



**ČESKÉ  
VYSOKÉ  
UČENÍ  
TECHNICKÉ  
V PRAZE**

**FAKULTA  
STROJNÍ**

**ÚSTAV TECHNOLOGIE OBRÁBĚNÍ, PROJEKTOVÁNÍ  
A METROLOGIE**

**Ověření postprocesoru pro SW FeatureCAM  
a stroj OKUMA Genos L200E-MY**

**Bakalářská práce**

**Vypracoval:** Miroslav Mikeš

**Vedoucí práce:** Ing. Pavel Novák, Ph.D.

Praha 2016



## Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci na téma **Ověření postprocesoru pro SW FeatureCAM a stroj OKUMA Genos L200E-MY** vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených na seznam použité literatury.

.....

Datum

.....

Podpis

## **Poděkování**

Tímto děkuji vedoucímu bakalářské práce, Ing. Pavlu Novákovi, Ph.D., za důležité a cenné rady a věcné připomínky, které mi poskytl během vypracování této bakalářské práce, dále Ing. Vladimíru Šulcovi za změření součásti na souřadnicovém měřicím přístroji.

# **Ověření postprocesoru pro SW FeatureCAM a stroj OKUMA Genos L200E-MY**

## **Anotace**

Bakalářská práce se zaměřuje na ověření postprocesoru v SW FeatureCAM pro generování NC-kódu pro CNC soustruh OKUMA Genos L200E-MY. Ověření postprocesoru se provedlo na základě výroby konkrétní součástky. Úvodní část přináší stručnou charakteristiku CAM systémů, konkrétně SW FeatureCAM včetně jeho možností tvorby partprogramu. Následně se zaměřuje na CNC soustruh OKUMA Genos L200E-MY a na jeho technologické možnosti a popis soustruhu, který byl použit při výrobě konkrétní součástky. Následuje podrobný popis navržení a modelování součástky pomocí CAD systému Solid Edge ST8 a tvorba partprogramu. Závěrem se zaměřuje na vlastní výrobu součástky a problémy, které se objevily.

## **Klíčová slova**

FeatureCAM, modelování součásti, obrábění, OKUMA Genos L200E-MY, partprogram, postprocesor, programování CNC strojů, Solid Edge

# **Verification of Post Processor for the SW FeatureCAM and CNC machine OKUMA Genos L200E-MY**

## **Annotation**

This bachelor's thesis focuses on verification of the Post Processor in SW FeatureCAM for generating NC-code for the CNC lathe OKUMA Genos L200E-MY. The post processor's verification was made on the basis of manufacturing of specific component. The first part gives a short characteristic of CAM systems, namely SW FeatureCAM including its possibilities to create a partprogram. The thesis focuses also on the CNC lathe OKUMA Genos L200E-MY, on its technological possibilities and lathe's description, which was used for manufacturing of the specific component. Followed by a detailed description how the component was designed and modelled via CAD system Solid Edge ST8 and how the partprogram was created. The conclusion focus on the component's manufacturing itself and the appeared problems.

## **Keywords**

FeatureCAM, machining, OKUMA Genos L200E-MY, part modeling, partprogram, post processor, programming of CNC machines, Solid Edge

## **Seznam použitých zkratk**

### **CAD**

Computer Aided Design - počítačem podporované navrhování - zkratka označující software (nebo obor)

### **CAM**

Computer Aided Manufacturing - počítačem podporovaná výroba - zkratka označující software (nebo obor)

### **CL DATA**

Cutting Location Data, někdy též Cutter Location Data - data určující polohu virtuálního stroje na virtuálním nástroji

### **CNC**

Computer Numeric Control - počítačové číslicové řízení

### **VBD**

Výměnná břitová destička

### **SW**

Software

# Obsah

Úvod.....	7
<b>1. Popis SW FeatureCAM .....</b>	<b>8</b>
1.1 Charakteristika CAM systémů.....	8
1.2 Co je Postprocesor.....	8
1.3 Tok dat v CAMu .....	8
1.4 SW FeatureCAM .....	10
<b>2. Technologické možnosti stroje OKUMA Genos L200E-MY .....</b>	<b>13</b>
2.1 Obecné parametry .....	13
2.2 Technická data.....	15
2.3 Koncepce stroje .....	16
2.3.1 Vřeteno .....	17
2.3.2 Nástrojová hlava .....	17
<b>3. Návrh testované součásti.....</b>	<b>20</b>
3.1 Charakteristika CAD systémů Solid Edge.....	20
3.2 Model součásti .....	20
3.2.1 Jednotlivé prvky na testovací součásti .....	21
<b>4. Tvorba partprogramu.....</b>	<b>22</b>
4.1 Použité nástroje pro soustružení.....	23
4.2 Vlastní tvorba partprogramu .....	24
<b>5. Výroba a kontrola součásti .....</b>	<b>28</b>
5.1 Příprava výroby .....	28
5.2 Výroba testovací součásti .....	38
5.3 Měření testovací součástky .....	43
<b>6. Závěr .....</b>	<b>45</b>
Seznam použité literatury a zdrojů.....	47
Seznam příloh.....	49



## Úvod

V dnešní době je téměř nemožné ručně programovat součásti potřebné pro moderní součástky. Je to hlavně z důvodu, že v současné době se obrábí 3D, 2.5D součástky nebo tvary, jež jsou popsány analytickou rovnicí. Proto vznikla soustava softwarů CAD/CAM. V této soustavě nám CAD umožňuje nakreslit součástku, spočítat pevnostní charakteristiky, vytvářet sestavy a poté s pomocí CAMu danou součást na daném stroji obrobít.

Ve své bakalářské práci jsem se zaměřil na program CAD Solid Edge ST8 vyvinutý společností SIEMENS, která v oboru strojírenství patří k nejlepším a k nejzkušenějším. Jako CAM jsem použil FeatureCAM, který vyvinula společnost Delcam. Ústav technologie obrábění, projektování a metrologie od zimního semestru 2015 dostal k dispozici postprocesor pro generování NC-kódu pro CNC stroj OKUMA Genos L200E-MY. Tento CNC stroj japonského výrobce Okuma Corporation patří k nejlepším na trhu. [5, 7]

# 1. Popis SW FeatureCAM

## 1.1 Charakteristika CAM systémů

Počítačové systémy CAM - Computer Aided Manufacturing (česky „počítačová podpora výroby“) jsou dnes nenahraditelným pomocníkem v pokročilé výrobě.

CAM systémy jsou v dnešní době velmi inteligentní nástroje pro technologie obrábění. Jsou schopny navrhnout vhodnou obráběcí strategii, provést výběr vhodného a dostupného řezného nástroje. Při použití simulačního programu lze velmi efektivně odstranit případné chyby a celkově sledovat celý proces obrábění ve výrobním zařízení.

Nedílnou součástí CAM systému je postprocessor. Postprocessor na základě parametrů a možností obráběcího stroje a příkazů v požadovaném tvaru pro řídicí systém výrobního stroje převádí CL data na CNC kód. V dnešních CAM systémech je velmi mnoho funkcí pro vytvoření strategie obrábění 2D i 3D součástí od běžného řádkování, 3D konturování až k silové strategii Vortex. Dnešní CAM systémy zvládají programování dvouřetenových soustruhů a víceosých obráběcích center. Jsou také univerzálním nástrojem pro obrábění konvenční i pro nekonvenční metody obrábění. [8]

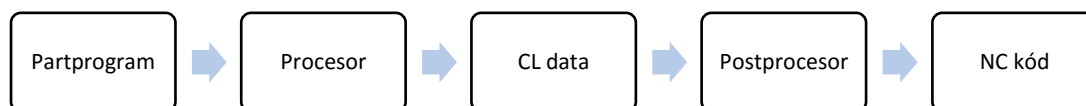
## 1.2 Co je Postprocessor

*„Postprocessor je softwarový převodník dat z CAD/CAM systému do datového jazyka konkrétního obráběcího stroje. Kvalitní postprocessor v sobě obsahuje veškeré informace o vlastnostech daného stroje tak, aby bylo optimálně a efektivně využito všech jeho funkcí v souladu s CAD/CAM systémem.*

*Univerzální postprocessor neexistuje, bohužel je potřeba jej naprogramovat pro každý stroj zvlášť. Cesta k dokonalému postprocesoru se stává obtížnější i kvůli faktu, že pravděpodobně neexistují dvě identické konfigurace obráběcího CNC stroje. Počet možných kombinací je velmi vysoký. Když toto uvážíme, není překvapující vysoká možnost nezdaru při neodborném programování.“ [1]*

## 1.3 Tok dat v CAMu

Tok dat v CAMu lze zjednodušeně znázornit, jak je uvedeno na Obr. 1:



Obr. 1: Tok dat v CAMu [2]

### Partprogram:

- Neboli program součásti je kódovaný zápis, který u číslicově řízených strojů slouží k přenosu informace o obráběném polotovaru či součástce a obsahuje geometrickou část a technologickou část.
- „Je tvořen sledem přípustných znaků (tzv. adres). Tento sled znaků musí jednoznačně popisovat obráběcí postup na konkrétním stroji, musí být jednoznačně identifikovatelný jako celek a ve formě výpisu na tiskárně nebo obrazovce displeje, musí být snadno srozumitelný a přehledný.

*Při tvoření partprogramu je třeba vycházet z těchto údajů:*

- a) geometrie stroje (souřadný systém, orientace os, nulové body)
- b) geometrie polotovaru (možnost kolize obrobek - nástroj během obrábění, umístění obrobku v souřadné soustavě stroje)
- c) geometrie nástroje (rozměry, tvar, korekce dráhy nástroje na tvar obrobku)
- d) geometrie výsledného obrobku (daná výkresem součásti)
- e) technologické a řezné podmínky (řezné rychlosti, síla třísky atd.)
- f) ostatní podmínky důležité pro činnost obráběcího stroje (chlazení, velikost posuvu, otáček, čísla nástrojů, korekcí atd.)

*Výstavba partprogramu musí pak vyhovovat předepsané syntaxi zápisu, aby byla zaručena jednoznačnost vyjádření.“ [3]*

### Procesor:

- Slouží ke zpracování dat z partprogramu, tj. má na starosti provádět veškeré programové instrukce, zajišťuje spolupráci všech periférií a provádí matematické operace.

#### CL data:

- Jsou univerzální data, která určují polohu virtuálního nástroje na virtuálním stroji.

#### Postprocesor:

- Plní roli překladače, tj. slouží k převodu CL dat na NC data. Role postprocesoru je podrobněji popsána výše v kapitole 1.2.

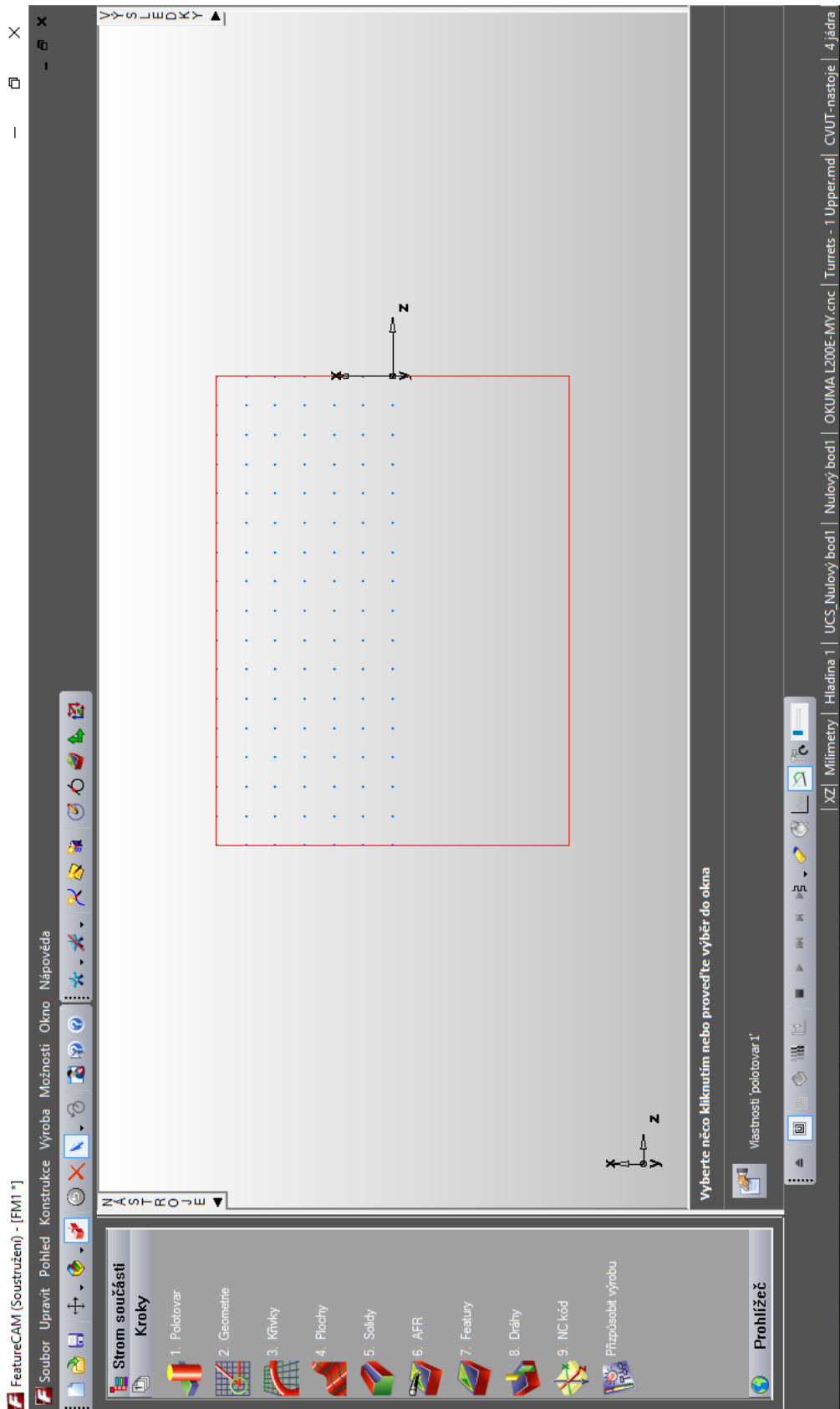
#### NC kód / NC data:

- Jsou data srozumitelná pro kombinaci stroj a řídicí systém. Konkrétní stroj má vždy konkrétní NC kód.

### **1.4 SW FeatureCAM**

*„Delcam FeatureCAM je samostatný CAD CAM software pro CNC programování frézovacích center, soustruhů, soustružnicko-frézovacích center, víceosých a více-kanálových obráběcích center a elektroerozivních drátových řezaček. Program je plně 64-bitový a podporuje nejnovější operační systém Windows. Jedná se o nejautomatizovanější řešení v oblasti CNC programování na trhu.“ [4]*

Ukázku toho, jak vypadá pracovní prostředí tohoto programu, zachycuje níže uvedený Obr. 2:



Obr. 2: Ukázka pracovního prostředí SW FeatureCAM

K výhodám tohoto programu patří:

- Rychlá a jednoduchá tvorba NC kódu
- Kombinace soustružení a frézování
- Možnost použití více technologií
- Nativní načítání modelů z nejrozšířenějších CADů
- Rozpoznání prvků v modelu
- Práce s technologickými prvky
- Automatizace
- Silová strategie Vortex

*„FeatureCAM je založený na znalostní bázi technologie obrábění pro zvýšení produktivity. Jakoukoliv odladěnou strategii lze také uložit jako šablonu a používat ji v jiných projektech.“ [4]*

Práce s tímto programem je relativně jednoduchá a také rychlá. Postup práce je následující:

- Nejprve uživatel nakreslí nebo importuje geometrii.
- Následně uživatel vyhledá z 3D modelu odpovídající technologický prvek (např. kapsu, otvor, profil, atd.) a systém již sám vybere odpovídající nástroje pro hrubování a dokončení a vybere korektní kroky v Z i do strany.
- Je-li potřeba, uživatel si upraví vytvořené prvky.
- Uživatel klikne na simulaci obrábění.
- Program vygeneruje NC kód.

## 2. Technologické možnosti stroje OKUMA Genos L200E-MY

### 2.1 Obecné parametry

OKUMA Genos L200E-MY je CNC soustruh se čtyřmi řízenými osami X, Y, Z, C, s poháněnými nástroji a s koníkem.



Obr. 3: OKUMA Genos L200E-MY [převzato z 5]

GENOS = **G**lobal **E**fficient **NO.1** **S**tandard

Oficiální katalog firmy Misan s.r.o. uvádí, že: „stroje série GENOS L jsou jednoduché univerzální stroje s výborným poměrem cena/výkon. Tyto stroje mají jednoduchou strukturu, díky které dosahují vysoké kvality výroby a snadno se používají. Velká škála variant strojů vyhoví každému obrobku od příruby po hřídel s členitým tvarem z tyčového polotovaru.“ [5]

Jako hlavní výhody jsou uváděny

- „Příjemná práce, výborná rozšiřitelnost
  - údržba z čelní strany stroje – bez námahy
  - ovládací prostředí – velké množství nastavení včetně víceprocesních operací lze provádět bez změny obrazovky
  - systém je připraven pro zapojení do výrobní linky

- *snadná editace příkazů v programu jedním dotykem*
- *Řídicí systém OSP-P300L je vlastním systémem firmy Okuma, což jí umožňuje zavádět funkce přímo určené jejich strojům. Jednou z významných vlastností systému, klíčovou pro mnoho zákazníků, je např. schopnost stroje navázat na poslední blok po přerušení chodu programu.*
- *Okuma je také výrobcem vlastních elektromotorů, pohonů a odměřování. Všechna odměřování jsou ve standardu (již od roku 1963) absolutní, a odpadá tím nutnost najíždět po spuštění stroje do referencí. Vlastním vývojem všech rozhodujících uzlů Okuma přebírá plnou odpovědnost za jejich součinnost, a tedy celkovou funkci stroje. To je význam hesla One Source. First Choice.*
- *Prvky a technologie pro úsporu energie*
  - *po dokončení operace se po nastaveném čase vypnou některá zařízení (čerpadlo chlazení vřetena, oplach třísek, osvětlení, čerpadlo hydrauliky, atd.)*
  - *přerušovaný provoz dopravníku třísek a odsávání pracovního prostoru*
  - *úsporné řídicí jednotky a servopohony*
- *Hi-tech mechatronické prvky*
  - *Harmonic spindle speed control (opce) – redukuje vibrace (chatter) u dlouhých, štíhlých, tenkostěnných součástí okamžitou změnou otáček vřetene*
  - *Variable spindle speed threading (opce) – vysoká přesnost synchronizace posuvu s měnicími se otáčkami vřetene (pro snížení vibrací) zaručuje, že závit bude perfektní napoprvé*
  - *Deep hole synchro tapping - cyklus pro synchronní závitování hlubokých děr*
  - *Real 3D simulation (opce) - 3D simulace obráběcího procesu na obrazovce s výpočtem kolizí v reálném čase*
  - *Advanced One-Touch IGF-L (opce) – po interaktivním zadání vstupních údajů (polotovar a výsledný tvar součásti) se automaticky nastaví řezné podmínky a vytvoří se part program, který může být*



přímo spuštěn (celý nebo po částech). Pokud je detekován problém, je možné jej rychle opravit, a tím urychlit výrobu první součásti.“ [5]

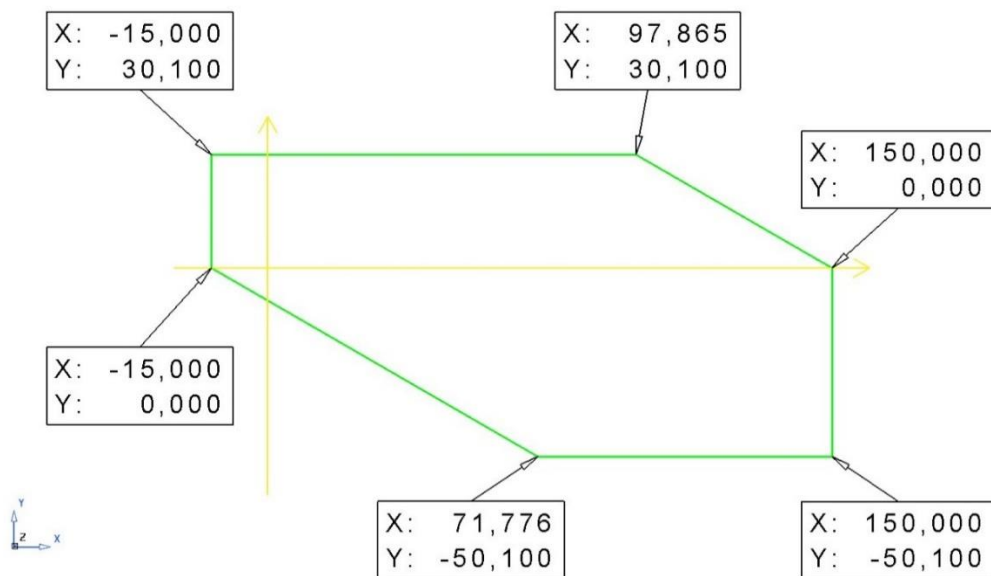
## 2.2 Technická data

Základní technické a výkonnostní parametry stroje OKUMA Genos L200E-MY jsou následující:

<b>Pracovní prostor</b>		<b>Pojezdy</b>	
Velikost sklíčidla	8 "	Osa X	165 mm
Max. oběžný průměr	450 mm	Osa Y	80 mm
Obráběný Ø - max.	200 mm	Osa Z	400 mm
Max. obráběná délka	380 mm		
<b>Vřeteno</b>		<b>Rychloposuvy</b>	
Otáčky	107 - 4 500 ot/min	Osa X	20 m/min
Zakončení vřetene	JIS A2-6	Osa Y	10 m/min
Vrtání vřetene Ø	66 mm	Osa Z	25 m/min
Výkon	11,0/7,5 kW	Osa W	- m/min
		Osa C	200 ot/min
<b>NC konik</b>		<b>Ostatní</b>	
Upnutí hrotu	4 MK	Motor čerpadla	250 W
Pojezd	80 mm		
<b>Revolverová hlava</b>		<b>Strojní data</b>	
Počet nástrojových míst	12	Šířka	2118 mm
Upnutí: vnější obrábění	20 x 20 mm	Hloubka	1748 mm
Upnutí: vnitřní obrábění - Ø	32 mm	Výška	2040 mm
Indexace: 1 poloha / 6 poloh	0,1 s	Zastavěná plocha	3,70 m <sup>2</sup>
Otáčky hnaného nástroje	50 - 6 000 ot/min	Hmotnost stroje	4600 kg
Výkon	4,0/1,8 kW		

Obr. 4: Technické parametry [zpracováno podle 5]

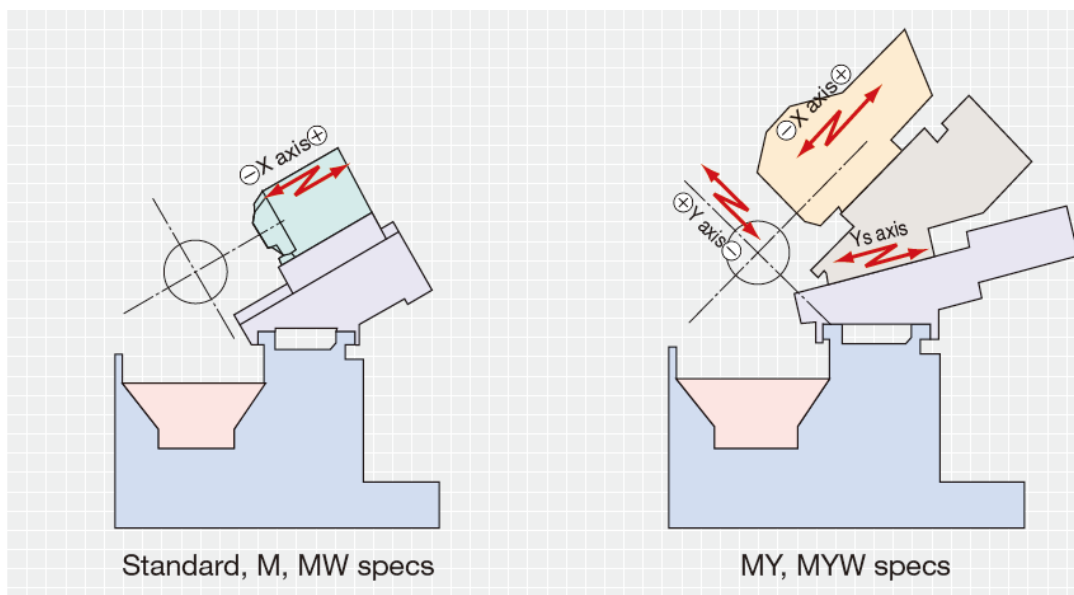
Rozsah pracovního prostoru pro osu X-Y je zobrazen na Obr. 5. Konkrétně se jedná o zobrazení pro nulovou pozici nástroje v nástrojové hlavě a X je zde poloměrovým údajem. Rozsah pracovního prostoru pro Z-X je uveden v tabulce (Obr. 4) výše.



Obr. 5: OKUMA – X-Y (bez korekci)

## 2.3 Koncepce stroje

Různé frézování může být realizováno s vysokou přesností, širokým rozsahem osy Y, která se pohybuje pomocí dvou nerovnoběžných rovin v klínu. Toto uspořádání umožňuje svislý pohyb nástrojové hlavy. Tento systém je výhodný pro obrábění nerotačních ploch, například šestihranů. Stroj využívá umístění vřetene ve vodorovné poloze.



Obr. 6 Zajištění pohybu v osách [převzato z 5]

### 2.3.1 Vřeteno

Vřeteno společně se sklíčidlem slouží k upínání součástek a umožňuje rotační pohyb kolem osy C. Vysoká rychlost a vysoká tuhost upnutí minimalizují u bezpřevodového vřetene vznikající vibrace a teplo.



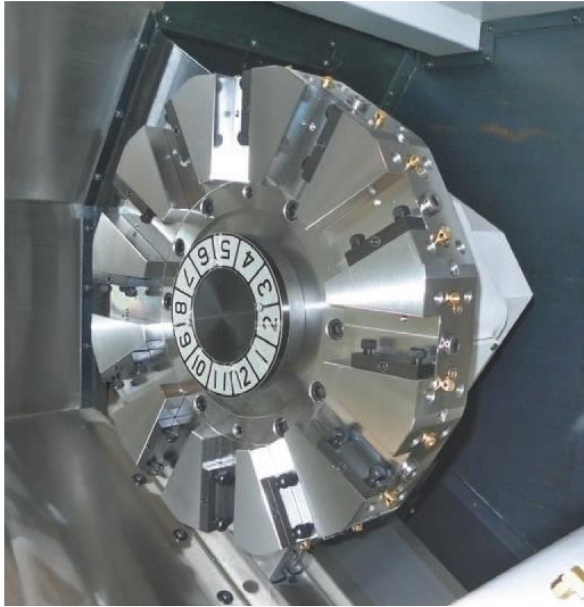
Obr. 7: Sklíčidlo hlavního vřetene [převzato z 5]

### 2.3.2 Nástrojová hlava

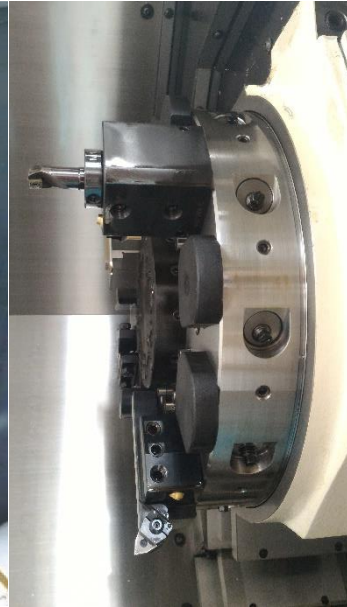
Do nástrojové hlavy lze upnout nepoháněné nástroje, jako jsou soustružnické nože, závitníky, vrtáky aj. Také lze do ní upnout i nástroje poháněné radiálně, případně axiálně, to umožňuje vrtat a frézovat klasicky po obvodu součásti, ale i z čela součásti.

Kompaktní frézovací vřeteno využívá vysokofrekvenční energii a vysoký točivý moment, které produkuje PREX motor.

PREX motor je vestavný typ odporového motoru, zabudovaného do řady vřeten používaných obráběcích strojů. Početné drážkování v rotoru vytváří generaci účinnější odporové síly. Tato ojedinělá struktura rotoru obsahuje malé množství vložených permanentních magnetů, které zvyšují výkon. PREX motor je účinnější než asynchronní motory, které byly hlavním zdrojem pohonu vřeten v minulosti. Jedná se o motor kompaktní s malou hmotností rotačních částí, které redukuje setrvačnou hmotnost o 47 %. To způsobuje velkou reakci na zrychlení a zpomalení. Kombinace všech těchto vlastností redukuje spotřebu energie o 5 – 13 %. [6]



Obr. 8: Nástrojová hlava bez nástrojů [převzato z 5]



Obr. 9: Nástrojová hlava s nástroji

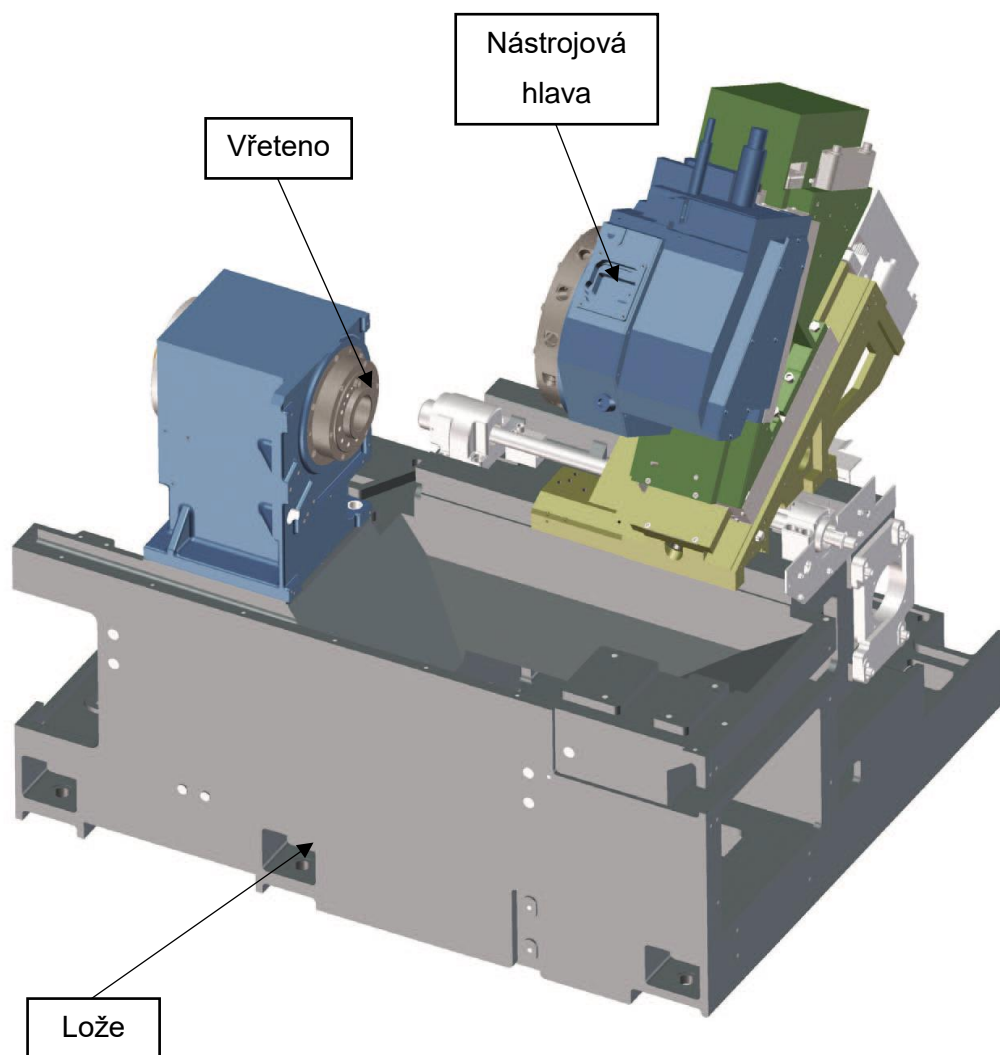
### 2.3.3 Koník

Koník se používá k podepření dlouhých součástek. Je stabilní a s hydraulickým posuvem.

### 2.3.4 Lože

Lože je zhotoveno z litinového odlitku. Litina dodává vynikající tuhost, dlouhou životnost a v neposlední řadě minimální teplotní roztažnost. [5]

Model celého stroje je zobrazen na obr. 10 na následující stránce.



Obr. 10: Model stroje [převzato z 5]

Poznámka k Obr. 10: Na použitém modelu stroje bohužel není vymodelován koník. Měl by být umístěn v pravém dolním rohu.

## 3. Návrh testované součásti

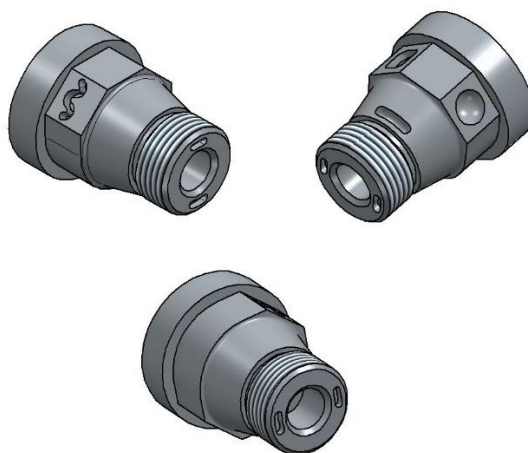
### 3.1 Charakteristika CAD systémů Solid Edge

Při navrhování testované součásti byl použit program Solid Edge ST8. Tento program byl vyvinut společností Siemens a patří k nejlepším na trhu. „*Solid Edge je 3D konstrukční systém, který využívá synchronní technologii pro efektivnější navrhování, přičemž umožňuje rychlejší revize návrhů a lepší opětovné použití. Solid Edge obsahuje moduly pro 2D kreslení a 3D modelování dílů a sestav – společnosti tak mohou jedinečným způsobem zefektivnit své konstrukční procesy.*“ [7]

### 3.2 Model součásti

Při navrhování testované součásti jsem se zaměřil na ověření co nejvíce technologických prvků, které bude možné vyrobit na jedno upnutí. Další omezení je dáno maximálně možným počtem nástrojů v nástrojové hlavě. Ta má 12 pozic, avšak některé pozice by mohly hrozit kolizí s obrobkem/strojem při obrábění jiného nástroje. Proto bylo mým cílem použít přibližně 10 nástrojů, se kterými bude možné vyrobit téměř cokoliv na daném stroji.

Mým zadáním bylo namodelovat součástku, jejíž polotovár je z leteckého hliníku a má průměr 60 mm. Testovací součástka nebyla navrhována jako součástka, která by měla reálné využití. Šlo pouze o vytvoření tvarů a ploch na dané. Tyto tvary a plochy budou po vyrobení změřeny a vyhodnotí se funkčnost postprocesoru.



Obr. 11 Model testovací součásti

### 3.2.1 Jednotlivé prvky na testovací součásti

Na testovací součástce se nacházejí prvky pro soustružení i frézování. Pro soustružení jsou určeny prvky k obrábění: vnější závit, zápich, kuželová plocha. Pro frézování se na součástce nacházejí následující prvky: rovinné plochy, válcová plocha, čtvercová kapsa, půl kulové plochy a drážky, jenž jsou na čele i na obvodu. Některé prvky se objevují vícekrát, to je z důvodu, že se každý prvek bude vyrábět s použitím různé strategie obrábění.

#### a) Soustružené prvky

Vnější závit slouží k ověření soustružnického cyklu závitování. Použil jsem normalizovaný závit s hrubou roztečí. Soustružnické destičky jsou vyráběny pro výrobu konkrétního profilu jakéhokoliv průměru, rozhodující je stoupání závitu, které je v rozsahu několika milimetrů.

Vnitřní válcová plocha otestuje vrtací cyklus. Avšak přes tuto plochu bude vyříznutý závit, takže samotná plocha se kontrolovat nebude.

Drážka za závitem bude sloužit pro kontrolu zapichovacího cyklu.

Kuželová plocha ověří pohyb nástrojové hlavy ve dvou osách současně.

#### b) Frézované prvky

Rovinné plochy (osmihran) umožní kontrolu polohování osy C, dále pak kontrolu rovnoběžnosti a rovinnosti ploch. Při konstrukci jsem musel vzít v úvahu možnosti upnutí axiálního držáku s naháněným nástrojem. Problém je v celkové délce nástroje, vyložení a držáku nástroje.

Válcová plocha na osmihranu je nevyrobitelná soustružením, proto je tato plocha určena pro frézování. Je to z důvodu jejího umístění na součásti, které je od středu k dalšímu středu rovinné plochy.

Čtvercová kapsa prověří frézování válcovou frézou pomocí strategie kapsa.

Drážka na osmihranu otestuje drážkovací cyklus u drážky, která je zvlněná.

Drážka na kuželové ploše ověří strategii 3D konturování.

Drážky na čele součásti otestují možnosti čelních drážek.

Vnitřní závit prověří pohyb hřebínkové frézy po spirále.

## 4. Tvorba partprogramu

Před samotným zahájením tvorby partprogramu jsem musel importovat model ze SolidEdge do FeatureCAMu.

Ústav technologie obrábění, projektování a metrologie bohužel nevlastní licenci na import modelu ze SolidEdge, který má koncovku „.par“. Ústav naopak vlastní licenci od Delcamu na Exchange, který umožní vložit do FeatureCAMu model ze SolidEdge. Tato volba je lepší než převod modelu v SolidEdge na přenosný formát, který umožní otevření ve FeatureCAMu, a to z důvodu, že nedochází ke ztrátě vazeb na modelu a k převodu objemových částí na pouhé plochy.

Tato cesta je sice delší, ovšem má výhodu v tom, že FeatureCAM rozpozná bez jediného zádrhelu všechny prvky na modelu, což zvyšuje efektivitu práce. Je to dáno tím, že FeatureCAM po rozpoznání jednotlivých technologických prvků navrhne metody pro jejich obrobení. Pokud ovšem navrhne špatnou strategii obrábění, pak stačí pár úprav a vše je opět v pořádku. Výjimečně se může stát, že navržená strategie je špatně včetně špatně navoleného nástroje, v tomto případě je nejjednodušší cestou smazat danou část a následně zvolit správnou technologii včetně správného nástroje.

Protože jsem neměl k dispozici databázi nástrojů pro FeatureCAM, ale dostal jsem soupis dostupných nástrojů, které jsou k dispozici pro obrábění Ústavu technologie obrábění, projektování a metrologie. Proto jsem si z dostupných informací vytvořil novou databázi nástrojů přímo ve FeatureCAMu. Do databáze jsem nadefinoval pouze nástroje, které jsem využil při výrobě. Tyto nástroje jsem vložil pomocí Správce nástrojů do databáze FeatureCAMu. Tato databáze je přenosná, takže může sloužit dalším studentům nebo případně pracovníkům Ústavu.

FeatureCAM bohužel neumí z označení výměnné břitové destičky WNMG080404N-SX určit, o jakou destičku se jedná. Proto jsem musel všechny písemné a číselné zkratky rozšifrovat a přepsat do předem připravených kolonek ve Správci nástrojů.

U této konkrétní destičky označení znamená:

- |   |   |
|---|---|
| W | - tvar destičky je Trigon   |
| N | - úhel hřbetu 0°  |
| M | - toleranční pole: délka řezné hrany $\pm 0,08 \div 0,18$ ; tloušťka destičky $\pm 0,130$ a průměr upínací části $0,05 \div 0,13$ |



G	- provedení s dírou na upnutí a dvěma řeznými hranami
08	- délka řezné hrany 12,7 mm
04	- tloušťka destičky 4,76 mm
04	- rádius špičky nástroje 0,4 mm
N-SX	- tvar utvařeče třísek

#### 4.1 Použité nástroje pro soustružení

Z dostupných nástrojů pro soustružení jsem použil následující:

- vnější soustružnický nůž s VBD WNMG080404N-SX (Trigon), pro hrubování a dokončení soustružnické kontury;
- vrták o průměru 14 mm pro předvrtání díry pro závit;
- válcovou frézu o průměru 14,85 mm (jedná se o přebroušenou frézu, která měla průměr 16 mm) ze slinutého karbidu s osou rotace Z, pro dokončení díry pro závit a hrubování a dokončení vnější kontury osmiúhelníku a zaoblení dvou hran na osmiúhelníku;
- zapichovací nůž PCHR K3 – pro hrubování a dokončení zápichu za závitem;
- kulovou frézu o průměru 11,54 mm (jedná se o přebroušenou frézu, která měla průměr 12 mm) ze slinutého karbidu s osou rotace X, pro frézování kulové plochy na osmihranu;
- válcovou frézu o průměru 3 mm z nástrojové oceli s osou rotace Z, pro obrábění dvou čelních drážek;
- válcovou frézu o průměru 3 mm z nástrojové oceli s osou rotace X, pro obrábění drážky na osmiúhelníku (tvar připomínající vlnku) a hrubování a dokončení čtvercové kapsy na osmiúhelníku;
- kulovou frézu o průměru 4 mm z nástrojové oceli, pro obrábění drážky na kuželové ploše;
- vnitřní soustružnický nůž s VBD TCMT110202NFPT, pro sražení hrany mezi čelem a dírou a dokončení průměru díry pro závit;
- závitovací nůž s VBD TN16ER150M, pro soustružení vnějšího závitu;

- hřebínkovou frézu o průměru 7,9 mm ze slinutého karbidu pro řezání vnitřního závitu;



Obr. 12: Nástroje použité pro výrobu

## 4.2 Vlastní tvorba partprogramu

Po importování modelu pomocí Exchange jsem nastavil polotovár obrobku na válec o průměru 60,1mm a to z důvodu, aby došlo k obrobení průměru 60mm. Délku jsem zadal 80 mm.

Následně jsem použil funkci Automatické rozpoznání feature v záložce konstrukce. Tento krok rozpoznal všechny prvky na součástce a navrhnul jejich obrobení s použitím různých nástrojů a různých strategií. V mém konkrétním případě ponechal pouze vybrané strategie soustružení, kde jsem následně provedl změnu nástrojů a změnu pracovních podmínek.

Bohužel u frézování bylo jednodušší smazat všechny frézované operace. Důvodem pro smazání bylo, že úprava operací (úseků) by pravděpodobně zabrala víc času než

tvorba požadované strategie s požadovaným nástrojem. FeatureCAM nabízel u většiny frézování obrábění pomocí strategie profil. Tato strategie nebyla pro moje potřeby žádoucí u všech prvků, protože bylo potřeba otestovat různé strategie s konkrétními nástroji.

Ze soustružení tedy zůstalo zarovnání čela na souřadnici Z0 při použití nástroje Trigon s řeznou rychlostí 200 m/min a s posuvem 0,08 mm/ot.

Následně jsem upravil hrubovací úběr, což je hrubování vnější kontury. Nástroj jsem nechal stejný jako při zarovnání čela, pouze jsem upravil parametry obrábění. Řeznou rychlost jsem snížil na 160 m/min a posuv na otáčku jsem zvedl na 0,25 mm/ot, nastavil jsem hloubku řezu na 2,6 mm a přidal jsem přídavek na dokončení 0,1 mm v ose X a Y. S tímto nožem jsem provedl i následné dokončení vnější kontury, přičemž jsem opět upravil parametry soustružení na řeznou rychlost 200 m/min a posuv 0,07 mm/ot. Navíc jsem u těchto soustružnických operací změnil směr otáček vřetena ze směru otáčení ve směru hodinových ručiček na směr proti směru otáčení hodinových ručiček, neboť nástroj byl v levém provedení.

Po dokončení soustružení jsem použil strategii předvrtání spirálovitým vrtákem. Tento vrták má průměr 14 mm a vrtá při otáčkách 2273 ot/min. Tomu odpovídá řezná rychlost 100 m/min a posuv na otáčku je 0,07 mm/ot.

Díru pro vnitřní závit jsem musel dokončit pomocí frézování. Důvodů bylo více, první problém byl, že jsem neměl k dispozici vrták průměru 18,5 mm, který by nebyl vyložen více než 150 mm, aby nedošlo ke kolizi s krytem stroje. Dalším důvodem je, že při použití frézování by měl být malý průměr zavitu přesnější, protože je možnost naprogramovat ho na konkrétní hodnotu 18,526 mm, což je tabulková hodnota malého průměru pro závit M 20x1,5. Je sice pravda, že tímto krokem došlo k navýšení strojního času, ovšem cílem nebylo dosáhnout výroby v co možná nejkratším strojním čase, ale hlavně otestovat co nejvíce možných způsobů výroby.

Tento úkon je ve FeatureCAMu rozdělen do čtyř operací (úseků). Každá operace obsahuje zavrtání o 5 mm a následné obrobení průměru po kružnici. Tato díra je vyrobena pomocí strategie kapsa a byla použita fréza o průměru 14,85 mm s parametry obrábění: řezná rychlost 140 m/min a posuv na zub 0,01 mm/zub.

Po tomto frézování následovalo obrobení osmihranu s jednou zaoblenou hranou s pomocí stejného nástroje. Použil jsem strategii profil pro hrubování i pro dokončení, rozdílné byly pouze parametry. Konkrétně pro hrubování jsem nastavil řeznou

rychlost na 140 m/min a posuv na zub 0,06 mm/zub. U dokončení jsem snížil posuv na 0,04 mm/min.

Následovalo obrobení zápichu za závitem, pro ten jsem použil zapichovací nůž a zapichovací strategii. Při hrubování jsem měl nastavenou řeznou rychlost na 80 m/min a posuv 0,08 mm/ot. U dokončovací operace jsem zvýšil řeznou rychlost na 100 m/m, ovšem posuv jsem snížil na 0,05 mm/ot. Tímto krokem jsem kompletně dokončil vnější konturu.

Následují už jen jednotlivé prvky na součástce. Jako první jsem zvolil kulovou kapsu. Tato kapsa má průměr 14 mm a je vyrobena pomocí frézy s průměrem 11,54 mm. Použil jsem strategii konturování 3D ploch. Pracovní parametry jsou následující: řezná rychlost je 140 m/min a posuv na zub je 0,025 mm/zub. Navíc jsem značným způsobem zredukoval krok do strany na pouhých 0,1 mm a to z důvodu, aby kapsa byla velice hladká bez známek po předchozím obrábění.

Následovaly dvě čelní drážky, jedna je rovná a druhá je do oblouku. Rovná drážka je vytvořena pomocí nástrojové hlavy a sklíčidlo je uzamčené v jedné poloze. Při této konfiguraci dojde k výrobě drážky pomocí os X Y Z. Zatím co drážka do oblouku je vyrobena za pomoci osy C. V programu se ale osa C nevyskytuje, protože postprocesor vygeneroval NC kód v souřadnicích X Y Z s tím, že zapnul konverzi osy Y na osu C (G137). U těchto drážek jsou řezné parametry stejné a to konkrétně: řezná rychlost 60 mm/min, posuv za zub je 0,009 mm/zub, zanoření je 3 mm, což je výsledná hloubka drážky. Po těchto dvou čelních drážkách následuje drážka umístěná na osmiúhelníku. U ní byly řezné podmínky stejné až na zanoření, to bylo sníženo na 1,25 mm, přičemž výsledná hloubka je 5 mm.

Pak se obrábí čtvercová kapsa na osmiúhelníku, kde je navíc použita hrubovací operace na boky kapsy, u které jsem snížil řeznou rychlost na 55 m/min, ale zase jsem zvýšil zanoření na 3 mm, což je výsledná hloubka. Následně u dokončovací operace jsem opět zvedl řeznou rychlost na 60 m/min, posuv byl u obou operací 0,009 mm/zub.

Po této operaci jsem zvolil výrobu drážky na kuželové ploše. Tato drážka frézovaná pomocí kulové frézy o průměru 4 mm pomocí os C X Z (NC kód opět přes konverzi osy Y) byla nejdéle obráběnou částí na celé součástce. Bylo to způsobeno hlavně malým krokem, který je 0,25 mm, posuv na zub je 0,013 mm/zub a řeznou rychlostí 60 m/min. Malý krok byl nastavený hlavně pro hladký povrch drážky.

Nyní už zbývalo vyrobit pouze závity a dokončit vnitřní průměr. Dokončení průměru díry včetně sražení šlo na řadu jako první. Zde byl použit vnitřní soustružnický nůž s VBD. Řezná rychlost je 140 m/min a posuv na otáčku 0,055 mm/ot. Jako první jsem zvolil výrobu vnějšího závitu. Ten byl vyroben pomocí vnějšího nože s VBD pro řezání metrického závitu se stoupáním 2 mm. Nastavil jsem otáčky na 670 ot/min, čemuž odpovídá řezná rychlost 80 m/min a posuv na otáčku 2 mm/ot, ten je daný stoupáním závitu.

Jako poslední operace bylo provedeno frézování závitu pomocí hřebínkové frézy. Parametry byly následující: řezná rychlost 120 m/min a posuv na zub je 0,02 mm/zub. Posuv na zub byl zvolen opět malý, aby se dosáhlo velmi hladkého povrchu.

Souhrn všech realizovaných operací je zobrazen níže na Obr. 13:

Operace	Feature	Nástroj	Posuv	Otáčky	Hloubka
dokončení	čelo1	* 1001-trigon	* 0.080000 mm/ot	* 200 m/min PSH	30.000000 mm
hrubovací úběr 1	soustr1	* 1001-trigon	* 0.250000 mm/ot	* 160 m/min PSH	12.750000 mm
dokončení	soustr1	1001-trigon	* 0.080000 mm/ot	* 200 m/min PSH	12.750000 mm
předvrtat spirálo...	vnit_soust2	* Vrták 14	* 0.070000 mm/ot	* 2273 ot. VSH	23.206024 mm
dokončení	kapsa3	* válcová 14.85-rotační Z	* 0.010000 mm/z	* 140 m/min	18.000000 mm
dokončení	kapsa3	* válcová 14.85-rotační Z	* 0.010000 mm/z	* 140 m/min	18.000000 mm
dokončení	kapsa3	* válcová 14.85-rotační Z	* 0.010000 mm/z	* 140 m/min	18.000000 mm
dokončení	kapsa3	* válcová 14.85-rotační Z	* 0.010000 mm/z	* 140 m/min	18.000000 mm
hrubovací úběr 1	profil1	* válcová 14.85-rotační Z	* 0.060000 mm/z	* 140 m/min	20.000000 mm
dokončení	profil1	válcová 14.85-rotační Z	* 0.040000 mm/z	* 160 m/min	20.000000 mm
hrubovací úběr 1	zapich1	* Zapich	* 0.080000 mm/ot	* 80 m/min VSH	2.200000 mm
dokončení	zapich1	Zapich	* 0.050000 mm/ot	* 100 m/min VSH	2.200000 mm
dokončení1 - ko...	frez3d4	* Kul 11.54-rotační X	* 0.025000 mm/z	* 140 m/min	
drazka	drazka1	* Valcova 3 ax-rotační Z	* 0.009000 mm/z	* 60 m/min	3.000000 mm
dokončení	kapsa1	* Valcova 3 ax-rotační Z	* 0.009000 mm/z	* 60 m/min	3.000000 mm
drazka	drazka2	* Val 3-rotační X	* 0.009000 mm/z	* 60 m/min	5.000000 mm
hrubovací úběr 1	kapsa2	* Val 3-rotační X	* 0.009000 mm/z	* 55 m/min	3.000000 mm
dokončení	kapsa2	* Val 3-rotační X	* 0.009000 mm/z	* 60 m/min	3.000000 mm
dokončení1 - ko...	frez3d1	* Kul 4-rotační X	* 0.013000 mm/z	* 60 m/min	
dokončení	vnit_soust2	* Vnitřní	* 0.055000 mm/ot	* 140 m/min VSH	2.000000 mm
rezani_zavitu	rezani_zavitu3	* Zavit-nuz	2.000000 mm/ot	* 670 ot. VSH	1.515600 mm
dokončení závitu	frezovani_zav...	* _zavit-rotační Z	* 0.020000 mm/z	* 120 m/min	15.000000 mm
Výsledky					

Obr. 13: Seznam operací

## 5. Výroba a kontrola součásti

### 5.1 Příprava výroby

Jako první činnost na soustruhu bylo upnutí nástrojů a přiřazení čísel nástrojů v dané pozici stroje.

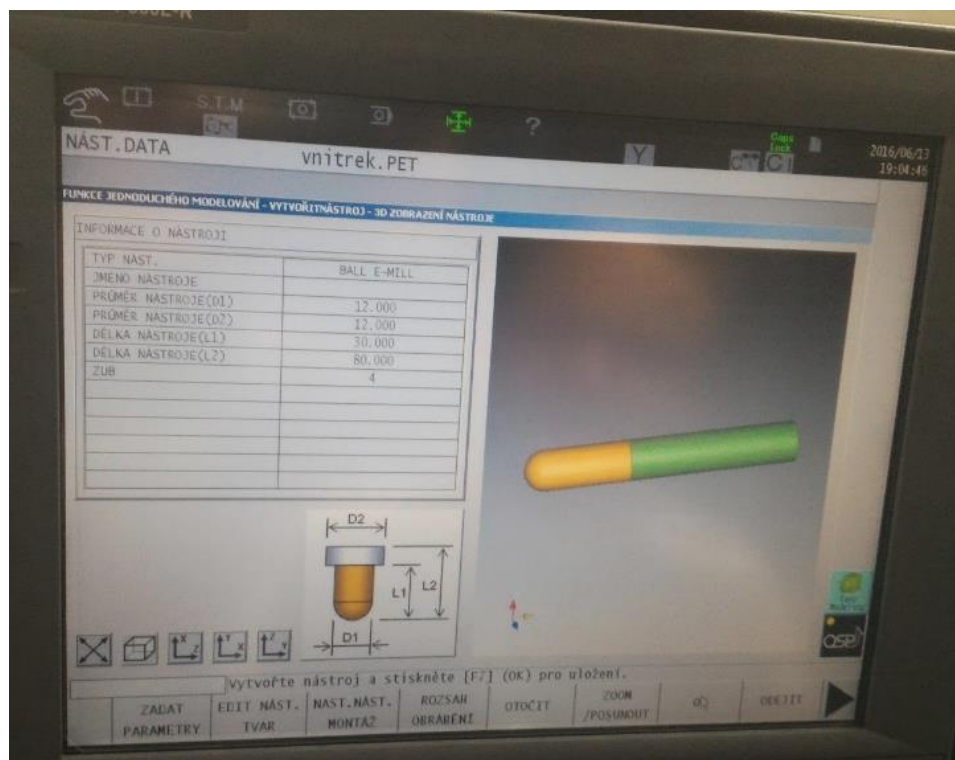


Obr. 14: Tabulka nástrojů

Soustružnické nože již byly vytvořeny a uloženy v databázi nástrojů stroje.

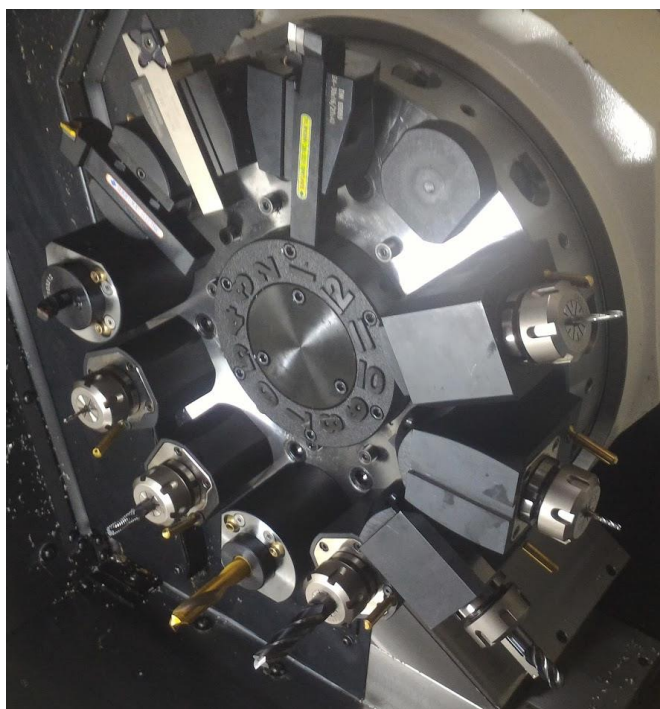
Protože některé frézy chyběly, bylo potřeba je nadefinovat a uložit do databáze. Konkrétně chyběla kulová fréza o průměru 12 mm, válcová fréza o průměru 16 mm. U těchto nástrojů jsem vytvořil tvar nástroje s původním průměrem před broušením. Nicméně při definici nástroje byl již použit skutečný průměr nástroje. V databázi se také musely vytvořit dvě válcové frézy o průměru 3 mm s osou rotace v Z a X.





Obr. 15: Tvorba nového nástroje na stroji OKUMA Genos

Po upnutí nástrojů na své pozice byla nutná kontrola, jestli nedošlo k omylu při upnutí nástrojů a přiřazení čísla nástrojové pozice v tabulce nástrojů. Dále bylo nutné změřit vyložení nástrojů pomocí dotykové sondy. Pak již bylo vše připravené na výrobu součástky.



Obr. 16: Upnuté nástroje na soustruhu

Po dokončení partprogramu stačilo NC kód uložit na USB flash disk a nahrát kód do soustruhu. OKUMA Genos pracuje na Windows XP, takže nahrání programu do paměti je velice jednoduché a bez jakýchkoliv komplikací. Po nahrání programu do paměti stroje jsem spustil simulaci programu. Bohužel simulace nedoběhla do konce. Zastavila se při dokončování kulové kapsy. Naskočila chyba 2457-01 ALARM-B X-osa korekce limitu zdvihu překročena. Zastavila se při dokončování kulové kapsy. Naskočila chyba 2457-01 ALARM-B X-osa korekce limitu zdvihu překročena.



Obr. 17: 1. chybová hláška

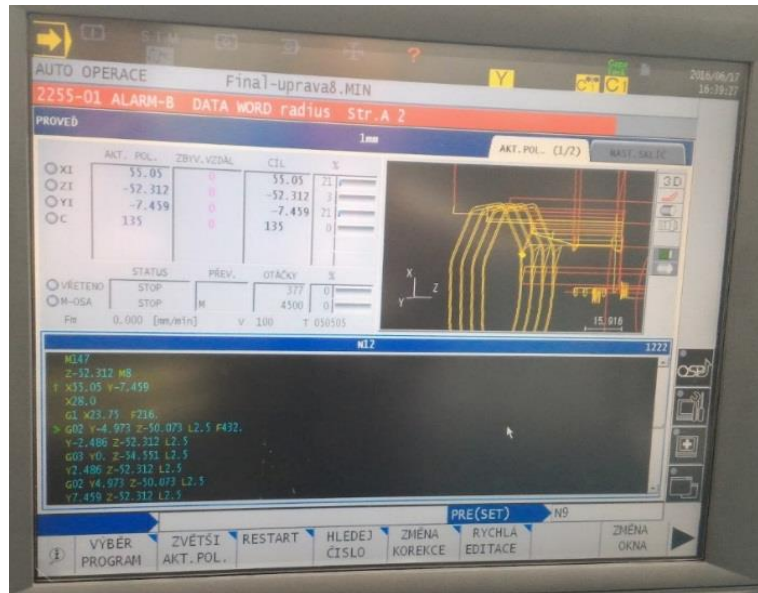
Řešením této chyby bylo dopsání odjezd na souřadnici Y0, konec přepočtu souřadnice Y G136, odemknutí osy C M146.



Obr. 18: 1. chybová hláška – oprava

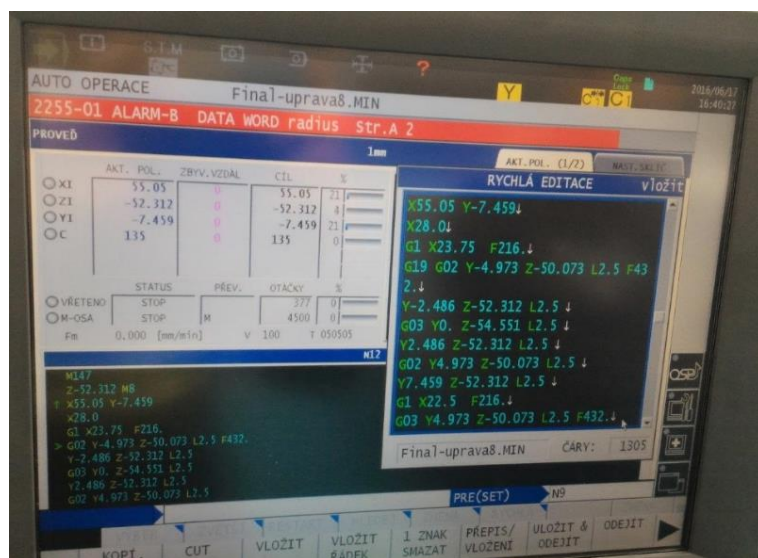


Následovala další chybová hláška 2255-01 ALARM-B DATA WORD radius. Tato chybová hláška se objevila při frézování drážky na osmihranu.



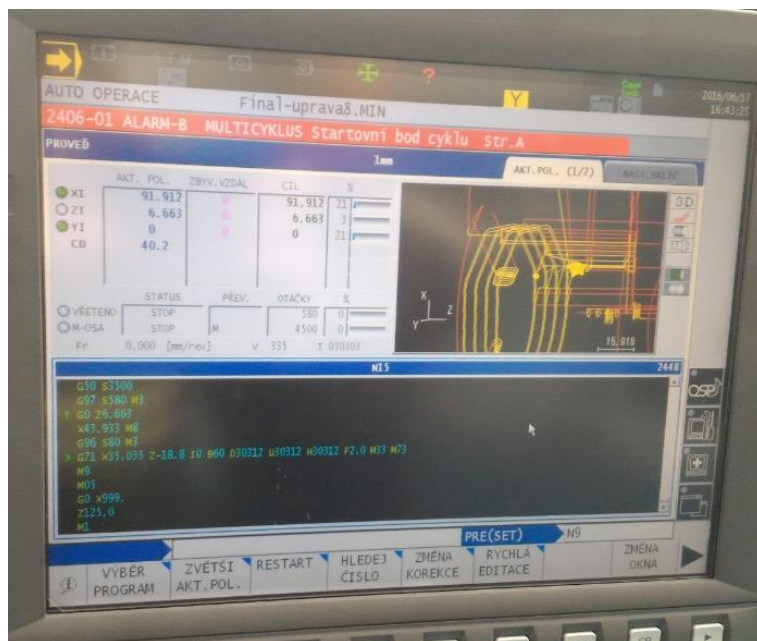
Obr. 19: 2. chybová hláška

V tomto případě byla oprava velice jednoduchá, stačilo dopsat před funkci kruhové interpolace G02 nastavení pracovní roviny Y-Z G19. Tato funkce je hned na začátku úseku, nicméně některá z dalších funkcí G/M vrátila nastavení na výchozí, tedy G17.



Obr. 20: 2. chybová hláška - oprava

Třetí chybová hláška byla 2406 -01 ALARM-B MULTICYKLUS Startovní bod cyklu, při závitovacím cyklu.



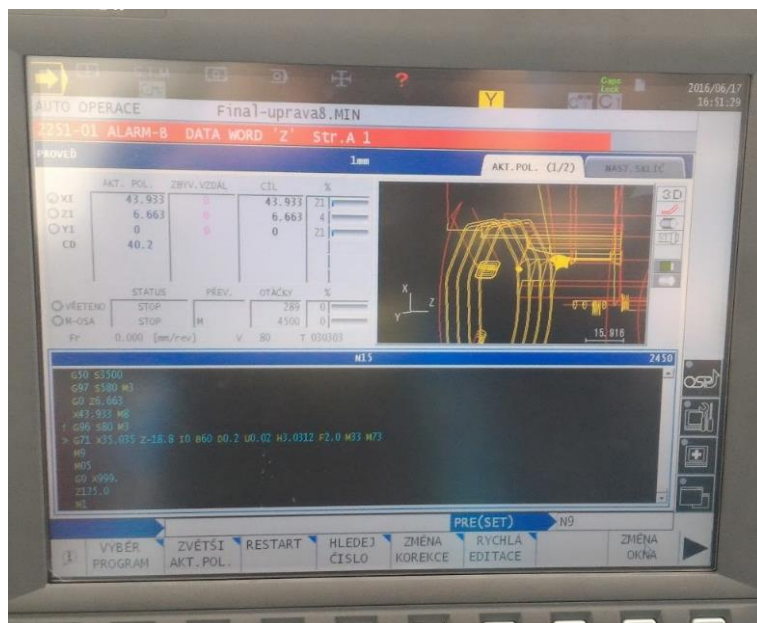
Obr. 21: 3. chybová hláška

Tady byly špatně nedefinované parametry závitovacího cyklu. Musely se přepsat parametry D z 303012 na D0,2, což je hloubka třísky v prvním záběru závitovacího cyklu, U z 30312 na U0,2, což je hloubka poslední třísky závitovacího cyklu, H z 30312 na H3,0312, což je výška závitů.



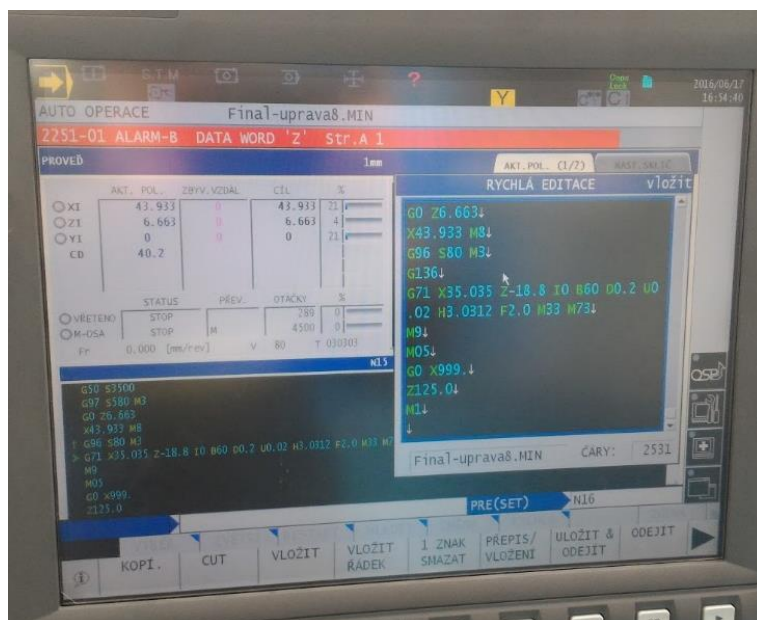
Obr. 22: 3. chybová hláška – oprava

I když závitovací cyklus byl již opraven, simulace stále neproběhla, objevila se chybová hláška 2251-01 ALARM-B DATA WORD 'Z'.



Obr. 23: 4. chybová hláška

Řešením této chyby bylo před závitovací cyklus napsat konec přepočtu souřadnice Y G136.



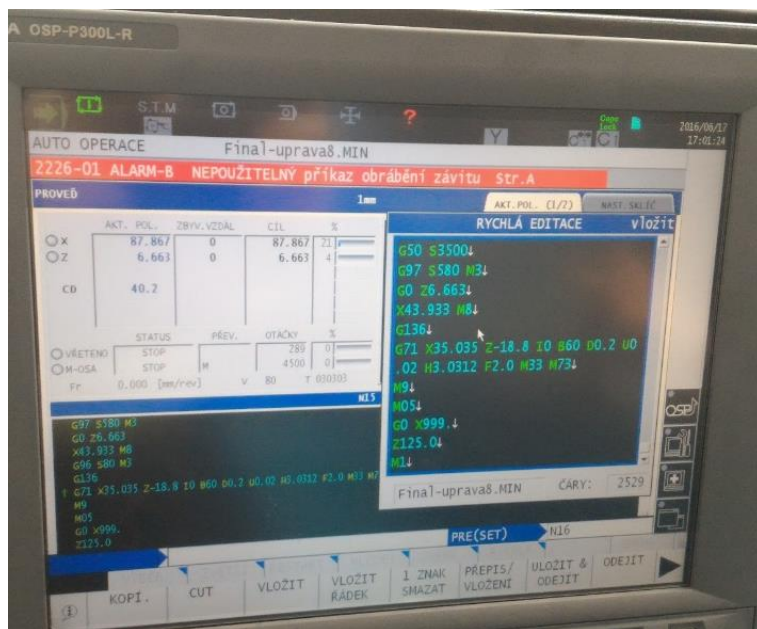
Obr. 24: 4. chybová hláška – oprava

Následující chyba se stále týkala závitu, tentokrát se jednalo o 2226-01 ALARM-B NEPOUŽITELNÝ příkaz obrábění závitu Str.A



Obr. 25: 5. chybová hláška

Problém byl v zapnutí konstantní rezné rychlosti 80 m/min G96 S80 M3, při řezání závitu nesmí být zapnutá. Řešení této chyby bylo smazání řádku G96 S80 M3.



Obr. 26: 5. chybová hláška – oprava



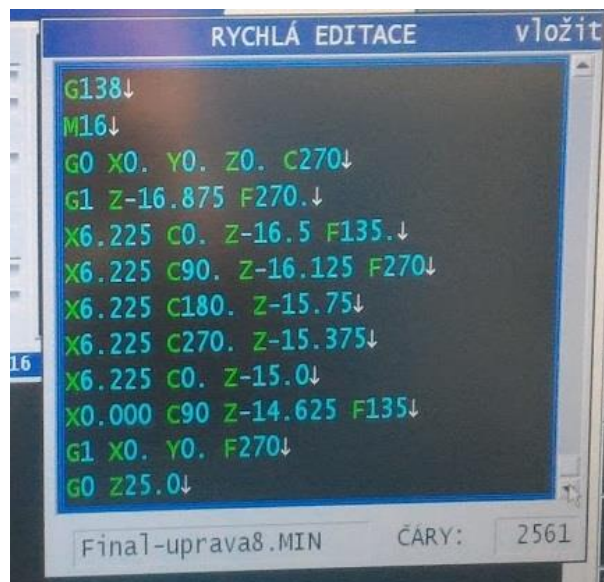
Následující chybová hláška byla opět 2251-01 ALARM-B DATA WORD 'Z', tentokrát při frézování závitu.



Obr. 27: 6. chybová hláška

Tutu chybovou hlášku se nedařilo dlouhou dobu vyřešit. Nakonec se ukázalo, že v řídicím systému soustruhu není opce pro pohyb nástroje po šroubovici. Tento problém se tedy vyřešil lineární interpolací os Z a C.

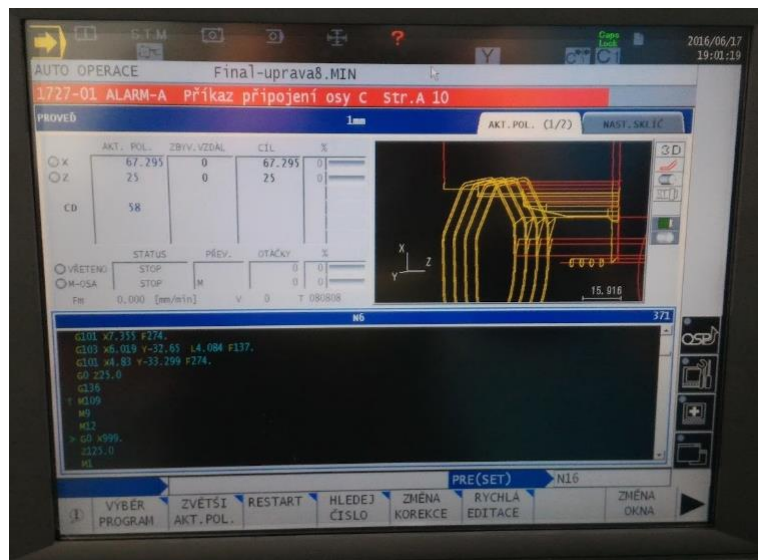
```
G138
M16
G0 X0 Y0 Z0 C270
G1 Z-16.875 F270
X6.225 C0 Z-16.5 F135
X6.225 C90 Z-16.125 F270
X6.225 C180 Z-15.75
X6.225 C270 Z-15.375
X6.225 C0 Z-15.0
X0.0 C90 Z-14.625 F135
G1 X0 Y0 F270
G0 Z25
```



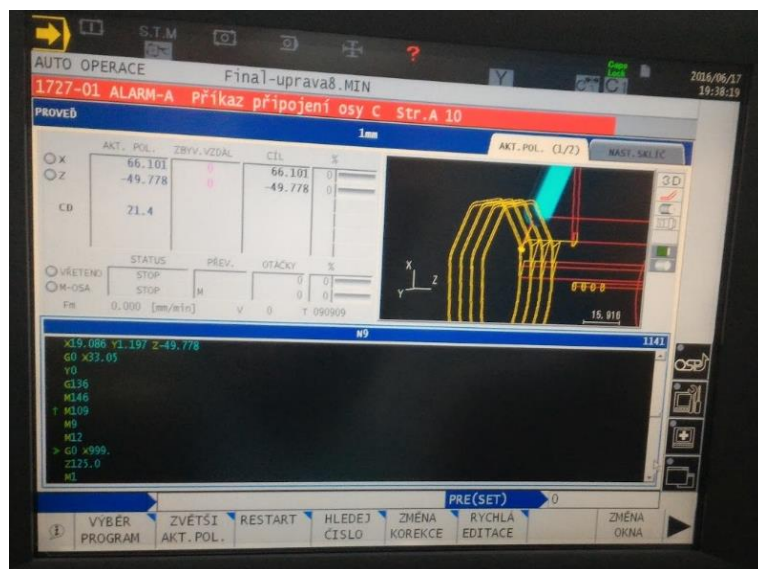
Obr. 28: 6. chybová hláška – oprava

Touto poslední úpravou doběhla simulace do svého konce. Než jsem spustil program „na ostro“, spustil jsem běh programu v režimu Dry run, který místo simulace skutečně jezdí danou dráhu nástrojů, avšak se neobrábí, neboť není upnutý obrobek v čelistech (čelisti upnuly součást, ale ta byla schovaná uvnitř sklíčidla). Soustruh v tomto režimu tzv. obrábí vzduch.

K mému překvapení se objevila další chybová hláška. A to konkrétně 1727-01 ALARM-A Příkaz připojení osy C. Tato chyba se vyskytla při dokončení osmihranu a při frézování kulové plochy.

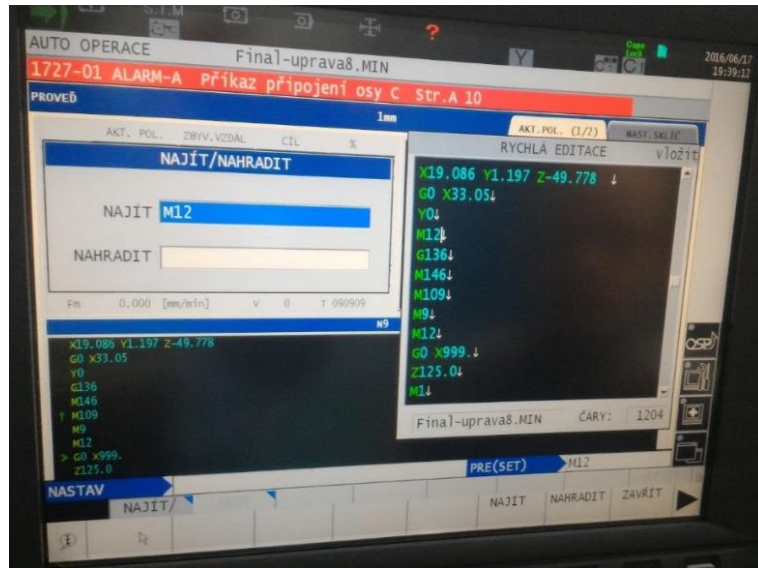


Obr. 29: 7. chybová hláška – 1. v Dry run



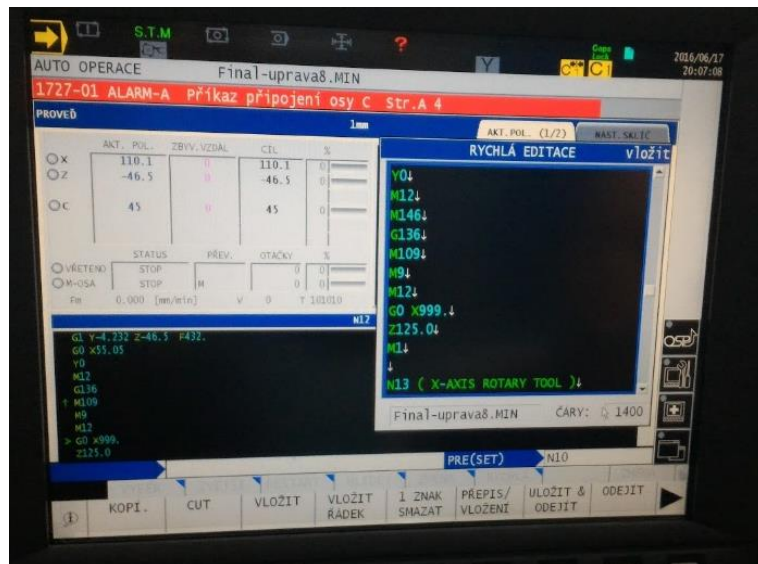
Obr. 30: 8. chybová hláška – 2. v Dry run

Řešením bylo dopsání zastavení včetně poháněných nástrojů M12 ještě před M146. M12 je v programu, ale je až jako poslední z M funkcí.



Obr. 31: 7. a 8. chybová hláška – oprava

Tato chybová hláška se objevila ještě jednou a to při frézování drážky na osmihranu, tady byla funkce M12 sice hned jako první, ale pro změnu chyběla funkce uvolnění osy C M146.



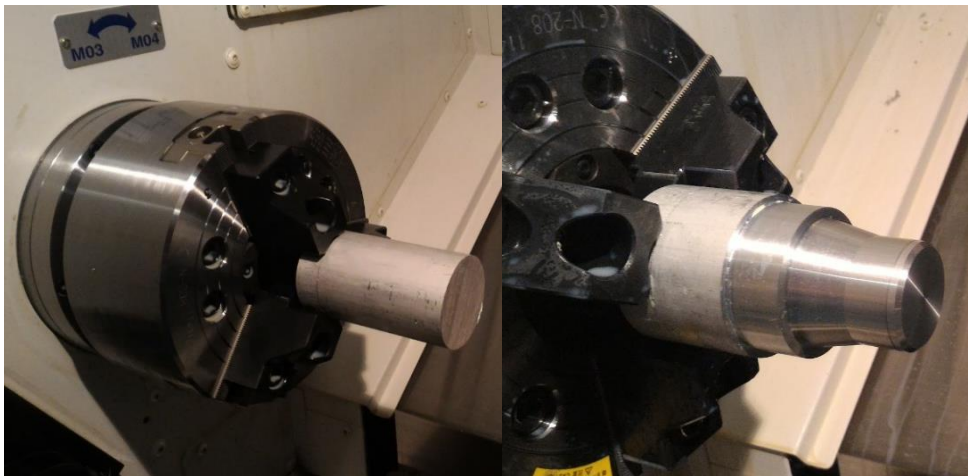
Obr. 32: 9. chybová hláška – 3. v Dry run - oprava

Po této opravě doběhl i Dry run do úspěšného konce a tudíž bylo možno upnout polotovary do čelistí a začít obrábět.

## 5.2 Výroba testovací součásti

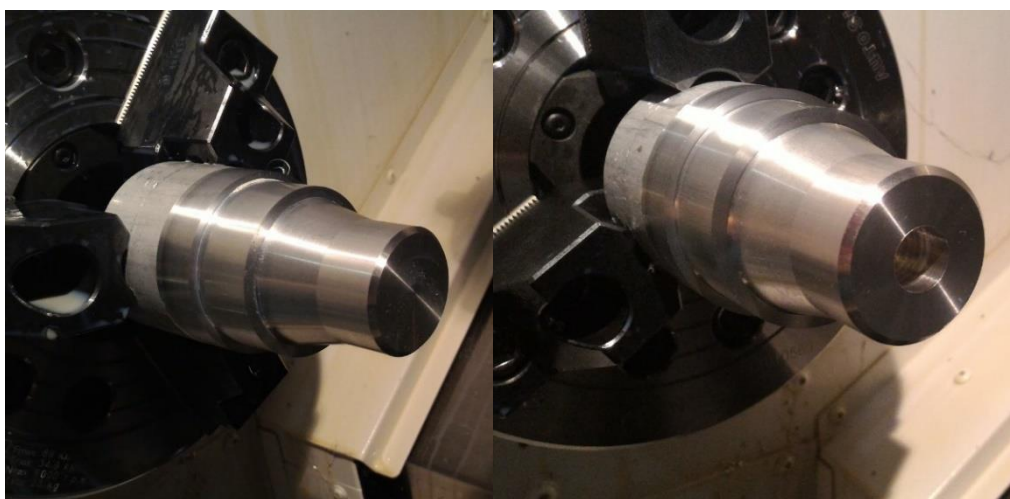
Materiál byl použit dle zadání a to konkrétně letecký hliník o průměr 60 mm a délce 110 mm. Výroba je zdokumentována po každé operaci (úseku).

Začalo se upnutím polotovaru, následovalo hrubování a dokončení vnější kontury vnějším soustružnickým nožem.



Obr. 33: Upnutí polotovaru ve sklíčidle

Obr. 34: Hrubování vnější kontury

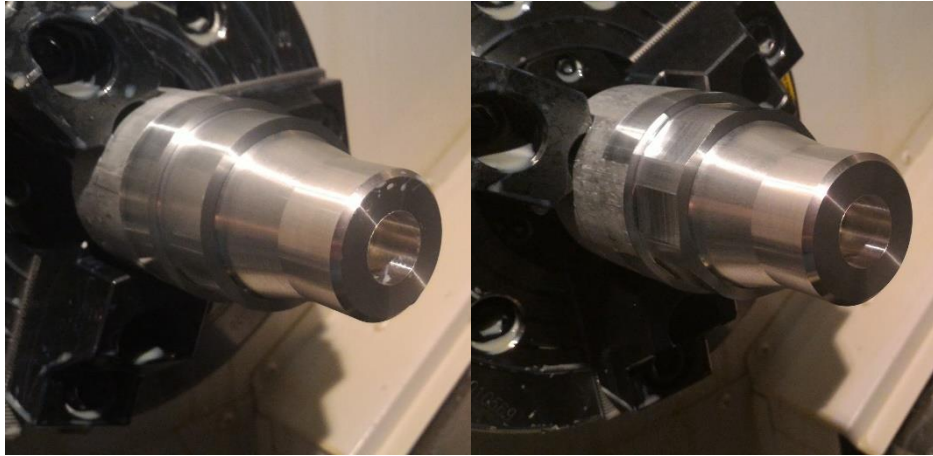


Obr. 35: Dokončení vnější kontury

Obr. 36: Vrtání díry

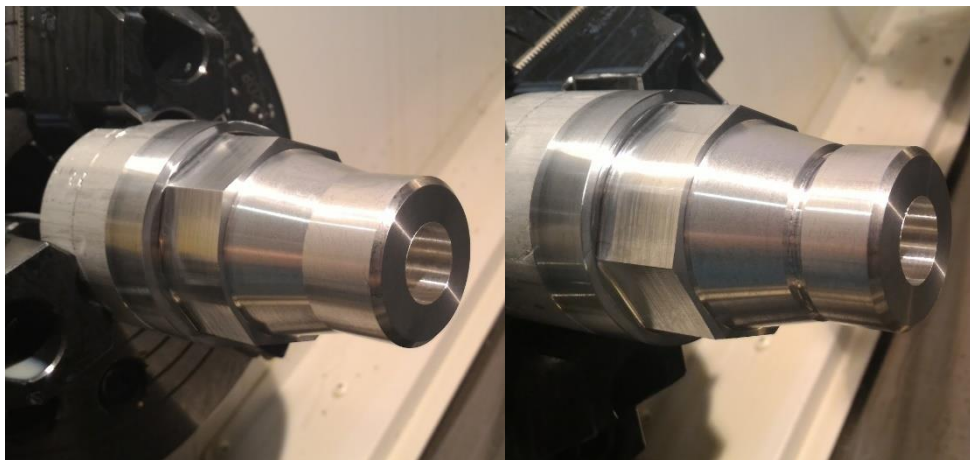
Všechno proběhlo bez problémů. Pak přišlo na řadu frézování díry, hrubování a dokončení osmihranu se zaoblením. To provedla fréza s osou rotace Z a průměrem 14,58 mm.





Obr. 37: Dokončení díry

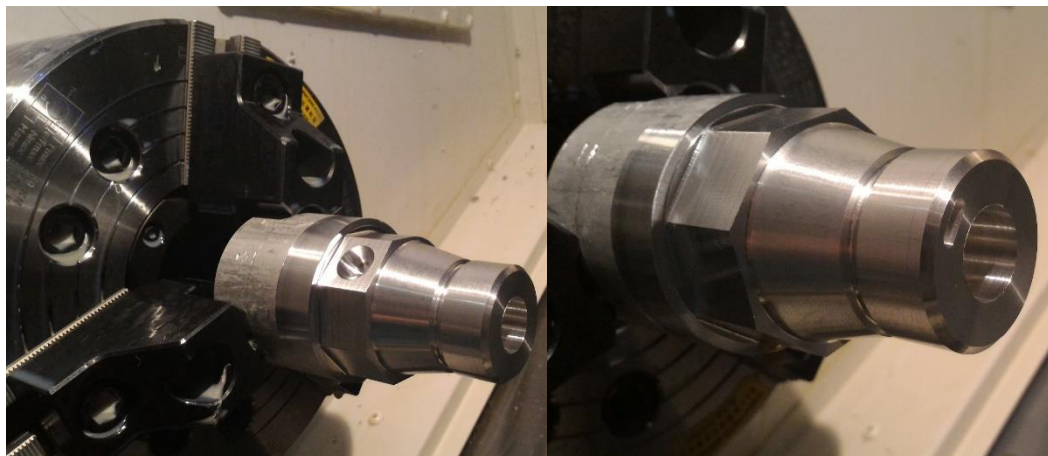
Obr. 38: Hrubování osmihranu



Obr. 39: Dokončení osmihranu

Obr. 40: Zápich

Následně se soustružil zapichovacím nožem zápich za závitem. Dále přišlo na řadu frézování prvků umístěných na součástce. Nejdříve se frézovala kulová kapsa frézou s osou rotace X a průměrem 11,54 mm, poté byly zhotoveny čelní drážky, které jsou frézovány válcovou frézou s osou rotace Z a průměrem 3 mm.

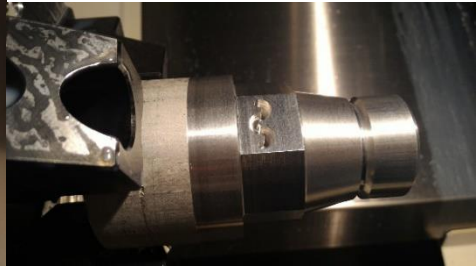


Obr. 41: Kulová kapsa

Obr. 42: Čelní drážka



*Obr. 43: Druhá čelní drážka*



*Obr. 44: Drážka na osmihranu*

Jakmile se vyrobily čelní drážky, výroba pokračovala frézováním po obvodu součástky. To obstarala fréza s osou rotace X a průměrem 3 mm.

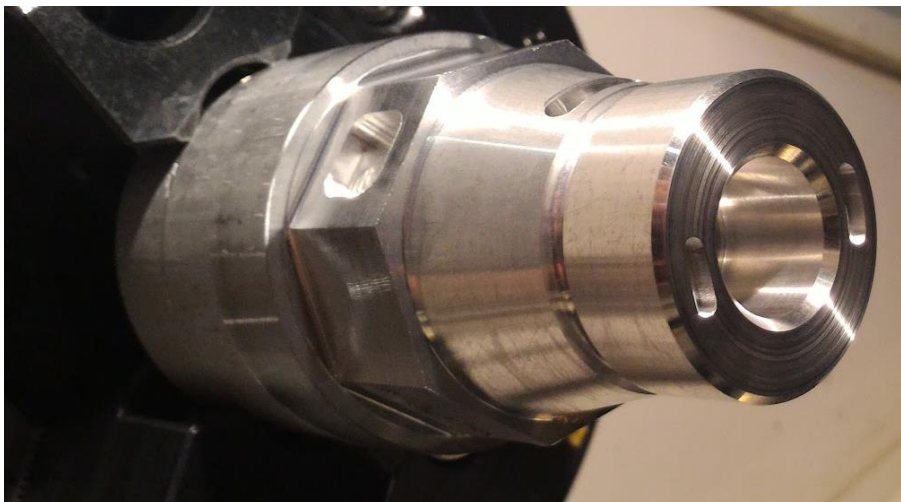


*Obr. 45: Čtvercová kapsa*



*Obr. 46. Drážka na kuželové ploše*

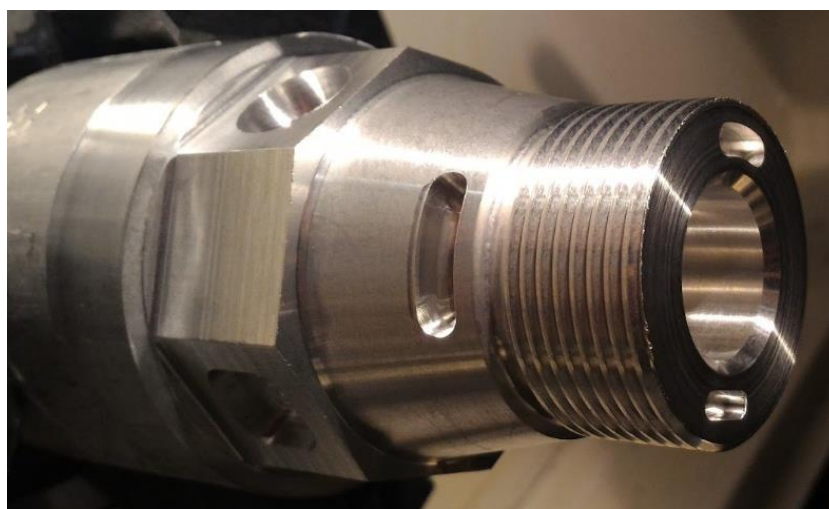
Frézování kulovou frézou s osou rotace X a průměrem 4 mm na kuželové ploše bylo z hlediska výrobního času zcela nejdelší operací. Následovalo sražení hrany mezi čelem a dírou.



*Obr. 47: Vnitřní sražení*

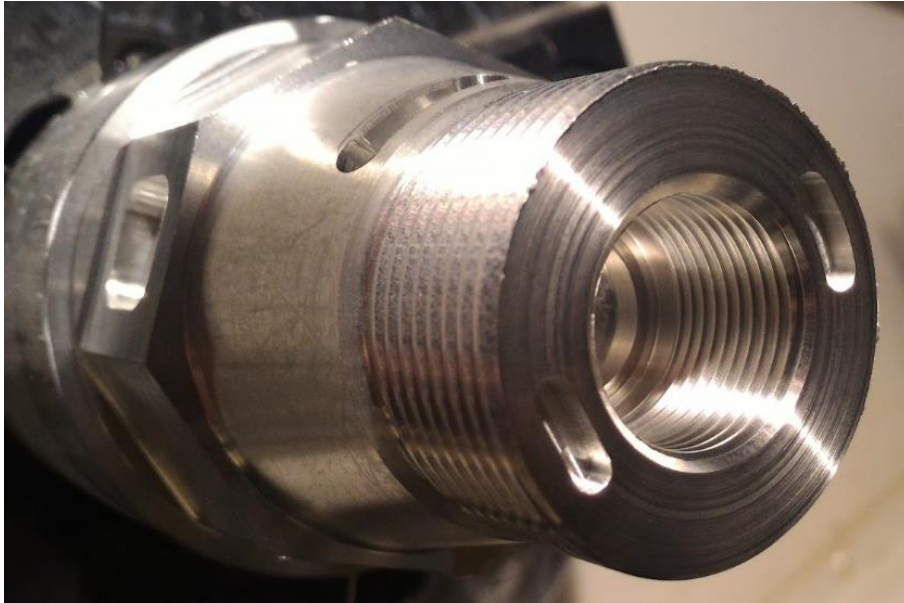
Bohužel při obrábění sražení mezi dírou a čelem součásti byla v programu zapnutá osa Y. Původně byl v programu naprogramován průměr 18 mm. Zapnutá osa Y způsobila, že se sražení začalo obrábět na průměru 36 mm. Protože při zapnuté ose Y je souřadnice X poloměrem a při vypnuté ose Y je souřadnice X průměrem. V okamžiku, když jsem si všiml, že nástroj zajel do materiálu, bylo už pozdě. V programu chyběl příkaz G136, který vypíná osu Y.

Po doplnění chybějící funkce G136 se pokračovalo ve výrobě. Zbývalo vyrobít už jen vnější závit pomocí závitovacího nože a následně vnitřní závit pomocí hřebinkové frézy.



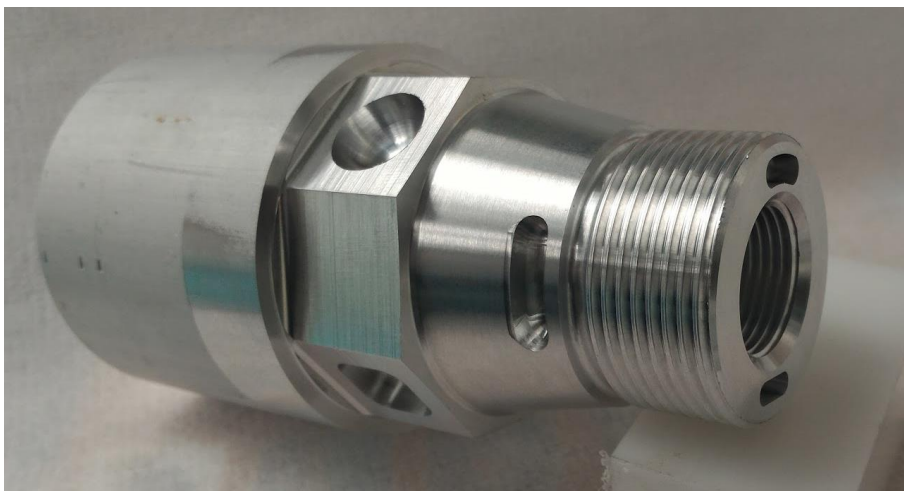
*Obr. 48: Vnější závit*





*Obr. 49: Vnitřní závit*

Vzhledem k tomu, že na součásti chyběl přibližně 1 mm z čela součástky, tak bylo potřeba celou součástku vyrobít znovu. Výroba druhého kusu proběhla bez problémů a byla zrealizována mnohem rychleji. Protože program byl již jednou ověřen a nebylo potřeba kontrolovat, jestli někde nehrozí kolize.



*Obr. 50: Druhá součást*

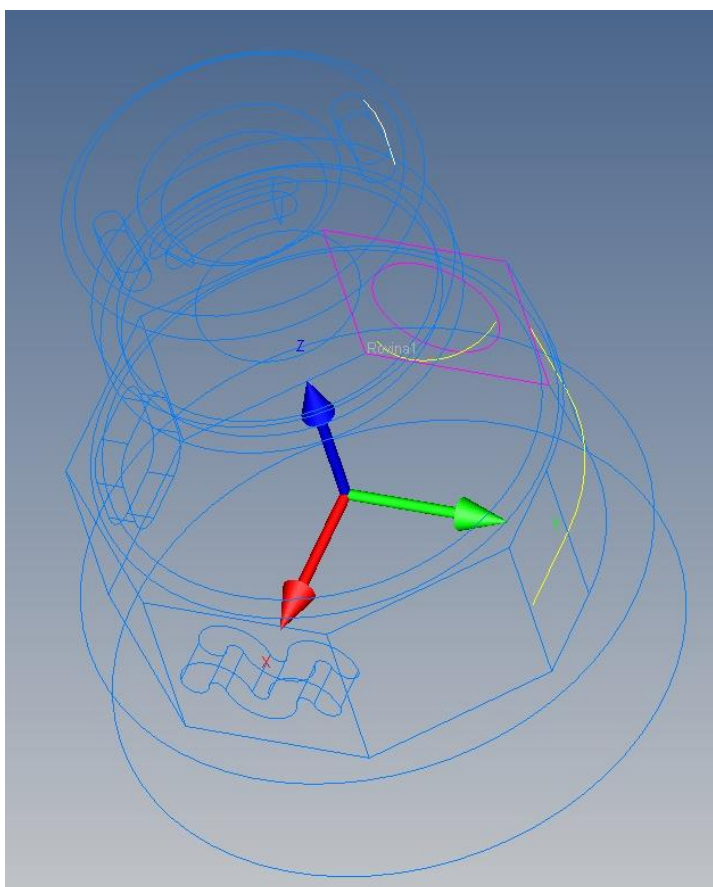
Po úspěšném vyrobení druhého kusu, jsem oba vyrobené kusu nechal změřit v metrologické laboratoři na Ústavu technologie obrábění, projektování a metrologie.

### 5.3 Měření testovací součástky

Měření bylo provedeno na souřadnicovém měřicím přístroji Prismo od firmy ZEISS a vyhodnoceno v programu Calypso. Toto měření provedl Ing. Vladimír Šulc, protože já nemám potřebné znalosti k tomuto měření.

Všechny změřené prvky se vešly do volných tolerancí podle ISO 2768 mk.

Měření začalo určením počátku souřadnic, to se určilo na základě několika prvků. Nejdříve je určená osa symetrie dvou protilehlých rovin na osmihranu. První je rovina s kulovou plochou a druhá je s drážkou. Další prvek je osa kuželové plochy a třetí prvek je osa středu kulové plochy.



*Obr. 51 počátek souřadného systému*

Absolutně největší chyba je 0,1904 mm, tato chyba je na drážce na osmihranu. Jedná se o součet minimální 0,0970 mm a maximální 0,0934 mm odchylky. Při použití metody nejmenších čtverců, tedy odstraněním chyby polohy, se chyba sníží na 0,0823 mm. Přičemž minimální odchylka je -0,0284 mm a maximální je 0,0539 mm.

Protokoly z měření jsou v příloze.

Označení	Vysvětlení	Maximální odchylka [mm]
Úhel kužele_Kužel1	Úhel stoupání kuželové plochy	0,0312
Průměr_Kužel1	Průměr kuželové plochy hned za zápichem	-0,0912
X hod._Rovina1	X souřadnice roviny s kulovou plochou	0,0118
X hod._Rovina2	X souřadnice roviny s drážkou na osmihranu	-0,0051
X hod._Koule1	X souřadnice středu kulové plochy	0,0594
Y hod._Koule1	Y souřadnice středu kulové plochy	0,1813
Průměr_Koule1	Průměr kulové plochy	-0,0951
Proj.úhel 1-_Rovina3	Úhel natočení roviny s čtvercovou kapsou	0,0024
Y hod._Rovina3	Y souřadnice roviny se čtvercovou kapsou	0,0125
Proj.úhel 1-_Rovina4	Úhel natočení roviny, která je umístěna na osmihranu a není na ní žádný další prvek. Tato rovina leží mezi rovinami s kulovou plochou a čtvercovou kapsou	0,0023
Proj.úhel 1-_Rovina5	Úhel natočení roviny, která je umístěna na osmihranu a není na ní žádný další prvek. Tato rovina leží mezi rovinou s drážkou a vedle zaoblení osmihranu	0,0024
Proj.úhel 1-_Rovina6	Úhel natočení roviny, která je umístěna na osmihranu a není na ní žádný další prvek. Tato rovina leží mezi rovinami s čtvercovou kapsou a drážkou	-0,0012
Y hod._Rovina7	Y hodnota roviny na dně čtvercové kapsy	0,0505
Typ křivky1	Čtvercová kapsa	0,1286
Typ křivky2	Drážka na osmihranu	0,1904
Typ křivky3	Čelní drážka do oblouku	0,0908
Typ křivky4	Čelní drážka rovná	0,1424
Typ křivky5	Zaoblení na osmihranu	0,0482
Bod1_Z	Čelo osmihranu	0,0923
Bod2_Z	Konec osmihranu	-0,0846
Vzdálenost1_Z	Rozdíl na konci osmihranu mezi soustružením a frézováním	0,1090
Rovina8_Z	Vzdálenost roviny čela součástky v ose Z	-0,0728

Obr. 52 Označení prvků z protokolu

Protože souřadnicový měřicí přístroj není primárně určen k měření závitů, vynechalo se měření závitů. Dále se nezměřila drážka na kuželové ploše, neboť nebyl k dispozici dostatečně malý dotyk.

## 6. Závěr

Na základě osobních zkušeností s výrobou součástky se domnívám, že postprocessor pro SW FeatureCAM není v současném stavu vhodný pro ostré nasazení. Pokud by se používal pouze pro běžné soustružení, tak lze postprocessor považovat za vyhovující. Jakmile by se měl ale soustružit závit, postprocessor je zcela nevhodný pro použití.

Důvodem je, že vygenerovaný kód obsahoval tři chyby, se kterými nebylo možné závit vyrobit. Hned první chyba, která se objevila, je zcela fatální, neboť postprocessor zcela špatně spočítal parametry pro výrobu závitu. Konkrétně spočítal parametry D, U, H ve výši 30312. Místo tohoto výsledku mělo být u parametru H 3,0312. Parametr D značí hloubku první třísky, takže 30312 mm hloubka první třísky je naprostý nesmysl. Obdobně u parametru U, který označuje hloubku poslední třísky, je rovněž nesmyslem, aby byla 30312 mm. Dále se objevují chyby, kdy chybí vypnutí nebo zapnutí některé funkce řídicího systému a občas je špatný „slovosled“.

Je ovšem možné, že postprocessor je optimalizovaný na stroj se všemi opcemi. V takovém případě existuje možnost, kterou jsem však nemohl ověřit, že chyby ve slovosledu nebo chybějící funkce problémem nejsou. Ale ani na stroji se všemi opcemi je nemožné vyrobit pomocí soustružení závit, neboť výpočty jsou chybné.

Některé chyby mohly být způsobeny i tím, že mezi dobou pořízení postprocessoru a výrobou součásti došlo k upgradu řídicího systému.

Během tvorby partprogramu ve FeatureCAMu docházelo k tomu, že napsal, že není možné generovat dráhy nástroje. Bohužel nenapsal proč, takže nastala situace, kdy jsem byl nucen zkoušet jednotlivé možnosti metodou pokus omyl.

Při tvorbě partprogramu se objevily problémy při použití nástrojové korekce. Konkrétně při frézování se zapnutou korekcí postprocessor generoval dráhy stále pro střed nástroje.

Další problém v SW FeatureCAM vidím v 3D simulaci, která i při nejnižší nastavené rychlosti na mém notebooku z roku 2012, běžela velice rychle, a proto je problematické sledovat pohyb nástroje. Tady pomohlo přepnout notebook do režimu úspory baterie, kdy procesor i grafická karta nepracují naplno.

Byl jsem překvapený, že po dokončení simulace na stroji a pak při následném režimu Dry Run, se soustruh zastavil a napsal další chybovou hlášku. Očekával jsem, že po bezproblémovém dobehnutí simulace, program proběhne již bez chybových hlášek.

Na druhou stranu jsem spokojen s přesností výroby. Rovněž importování modelu a následné počítání souřadnic nepředstavují žádný problém. Přesnost výpočtů je dostačující.

Výroba součástky mohla být ještě o něco přesnější. Pokud bych změřil průměr rotačních nástrojů přesnějším měřidlem, než je digitální posuvné měřítko.



## Seznam použité literatury a zdrojů

- [1] *Postprocesor - slabé místo CAM systémů?* - kód článku: 050451, článek publikovaný v MM: 2005/4, 13.04.2005, rubrika Informační technologie / CAD/CAM/CAE, str. 46, dostupné na: <http://www.mmspektrum.com/clanek/postprocesor-slabe-misto-cam-systemu.html>, cit. [2016-04-16]
- [2] Seminář z technologie 2, zimní semestr školního roku 2015/2016, ČVUT
- [3] *Úvod do programování* - dostupné na [http://www.mefi.cz/files/dokumentace/cnc8x9/navodkprogramovani/kapitola\\_1.pdf](http://www.mefi.cz/files/dokumentace/cnc8x9/navodkprogramovani/kapitola_1.pdf), cit. [2016-06-26]
- [4] *FeatureCAM: cad cam systém pro frézování, soustružení a edm* – firemní prezentace, dostupné na <http://www.delcam.cz/produkty/featurecam/>, cit. [2016-06-26]
- [5] *Okuma Genos L200E-MY* – firemní prezentace, dostupné na <http://www.misan.cz/okuma/katalog-detail/genos-l200e-my-okuma-genos-l200e-my/?viewpart>, cit. [2016-04-16]
- [6] *Japonská OKUMA a její přínos ekologii ve výrobě CNC strojů* – článek publikovaný v Technickém týdeníku 01.01.2006, dostupné na [http://www.technickytydenik.cz/rubriky/archiv/japonska-okuma-a-jeji-prinos-ekologii-ve-vyrobe-cnc-stroju\\_16665.htm](http://www.technickytydenik.cz/rubriky/archiv/japonska-okuma-a-jeji-prinos-ekologii-ve-vyrobe-cnc-stroju_16665.htm), cit. [2016-04-30]
- [7] *Solid Edge ST8* – firemní prezentace, dostupné na [http://www.plm.automation.siemens.com/cz\\_cz/products/solid-edge/](http://www.plm.automation.siemens.com/cz_cz/products/solid-edge/), cit. [2016-04-30]

- [8] TRČKA, Vojtěch. *Aplikace CAD/CAM softwaru Edgecam při obrábění*. Brno: Vysoké učení technické v Brně. Bakalářská práce, Fakulta strojního inženýrství, 2010. 48 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Aleš Polzer, Ph.D., dostupné na [https://www.vutbr.cz/www\\_base/zav\\_prace\\_soubor\\_verejne.php?file\\_id=27398](https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=27398), cit. [2016-04-30]

## **Seznam příloh**

Příloha 1 – Protokoly z měření v laboratoři metrologie