by byla požadována tato změna, bylo by jí docíleno úpravou posuvu nebo zvětšením třísky v rámci obou hrubovacích cyklů.

Tab. 16 – *Shrnutí celkové časové náročnosti výroby*

Tvorba programu	4 hod 30 min
Příprava výroby	2 hod 30 min
Odladění programu	1 hod 20 min
1. Upnutí	11 min
2. Upnutí	6 min
Celkem	8 hod 37 min

\*časy výroby zaokrouhleny na minuty

Do celkového času výroby bylo zahrnuto několik aspektů. Největší porci času trvalo vytváření programu. Programování v mém případě trvalo 4 hodiny a 30 minut. Délka tohoto času, byla velkou částí ovlivněna „nedokonalou“ znalostí obsluhy stroje a také dostupných cyklů systému Celos. Mezi další aspekty patřila příprava výroby (příprava nástrojů a jejich zaměrování, volba řezných podmínek nebo příprava polotovaru), odladění programu, a v neposlední řadě samotná doba výroby.

## 15 ZÁVĚR

Cílem diplomové práce bylo vyrobit dílec podle výkresové dokumentace. K výrobě bylo využito soustružnicko-frézovací centrum od firmy DMG Mori. Nejdříve bylo nutné vytvořit si výrobní postup požadovaného výrobku.

V rámci tohoto výrobního postupu došlo k rozdělení výroby do dvou upnutí a k určení potřebných nástrojů, pomocí kterých bude dílec vyroben. Jednalo se o nástroje firmy Seco. Následně je bylo nutné zaregistrovat v samotném stroji a vložit je do něj. Po umístění nástrojů do stroje se pokračovalo jejich zaměřením. K tomu byla použita nástrojová sonda od firmy Renishaw.

Tvorba výrobních programů pro jednotlivá upnutí byla provedena metodou dílenského programování přímo na soustružnicko-frézovacím centru. To znamená, že při programování byly využity pouze cykly, kterými byl systém stroje vybaven. Konkrétně se jednalo o systém Celos. Vytvořený program pro druhé upnutí je součástí přílohy PII, program pro první upnutí je z důvodu své velikosti umístěn v elektronické příloze.

V rámci přípravy výroby bylo uskutečněno několik kroků. Nejprve bylo nutné provést zkrácení polotovaru na potřebnou délku. Toto zkrácení bylo provedeno na pásové pile. Poté mohl být polotovar upnut do stroje.

Po upnutí proběhlo pomocí ručního soustružení zarovnání čela polotovaru z důvodu šikmého řezu provedeného na pásové pile. Zarovnání čela následně umožnilo provést zaměření nulového bodu. To bylo provedeno metodou „naškrábnutí“.

Po splnění všech potřebných přípravných operací bylo možno přejít na samotnou výrobu. Ta začala nejprve spuštěním simulace programu. Kde byly odhaleny první nedostatky programu. Po jejich nápravě se pokračovalo výrobou a její optimalizací.

Na závěr bylo provedeno zhodnocení časové náročnosti výroby. Byly porovnány časy získané pomocí simulace s reálnými výrobními časy během obrábění. V tabulce 15. byla shrnuta celková doba výroby, která činila 8 hodin a 37 minut.

**SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY**

- [1] KOČMAN, Karel. Technologické procesy obrábění. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2011. ISBN 978-80-7204-722-2
- [2] JANDEČKA, Karel. Postprocesory a programování NC strojů. Ústí nad Labem: UJEP, FVTM, 2007. Knižnice strojírenské technologie. ISBN 978-80-7044-870-0.
- [3] Základní pojmy obrábění, Rozdělení metod obrábění, Pohyby při obrábění, Geometrie břítu nástroje - nástrojové roviny, nástrojové úhly. [online]. Copyright © DocPlayer.cz [cit. 14.01.2020]. Dostupné z: <http://docplayer.cz/3447463-Zakladni-pojmy-obrabeni-rozdeleni-metod-obrabeni-pohyby-pri-obrabeni-geometrie-britu-nastroje-nastrojove-roviny-nastrojove-uhly.html>
- [4] Informační systém [online]. Copyright © [cit. 20.04.2020]. Dostupné z: [https://is.muni.cz/el/1441/podzim2018/TI1008/um/17\\_18\\_zaklady\\_obrabeni.pdf](https://is.muni.cz/el/1441/podzim2018/TI1008/um/17_18_zaklady_obrabeni.pdf)
- [5] Tvorba třísky při vysokorychlostním obrábění. Nejčtenější strojírenský časopis - MM spektrum [online]. Copyright © 2020 [www.mmspektrum.com](http://www.mmspektrum.com) [cit. 06.05.2020]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/tvorba-trisky-pri-vysokorychlostnim-obrabeni.html>
- [6] [online]. Copyright © [cit. 20.04.2020]. Dostupné z: [http://projekty.fs.vsb.cz/463/edubase/VY\\_01\\_001/Technologie%20Obr%C3%A1b%C4%9Bn%C3%AD/02%20Text%20pro%20e-learning/Technologie%20obrabeni%2002%20Fr%C3%A9zov%C3%A1n%C3%A1.pdf](http://projekty.fs.vsb.cz/463/edubase/VY_01_001/Technologie%20Obr%C3%A1b%C4%9Bn%C3%AD/02%20Text%20pro%20e-learning/Technologie%20obrabeni%2002%20Fr%C3%A9zov%C3%A1n%C3%A1.pdf)
- [7] ELUC. ELUC [online]. [cit. 14.01.2020]. Dostupné z: <https://eluc.kr-olomoucky.cz/verejne/lekce/1226>
- [8] ELUC. ELUC [online]. Copyright © 2000 [cit. 14.01.2020]. Dostupné z: <https://eluc.kr-olomoucky.cz/verejne/lekce/1824>
- [9] Frézování rovinných ploch. ELUC [online] [cit. 04.05.2020]. Dostupné z: <https://eluc.kr-olomoucky.cz/verejne/lekce/1230>
- [10] HUMÁR A. Technologie I: Technologie obrábění - 1. část [online]. Brno, 2003 [cit. 14.01.2020]. Dostupné z: <http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/?page=opory>

- [11] NOVÉ SMĚRY V PROGRESIVNÍM OBRÁBĚNÍ [online]. 2007 [cit. 14.01.2020]. Dostupné z: <http://www.elearn.vsb.cz/archivcd/FS/NSPO/texty.pdf>
- [12] ELUC. ELUC [online]. [cit. 14.01.2020] Dostupné z: <https://eluc.kr-olomoucky.cz/verejne/lekce/1228>
- [13] STROJÍRENSTVÍ – FRÉZOVÁNÍ [online]. [cit.14.01.2020]. Dostupné z: <http://strojirenstvi-frezovani.blogspot.com/2011/03/14-nastroje-pro-frezovani-deleni.html>
- [14] Fréza Seco Double Quattromill® Technický týdeník. TT | Technický týdeník [online]. Copyright © Business Media CZ Nádražní 32, 150 [cit. 14.01.2020]. Dostupné z: [https://www.technickytydenik.cz/rubriky/denni-zpravodajstvi/freza-seco-double-quattromill-14-zvysuje-efektivitu-stroju-s-nizsim-vykonem\\_46214.html](https://www.technickytydenik.cz/rubriky/denni-zpravodajstvi/freza-seco-double-quattromill-14-zvysuje-efektivitu-stroju-s-nizsim-vykonem_46214.html)
- [15] ELUC. ELUC [online]. [cit. 15.01.2020] Dostupné z: <https://eluc.kr-olomoucky.cz/verejne/lekce/1201>
- [16] Společnost Elakov Production s. r. o. rozšiřuje strojový park | Nástrojárna. Nástrojárna [online]. Copyright © 2019 INFOCUBE s.r.o. Jak [cit. 15.01.2020]. Dostupné z: <https://nastrojarna.oneindustry.one/spolecnost-elakov-production-s-r-o-rozsiruje-strojovy-park/>
- [17] Časopis o automatizaci a robotice [online]. Copyright © [cit. 01.03.2020]. Dostupné z: <https://factoryautomation.cz/co-jsou-to-cnc-stroje-zjistete-co-umi/>
- [18] Časopis o automatizaci a robotice [online]. Copyright © [cit. 15.01.2020]. Dostupné z: <https://factoryautomation.cz/ridici-systemy-cnc-stroju-poznejte-jejich-historii/>
- [19] Frézování - 5 os [online]. Brno: DELCAM BRNO, s.r.o. Optimalizace Page Rank.cz, c 2010 [cit. 15.01.2020]. Dostupné z WWW: <http://www.frezovani-5os.cz/metody-frezovani/kinematika-stroju/>
- [20] KOČMAN, Karel a Jaroslav PROKOP. Technologie obrábění. Vyd. 2. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2005. ISBN 80-214-3068-0.
- [21] Strojnická fakulta TUKE [online]. Copyright © [cit. 01.03.2020]. Dostupné z: [http://www.sjf.tuke.sk/vitralab/upload/CNC%20prirucka\\_CZ.pdf](http://www.sjf.tuke.sk/vitralab/upload/CNC%20prirucka_CZ.pdf)

- [22] 2.1.2 Souřadnice polohy obrobku. Funkce systému MIKROPROG [online]. Copyright © 2020 Funkce systému MIKROPROG. All Rights Reserved. [cit. 01.03.2020]. Dostupné z: [http://www.finweb-zk.mzf.cz/?page\\_id=96](http://www.finweb-zk.mzf.cz/?page_id=96)
- [23] GVI.cz | Hlavní strana [online]. Copyright © [cit. 02.03.2020]. Dostupné z: [https://www.gvi.cz/Aton/FileRepository/aton\\_file\\_repository\\_HtmlEditorRepositoryDoc/Root/Projekty/Cnc.pdf](https://www.gvi.cz/Aton/FileRepository/aton_file_repository_HtmlEditorRepositoryDoc/Root/Projekty/Cnc.pdf)
- [24] SMID, Peter. CNC programming handbook: a comprehensive guide to practical CNC programming. Third edition. South Norwalk: Industrial Press, 2008. ISBN 978-0-8311-3347-4.
- [25] Turret Type Mill Turn Centers. Dostupné z: [https://www.imts-exhibition.com/lathe-and-turning-machine/turret-type-mill-turn-centers.html#class\\_12](https://www.imts-exhibition.com/lathe-and-turning-machine/turret-type-mill-turn-centers.html#class_12)
- [26] Mill Turn Machines | Mill Turn Centers | Mill Turn Lathes. Absolute Machine Tools, Inc. | CNC Machine Tools [online]. Dostupné z: <https://absolutemachine.com/mill-turn-centers/>.
- [27] Turning-milling from DMG MORI. DMG MORI USA - CNC machine tools for all cutting machining applications [online]. Copyright © 2020 DMG MORI. All rights reserved. [cit. 03.03.2020]. Dostupné z: <https://us.dmgmori.com/products/machines/turning/turn-mill>

**SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK**

NC	Numerical control
CNC	Computer numerical control
CAM	Computer aided manufacturing
CAD	Computer aided design
LAN	Local area network
PLC	Programmable logic controller
MDI	Multiple document interface
HD Disk	High definition disk
DNC síť	Distributed numerical control
USB	Universal serial bus
$S_k$	Slinuté karbidy
$v_c$	Řezná rychlost
$v_f$	Posuvová rychlost
$v_e$	Rychlost řezného pohybu
$f$	Posuv
$n$	Otáčky
$\varphi$	Úhel posuvového pohybu
$K_v$	Součinitel obrobitelnosti
$V_{cT}$	Řezná rychlost při trvanlivosti pro opotřebení hřbetu
$v_B$	Opotřebení břitu
$c_v$	Konstanta určující vliv způsobu práce
$T$	Trvanlivost
$N$	Číslo bloku
$G$	Přídavné funkce



- F Rychlost posuvu
- S Otáčky vřetene
- M Pomocná funkce

## SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 – Základní plochy obrobku při obrábění [3] .....	12
Obr. 2 – Hlavní části soustružnického nože [4] .....	12
Obr. 3 – Oblast plastických deformací v odřezávané vrstvě [1] .....	13
Obr. 4 – Znárodnění dráhy zubu frézy [6] .....	14
Obr. 5 – Frézování obvodem frézy [7] .....	15
Obr. 6 – Porovnání sousledného a nesousledného frézování [8] .....	16
Obr. 7 – Frézování čelem čelní frézy [9] .....	16
Obr. 8 – Druhy okružního frézování [10] .....	17
Obr. 9 – Planetové frézování [11] .....	17
Obr. 10 – Rozdělení fréz [13] .....	18
Obr. 11 – Fréza Quattromill s vyměnitelnými destičkami [14] .....	19
Obr. 12 – Vektory pohybů při podélném soustružení válcové plochy [20] .....	21
Obr. 13 – Číslicově řízený stroj [16] .....	25
Obr. 14 – Hlavní konstrukční skupiny tříosého NC stroje [2] .....	28
Obr. 15 – Blokové schéma NC stroje [2] .....	32
Obr. 16 – Blokové schéma CNC stroje [21] .....	32
Obr. 17 – Pracovní prostor soustružnicko frézovacího centra DMG Mori NTX 1000 [27] .....	35
Obr. 18 – Koncepce hlava – hlava [19] .....	36
Obr. 19 – Koncepce hlava – stůl [19] .....	37
Obr. 20 – Koncepce stůl – stůl [19] .....	37
Obr. 21 – Koncepce stůl – stůl – kolíbka [19] .....	38
Obr. 22 – Dělička [19] .....	38
Obr. 23 – Kartézský souřadný systém [22] .....	39
Obr. 24 – Vztažné body [21] .....	41
Obr. 25 – Znárodnění os u základních obráběcích strojů [21] .....	42
Obr. 26 – Stavba CNC programu [23] .....	44
Obr. 27 – Vyráběný dílec .....	49
Obr. 28 – DMG Mori NTX 1000 .....	50
Obr. 29 – Tvar výrobku po 1. upnutí .....	52
Obr. 30 – Hotový výrobek .....	54

Obr. 31 – Základní specifikace hrubovací břitové destičky CNMG120404-MF1 890 .....	55
Obr. 32 – Komponenty sestavy hrubovacího nástroje .....	55
Obr. 33 – Základní specifikace dokončovací břitové destičky DCMT11T304-F2 HX .....	56
Obr. 34 – Komponenty sestavy dokončovacího nástroje .....	56
Obr. 35 – Upínací mechanismus frézy .....	56
Obr. 36 – Základní specifikace monolitní karbidové frézy D4 .....	57
Obr. 37 – Základní specifikace monolitní karbidové frézy D12 .....	58
Obr. 38 – Základní specifikace monolitního vrtáku D2 .....	59
Obr. 39 – Upínací mechanismus vrtáku .....	59
Obr. 40 – Upínací mechanismus závitovacího nože .....	60
Obr. 41 – Základní specifikace břitové destičky 16ER1.0 ISO, CP500 .....	60
Obr. 42 – Základní specifikace břitové destičky LCMF160302-0300-FT CP500 .....	61
Obr. 43 – Upínací mechanismus upichovacího nože .....	61
Obr. 44 – Spodní ovládací panel stroje se systémem Celos .....	62
Obr. 45 – Horní ovládací panel stroje se systémem Celos .....	62
Obr. 46 – Základní charakteristika polotovaru .....	63
Obr. 47 – Základní obráběcí metody .....	64
Obr. 48 – Frézovací cykly .....	64
Obr. 49 – Soustružnické cykly .....	64
Obr. 50 – Tvorba tvaru výrobku .....	65
Obr. 51 – Tabulka pro vyplňování řezných podmínek .....	67
Obr. 52 – Zakládání nového nástroje .....	68
Obr. 53 – Zařazení nástroje do stavu aktivního .....	69
Obr. 54 – Zásobník stroje NTX 1000 .....	70
Obr. 55 – Zaměřování frézy v ose „Z“ .....	71
Obr. 56 – Zaměřování nástroje 1. část .....	71
Obr. 57 – Zaměřování nástroje 2. část .....	72
Obr. 58 – Struktura programů po jednotlivých cyklech .....	73
Obr. 59 – Pásová pila .....	74
Obr. 60 – Sklíčidlo Kitagawa s měkkými čelistmi .....	75
Obr. 61 – Značka označující správnost upnutí .....	75

---

Obr. 62 – Ukazatel a seřizovač upínacího tlaku .....	76
Obr. 63 – Šikmý řez .....	77
Obr. 64 – Detail tabulky korekce obrobku .....	77
Obr. 65 – Metoda naškrábnutí .....	78
Obr. 66 – Prostředí simulace .....	78
Obr. 67 – ISO kód programu .....	79
Obr. 68 – Odladování programu po bloku .....	80

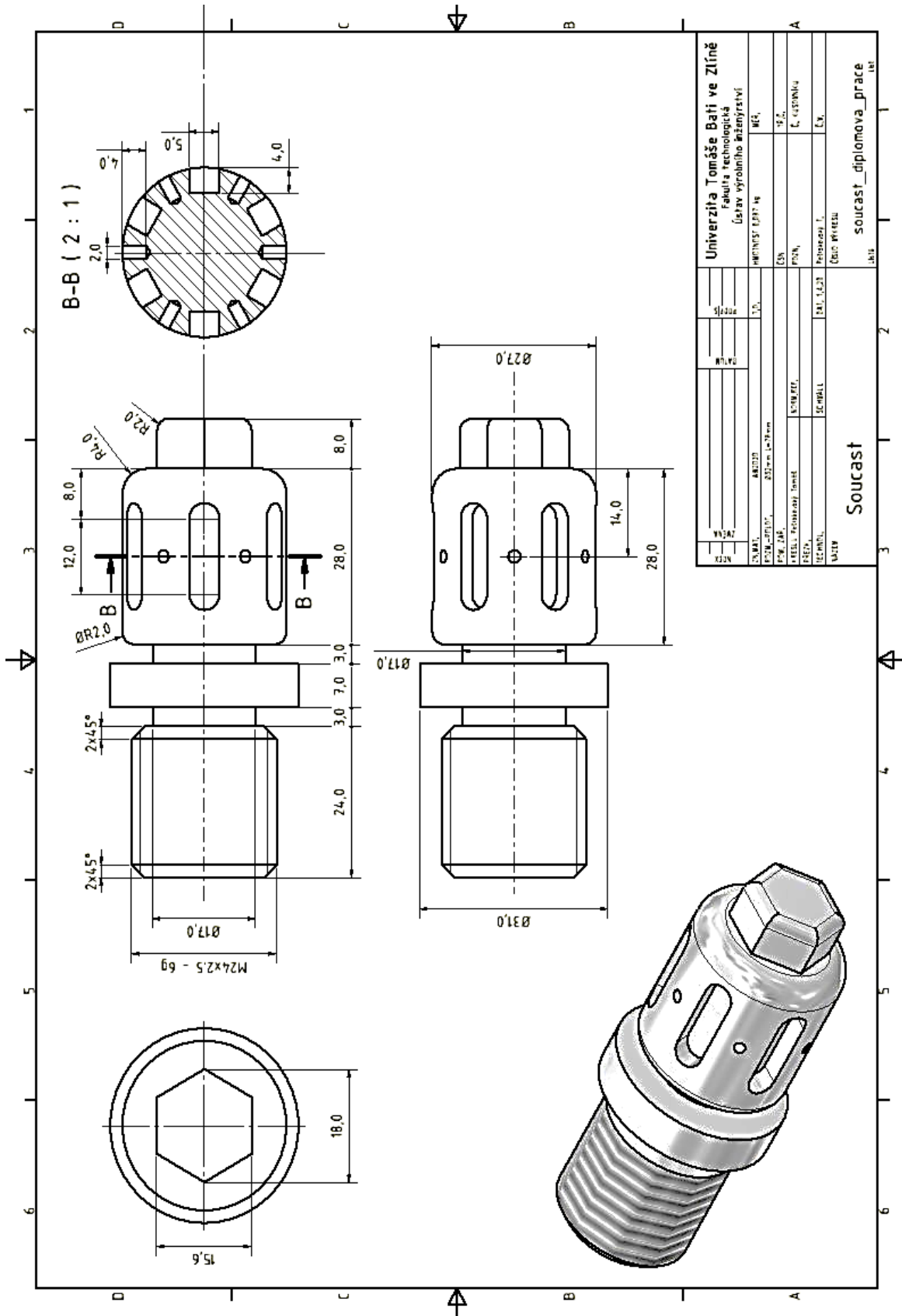
**SEZNAM TABULEK**

Tab. 1 – <i>Orientační hodnoty posuvů pro různé typy operací [1]</i> .....	21
Tab. 2 – <i>Součinitel obrobitelnosti a korespondující třídy obrobitelnosti [1]</i> .....	24
Tab. 3 – <i>Doporučené nástroje pro zkoušku obrobitelnosti ocelových materiálů [1]</i> .	24
Tab. 4 – <i>Tabulka vztažných bodů řídicího systému [21]</i> .....	40
Tab. 5 – <i>Přehled běžně používaných M-funkcí [2]</i> .....	44
Tab. 6 – <i>Přehled běžně používaných G-funkcí [2]</i> .....	45
Tab. 7 – <i>Technické údaje stroje</i> .....	50
Tab. 8 – <i>Výrobní postup 1. upnutí</i> .....	51
Tab. 9 – <i>Výrobní postup 2. upnutí</i> .....	53
Tab. 10 – <i>Přehled použitých nástrojů</i> .....	54
Tab. 11 – <i>Řezné podmínky frézy D4 dostupné z webových stránek Seco</i> .....	66
Tab. 12 – <i>Řezné podmínky frézy D4 dle katalogu Seco</i> .....	66
Tab. 13 – <i>Tabulka zvolených řezných podmínek</i> .....	67
Tab. 14 – <i>Porovnání časů simulace a samotné výroby 1. upnutí</i> .....	81
Tab. 15 – <i>Porovnání časů simulace a samotné výroby 2. upnutí</i> .....	81
Tab. 16 – <i>Shrnutí celkové časové náročnosti výroby</i> .....	82

## SEZNAM PŘÍLOH

- P1 Výkres součásti
- P2 Program pro upnutí 2.

# PŘÍLOHA P I: VÝKRES SOUČÁSTI



## PŘÍLOHA P II: PROGRAM PRO UPNUTÍ 2.

% <Diplomova_prace> M5 G0T2001	1)	X29.5 G1Z-27.8 G0U1.Z2.3 X29. G1Z-27.8 G0U1.Z2.3 X28.5 G1Z-27.8 G0U1.Z2.3 X28. G1Z-27.8 G0U1.Z2.3 X27.5 G1Z-27.8 G0U1.Z2.3 X27. G1Z-27.8 G0U1.Z2.3 X26.5 G1Z-27.8 G0U1.Z2.3 X26. G1Z-27.8 G0U1.Z2.3 X25.5 G1Z-27.8 G0U1.Z2.3 X25. G1Z-27.8 G0U1.Z2.3 X19. G1Z.2 G0U1.Z2.3 X13. G1Z.2 G0U1.Z2.3 X7. G1Z.2 G0U1.Z2.3 X1. G1Z.2 G0U1.Z2.3	3)	X-1.6 G1Z.2 X20.0284 X24.2Z-1.8858 Z-27.8 G0X34.W1. Z2.1 G53X0 G53Z0 M01  N10 (9-2, VNEJSI-TVAR-2.UP, O.D.,FIN, R0.4000, T2003, H1) G28V0 M69 G99G18M46 G50S5000 G54 G0T2001 M9 M5 G361B0D2. T2003 G43H1. G96S300M4 G0Z2.1 X37. M484 Z2.3 X32.5 G1Z-27.8F.05 G0U1.Z2.3 X32. G1Z-27.8 G0U1.Z2.3 X31.5 G1Z-27.8 G0U1.Z2.3 X31. G1Z-27.8 G0U1.Z2.3 X30.5 G1Z-27.8 G0U1.Z2.3 X30. G1Z-27.8 G0U1.Z2.3  N11 (10-1, UPICH-2.UPNUTI, CUT-OFF, W3.0000, T2037, H1)
G28V0 M69 G99G18M46 G50S5000 G54 G0T2037 M9 M5 G361B0D2. T2019 G43H1. G96S100M4 G0Z2.1 X37. M484 Z-27.85 X27.8 G1X24.2F.5 X20.7988F.15 G0X27.8 Z-26.1494 G1X24.2 X20.7988Z-27.85 X18.7988 G0U.4 G1X16.998 G0X27.8 X37. Z2.1 G53X0 G53Z0 M01  N12 (11-1, ZAVIT M24X2.5, THREAD, L2.5000,A60.000, T2019, H1) G0M5 G28V0 M69 G99G18M46 G50S5000 G54 G0T2019	4)	M9 M5 G361B0D2. G43H1. G97S1640M3 G0Z2.1 X37. M484 Z1.M24 X26. G92X23.7094Z-26.3F2.5 X23.4188 X23.1282 X22.8376 X22.5471 X22.2565 X21.9659 X21.6753 X21.3847 X21.0941 X20.8035 X20.5129 X20.2224 X19.9318 X19.6412 X19.3506 X19.06 X19. G0X37. Z2.1 G53X0 G53Z0 M01  M9 M5 M196 M197 M30 %	5)	