



# VÝROBA FUNKČNÍHO CELKU NA CNC OBRÁBĚCÍM CENTRU

## Bakalářská práce

*Studijní program:* B2301 – Strojní inženýrství  
*Studijní obor:* 2301R000 – Strojní inženýrství  
*Autor práce:* **Martin Ševic**  
*Vedoucí práce:* Ing. Petr Keller, Ph.D.



## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Martin Ševic**  
Osobní číslo: **S13000646**  
Studijní program: **B2301 Strojní inženýrství**  
Studijní obor: **Strojní inženýrství**  
Název tématu: **Výroba funkčního celku na CNC obráběcím centru**  
Zadávací katedra: **Katedra výrobních systémů a automatizace**

### Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

Cílem práce je připravit výrobu součástí navrženého funkčního celku na soustružnicko-frézovacím obráběcím centru Mazak Integrex 100-IV s využitím CAD/CAM systému EdgeCAM. Dále pak pro jednotlivé součásti na tomto centru odladit NC programy a součásti vyrobit s ohledem na dodržení přesnosti výroby.


1. Seznamte se s technologickými možnostmi obráběcího centra Mazak Integrex 100-IV. Navrhněte výrobní postup jednotlivých součástí na tomto centru na co nejmenší počet upnutí materiálu.
2. Proveďte rozbor dostupných funkcí v CAD/CAM systému EdgeCAM pro operace soustružení a frézování s ohledem na navržený postup obrábění.
3. Realizujte technologii obrobení jednotlivých součástí pomocí vhodně vybraných funkcí v CAD/CAM systému EdgeCAM, proveďte simulaci obrobení, kontrolu kolizí a vygenerujte NC programy.
4. Seřídte potřebné nástroje a polohu polotovaru v pracovním prostoru stroje Mazak Integrex 100-IV, odladte vytvořené programy a součásti vyrobte, zkontrolujte jejich rozměry a případně proveďte korekce rozměrů (nástrojů). V takovém případě vyrobte součásti znovu, aby jejich rozměry odpovídaly původní dokumentaci a sestava byla smontovatelná a funkční.

Rozsah grafických prací: **dle potřeby**  
Rozsah pracovní zprávy: **cca 35 stran**  
Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**  
Seznam odborné literatury:

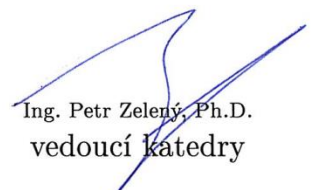
- [1] **KELLER, P.** *Programování a řízení CNC strojů: Prezentace přednášek.* Liberec: TU v Liberci, 2005. 2. část.  
[2] **NEXNET.** *První kroky s Edgecam.* [CD]. Kroměříž: Nexnet, 2012.  
[3] **YAMAZAKI MAZAK CORPORATION.** *Integrex IV.* Japan: Yamazaki Mazak corp., 2005.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Petr Keller, Ph.D.**  
Katedra výrobních systémů a automatizace

Datum zadání bakalářské práce: **6. března 2015**  
Termín odevzdání bakalářské práce: **6. června 2016**

  
prof. Dr. Ing. Petr Lenfeld  
děkan



  
Ing. Petr Zelený, Ph.D.  
vedoucí katedry

V Liberci dne 6. března 2015

## Prohlášení

Byl jsem seznámen s tím, že na mou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé bakalářské práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li bakalářskou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím mé bakalářské práce a konzultantem.

Současně čestně prohlašuji, že tištěná verze práce se shoduje s elektronickou verzí, vloženou do IS STAG.

Datum: 3.7.2015

Podpis: 

## **Poděkování**

Chtěl bych poděkovat vedoucímu bakalářské práce Ing. Petru Kellerovi, Ph.D. za jeho vstřícný přístup, odborné rady a cenné připomínky při řešení problémů.

## **Abstrakt**

Bakalářská práce se zabývá postupem výroby navrženého funkčního celku s využitím CAD/CAM systému EdgeCAM. Zaměřuje se na realizaci návrhu jednotlivých částí modelu, vypracování výrobního postupu a následné výroby součástí na soustružnicko-frézovacím obráběcím centru Mazak Integrex 100-IV. V práci je obsažen stručný popis hřídelových spojek, CNC strojů a základních operací v systému EdgeCAM. V další části je popsán postup výroby součástí navrženého modelu a následné zhodnocení přesnosti vyrobených součástí.

## **Klíčová slova**

CAD/CAM systému EdgeCAM, CNC obrábění, Oldhamova spojka, NC program.

## **Abstract**

This thesis deals with the process of producing a functional unit designed using CAD/CAM software EdgeCAM. It focuses on the realization of the design of individual model parts, the development of the production process and the following production of components using turning-milling shaping center Mazak Integrex 100-IV Integrex 100-IV. The thesis contains a brief description of shaft couplings, CNC machines and basic operations of EdgeCAM. The next section describes the production of parts of the model and following evaluation of the manufactured components precision.

## **Key words**

CAD/CAM system EdgeCAM, CNC shaping, Oldham coupling, NC program.

# Obsah

<b>1 Úvod.....</b>	<b>8</b>
<b>2 Cíl práce .....</b>	<b>8</b>
<b>3 Teoretická část.....</b>	<b>9</b>
3.1 Hřídelové spojky.....	9
3.2 Oldhamova spojka .....	10
<b>4 CNC stroje .....</b>	<b>11</b>
4.1 Obecně o CNC strojích.....	11
4.1.1 Obráběcí centrum MAZAK Integrex 100-IV .....	11
4.2 Programování CNC strojů .....	13
4.2.1 Souřadný systém CNC strojů .....	13
4.2.2 Definice vztažných bodů .....	13
4.2.3 Korekce nástrojů.....	14
4.2.4 Nastavení nulového bodu obrobku.....	14
<b>5 CAD/CAM systém EdgeCAM.....</b>	<b>16</b>
5.1 Režim DESIGN .....	16
5.2 Režim TECHNOLOGIE.....	17
5.2.1 Soustružení .....	18
5.2.2 Frézování .....	18
5.3 Simulace a NC kód .....	19
<b>6 Praktická část .....</b>	<b>20</b>
6.1 Postup výroby modelu .....	20
6.2 Návrh a tvorba součástí .....	20
6.3 Výrobní postup .....	22
6.3.1 Hnací a hnaná hřídel .....	22
6.3.2 Křížový kotouč .....	23

6.3.3	Bočnice .....	24
6.3.4	Klika .....	25
6.4	Simulace obrábění .....	26
6.5	Vygenerování programů pro CNC .....	27
<b>7</b>	<b>Výroba součástí modelu.....</b>	<b>28</b>
7.1	Průběh výroby dílů spojky.....	28
7.1.1	Hřidel.....	28
7.1.2	Střední kotouč.....	29
7.1.3	Bočnice .....	30
7.1.4	Klika .....	31
7.2	Celkové zhodnocení sestavy.....	32
<b>8</b>	<b>Závěr.....</b>	<b>33</b>
	<b>Použitá literatura .....</b>	<b>35</b>
	<b>Příloha.....</b>	<b>37</b>
	<b>Seznam zkratek .....</b>	<b>38</b>
	<b>Seznam obrázků .....</b>	<b>38</b>



# 1 Úvod

V dnešní době se práce v systémech CAD/CAM a CNC obrábění stávají velmi důležitou součástí výroby, ne jenom ve strojírenství. Stále více podniků zavádí CNC obráběcí centra do výrobních procesů, k čemuž jsou motivováni silným konkurenčním prostředím, zvýšenou produktivitou práce, a to s mnohem menšími náklady na výrobu.

CNC obrábění umožňuje výrobu i tvarově složitých součástí, které nelze na konvenčních strojích vyrobit. Mezi další výhody NC/CNC strojů se řadí vyšší přesnost na rozdíl od konvenčních strojů, velká úspora časů při výrobě, nevyžadují náročnou kontrolu.

Nevýhodou však jsou vysoké pořizovací náklady strojů i nástrojů, výdaje na měřicí techniku a manipulační zařízení. Další nevýhodou je nutnost specializovaných pracovníků pro tvorbu NC programů.

## 2 Cíl práce

Cílem práce je připravení výroby součástí navrženého funkčního celku na soustružnicko-frézovacím obráběcím centru Mazak Integrex 100-IV s využitím CAD/CAM systému EdgeCAM. Dále pak pro jednotlivé součásti na tomto centru odladit NC programy a součásti vyrobit s ohledem na dodržení přesnosti výroby.

Seznámení s technologickými možnostmi obráběcího centra Mazak Integrex 100-IV a navržení výrobního postupu jednotlivých součástí na tomto centru na co nejmenší počet upnutí materiálu. Provést rozbor dostupných funkcí v CAD/CAM systému EdgeCAM pro operace soustružení a frézování s ohledem na navržený postup obrábění. Realizování technologie obrobení jednotlivých součástí pomocí vhodně vybraných funkcí v CAD/CAM systému EdgeCAM, provedení simulace obrobení, kontrola kolizí a vygenerování NC programů. [16]

Seřízení potřebných nástrojů a polohy polotovaru v pracovním prostoru stroje Mazak Integrex 100-IV, odladění vytvořených programů a vyrobení součástí. Kontrola jejich rozměrů a případné provedení korekce rozměrů (nástrojů). V takovém případě vyrobit součásti znovu, aby jejich rozměry odpovídaly původní dokumentaci a sestava byla smontovatelná a funkční.

### 3 Teoretická část

Na výrobu byl zvolen mechanismus Oldhamovy spojky, na které lze demonstrovat různé způsoby obrábění, včetně vyšších nároků na přesnost jejích částí při výrobě.

#### 3.1 Hřídelové spojky

Hřídelové spojky slouží k přenášení krouticího momentu mezi vstupním a výstupním hřídelem. Spojky jsou schopny tlumit rázy a vibrace, umožňují vyrovnat nepřesnosti při montáži, zajišťují plynulý rozběh stroje. Slouží jako ochrana stroje před přetížením, kdy dojde k přerušení přenášeného krouticího momentu. U strojních zařízení se využívají v situacích, kdy je zapotřebí hřídele za chodu nebo klidu přerušit a opět spojit. Spojky lze využít při řazení, zastavení nebo při rozjíždění. [1]

Hřídele mohou mít osy mimoběžné, různoběžné nebo totožné, což vede k velkému množství druhů spojek. Spojky mají tři základní členy - hnací, hnaný a spojovací člen umístěný mezi nimi. [1]

Dle způsobu přenosu krouticího momentu lze spojky rozdělit na mechanicky ovládané a mechanicky neovládané, které mohou přenášet moment buď silovým, nebo tvarovým stykem. Přenos momentu silovým stykem se uskutečňuje třením, při tvarovém styku se všechny části spojky pohybují jako celek a vůči sobě se nepohybují. Dále se hřídelové spojky dělí na elektrické, hydraulické a elektromagnetické. [1, 4, 19]

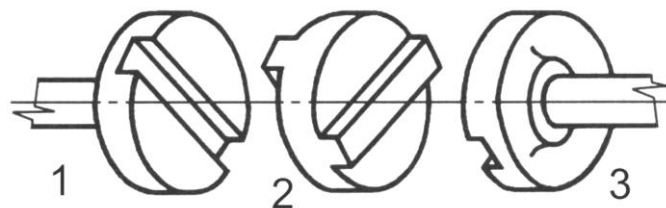
Spojky mechanicky ovládané umožňují spojit a rozpojit hřídele za klidu i za chodu. Z funkčního hlediska se dělí na výsuvné, pojistné, rozběhové a volnoběžné spojky. Naopak spojky mechanicky neovládané, které rozpojení hřídelů za chodu neumožňují, se dělí na spojky pružné, pevné a vyrovnávací. [1, 19]

Některé spojky kromě přenosu krouticího momentu dovolují i montážní nepřesnosti, vychýlení os hřídelů, nesouosost nebo posuv v ose vlivem teplotní roztažnosti. Pevné spojky mají hřídele souosé bez dalšího posuvu v ose (např. spojky kotoučové nebo korýtkové), naopak vyrovnávací spojky dovolí posuv hřídele v ose (např. zubová, kloubová, korýtková, křížová Oldhamova spojka). Používají se pro přenášení menších krouticích momentů, kde vložený střední člen zajišťuje jejich souosost. [1, 4]

### 3.2 Oldhamova spojka

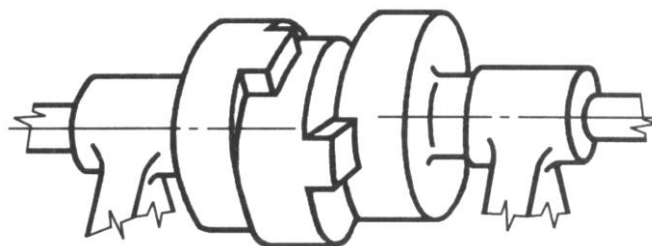
Oldhamovy spojky se též říká radiální spojka s křížovým kotoučem. Používá se pro spojování rovnoběžných hřídelů, které jsou nesouosé. Vyrovnává vychýlení v radiálním i axiálním směru. Pro správnou funkci spojky je nezbytná vysoká přesnost výroby. Nejčastější použití je u obráběcích strojů. [1, 3]

Spojka se skládá z hnacího (1) a hnaného (3) členu, které bývají obvykle stejné a ze středního křížového kotouče (2) s výstupky zapadajícími do vybrání obou členů spojky (Obr. 1). Doporučené uložení výstupků a vybrání je H8/f8.



Obr. 1: Oldhamova spojka – 1. hnací člen, 2. střední člen, 3. hnaný člen [20]

Při otáčení hřídelů koná středový kotouč planetový pohyb (zasouvá se a vysouvá). V drážkách kotoučů dochází ke vzniku smykového tření, proto se spojka musí dobře mazat (Obr. 2). [4]



Obr. 2: Oldhamova spojka v záběru [20]

## 4 CNC stroje

### 4.1 Obecně o CNC strojích

CNC výrobní stroje pracují na principu ovládání pracovních a pomocných funkcí prostřednictvím vytvořeného programu. Program je souborem alfanumerických znaků, přesněji posloupností oddělených skupin znaků, kterým se říká bloky nebo věty. [5]

Silové prvky CNC strojů jsou tímto programem řízeny tak, aby pracovní operace stanovené pro výrobu součástí, proběhly ve stanoveném pořadí dle NC kódu. Provoz strojů probíhá v automatizovaném cyklu, zajištěném číslicovým řízením. Ve strojírenství je jejich uplatnění prakticky neomezené s tím, že nejpoužívanější variantou jsou CNC soustruhy a CNC frézky. [14]

Program obsahuje tyto instrukce: [11]

- **geometrické** – dráhy nástroje, dané rozměry obráběné součásti, způsob obrábění součásti, popis pohybu nástroje k obrobku a od obrobku; dráhy jsou popsány kartézskými souřadnicemi, rozměry převzaty z výrobní dokumentace
- **technologické** – upřesňují postup obrábění, volbu nástrojů, řezné podmínky (řezná rychlost, otáčky, posuv, tloušťka třísky)
- **pomocné** – povely pro využití pomocných funkcí stroje (počet otáček vřetene a jejich směr, zapnutí chlazení)

Obráběcí stroje musí být v takovém technickém stavu, aby splňovaly požadavky na požadovanou přesnost výroby uvedenou v technické dokumentaci obráběné součásti. Důležitá je nejen rozměrová přesnost, ale i geometrická a samozřejmě také záleží na kruhové interpolaci a házivosti vřetene při jeho rotaci.

#### 4.1.1 Obráběcí centrum MAZAK Integrex 100-IV

Obráběcí centrum Mazak Integrex 100-IV (Obr. 3) patří mezi vysoce produktivní stroj s moderními technologiemi. Lze na něm soustružit, frézovat, brousit i měřit. Velkou výhodou je schopnost obrobit na jedno upnutí i velmi složité součásti. [5, 7]



Obr. 3: Stroj Mazak Integrex 100-IV

Stroj je vybaven řídicí jednotkou Mazatrol Matrix (Obr. 4), která nabízí velké výhody v oblasti kvality, produktivity a obsluhy stroje. Program je tvořen přímo v dialogovém okně řídicího systému Mazatrol Matrix, který spolupracuje se softwarem CAD/CAM, nebo ho lze vytvořit na PC. Pak se nahraje do systému stroje, provede se kontrola drah nástrojů pomocí jednoduché simulace. [12]

Součástí modelu této bakalářské práce jsou vyrobeny na tomto obráběcím centru firmy Mazak, model 100-IV.



Obr. 4: Ovládací panel řídicího systému Mazatrol Matrix

## 4.2 Programování CNC strojů

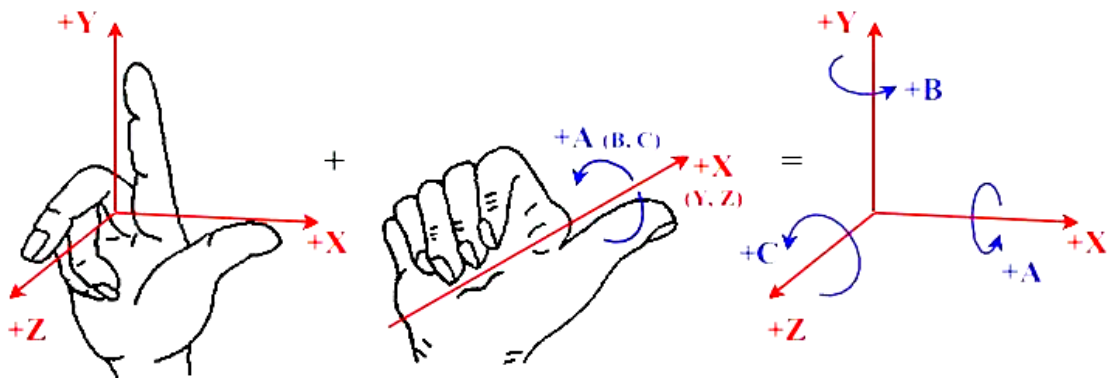
Než se začne vytvářet program pro NC stroj, je nutné provést nastavení stroje, které spočívá v několika bodech. Nejdříve je nutné definovat souřadný systém stroje, vztažné body stroje, provést korekce nástrojů a zavést polohy nulového bodu obrobku. [5, 10]

### 4.2.1 Souřadný systém CNC strojů

Jednoznačné určení souřadných os stroje je nezbytnou podmínkou pro zadávání drah nástrojů. Souřadný systém vychází z norem ČSN ISO Terminologie os a pohybu, za počátek je brán přesně stanovený nulový bod. [5]

Stroje pro výrobu využívají pravotočivý kartézský souřadný systém, kladný směr os je dán pravidlem pravé ruky (Obr. 5). Osa rovnoběžná s osou vřetene je osa Z, kladný směr pak probíhá od obrobku k nástroji. Nástroj, který se pohybuje vůči obrobku, má kladný smysl otáčení. [5]

Pohyby rotace kolem os X, Y, Z jsou A, B, C. Kladný smysl přímočarého i rotačního pohybu je i zde určen pravidlem pravé ruky.



Obr. 5: Pravotočivý souřadný systém [5]

### 4.2.2 Definice vztažných bodů

Pro určení vzájemné polohy nástroje a obrobku v prostoru obráběcího stroje, v pracovním prostředí stroje, jsou definovány vztažné body, podle kterých lze určit a kontrolovat polohu nástroje [5].

Rozeznáváme několik vztažných bodů: [5]

**M - NULOVÝ BOD STROJE** – je brán za počátek souřadného systému, je stanoven výrobcem stroje a nelze měnit

**W - NULOVÝ BOD OBROBKU** – polohu obrobku definuje programátor, je počátkem souřadnice obrobku. Lze ho kdykoliv změnit

**N - NULOVÝ BOD DRŽÁKU** – k němu se vztahují rozměry všech nástrojů, je stanoven výrobcem stroje

**P - NULOVÝ BOD NÁSTROJE** – odsud začíná pohyb nástroje, soustružnický nůž má bod na teoretické špičce nože, u rotačního nástroje je bod na čele nástroje, v jeho ose

**R - REFERENČNÍ BOD** – po zapnutí stroje slouží k nalezení počátku souřadného systému, jeho poloha je dána výrobcem

#### 4.2.3 Korekce nástrojů

Při obrábění jednoho obrobku je možné použít i více nástrojů, proto je třeba při každé výměně nástroj změřit a hodnoty uložit do tabulky korekcí. Rozměry nástrojů se provádí k nulovému bodu držáku nástroje. Hodnoty z tabulky slouží k provedení korekcí nástrojů na stroji, změření a seřízení nástrojů, a to pro soustružnický nůž a pro frézu. Následuje seřízení nástrojů na stroji. [5, 6, 10]

Nástroj se měří „měřícím okem“ v několika režimech: [5]

**MDI** - vyvolat nástroj, který chceme změřit, včetně jeho korekce

**HOME** - použít příkaz „měřící oko vyklopit“

**RAPID** - najet špičkou nástroje na měřící dotek „měřícího oka“

**RAPID** - změřit požadované hodnoty nástroje

**HOME** - odjet nástrojem do výchozí „home“ pozice

**HOME** - použít příkaz „měřící oko zaklopit“

#### 4.2.4 Nastavení nulového bodu obrobku

Za nulový bod se zvolí počátek souřadného systému obrobku, do kterého se přesune počátek souřadného systému stroje, od kterého se odvozují všechny souřadnice

v programu. Nulový bod při soustružení se nastavuje na čelo obrobku, posouvá se pouze v ose Z. U frézování se nastavuje na roh polotovaru, případně do jeho středu – posouvají se všechny souřadnice X, Y, Z. Při tvorbě programu se považuje obrobek za pevný, a pohyby vůči němu koná nástroj. [5, 10, 18]

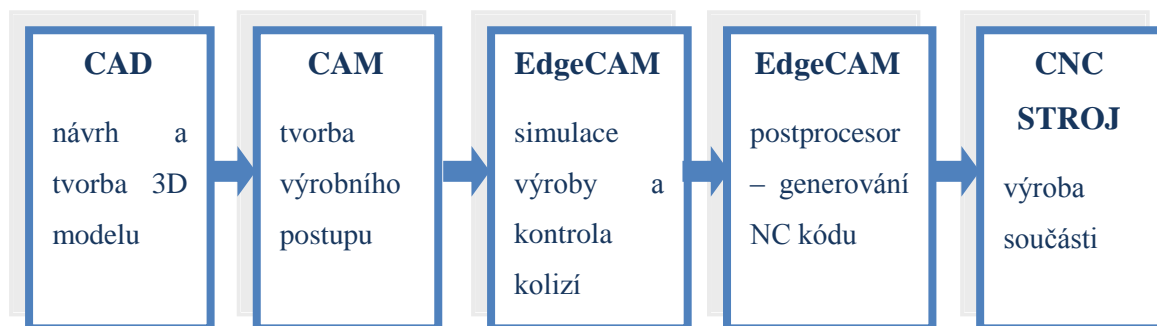


## 5 CAD/CAM systém EdgeCAM

EdgeCAM je systém pro počítačovou podporu obrábění, který umožňuje vytvářet programy pro soustružnické, frézovací a soustružnicko-frézovací stroje. Jedná se o software pro strojírenství, jehož výstupem je vytvoření obráběcích programů pro CNC stroje. [2, 9]

Program obsahuje geometrické a technologické údaje o součásti, které popisují obráběcí postup pomocí adres. Simulace v EdgeCAM umožňuje úplné ověření obrábění s virtuálním zobrazením celého stroje nebo jen jeho částí, čímž se zlepšují podmínky pro kontrolu obrábění a odstranění kolizí. Tím se zajišťuje optimalizace procesu, zvyšuje se celková produktivita CNC strojů a snižuje výrobní čas při obrábění. Postprocessor nastavený pro daný obráběcí stroj vygeneruje NC kód, který se převede do systému CNC stroje a vyrobí se naprogramovaná součást. [5, 11, 17]

Postup výroby součásti v CAD/CAM systémech lze chápat jako souhrn činností, které probíhají od počátečního návrhu výrobku, až po konečnou výrobu, jejímž výsledkem je konkrétní výrobek (Obr. 6). [17]



Obr. 6: Postup výroby součásti v CAD/CAM systémech

### 5.1 Režim DESIGN

Systém EdgeCAM má dva základní režimy činnosti, DESIGN a TECHNOLOGIE. Po otevření programu se automaticky aktivuje režim DESIGN pro vytváření a úpravy modelů. [8]

Práce režimu DESIGN obsahuje několik kroků: [8, 13, 14, 15]

1. Otevření souboru a import CAD dat (modelu) do prostředí EdgeCAM, ve formátu Step.
2. Osy souřadného systému stroje jsou označeny barevně, osa **X – červeně**, osa **Y – zeleně**, osa **Z – modře**. Pro soustružení se používá souřadný systém ZX a pro frézování XY.
3. Orientace modelu do souřadného systému stroje tak, aby jeho osa rotace byla totožná s osou vřetene Z. Z menu *Modely – Polohovat pro soustružení* vybereme rotační plochu modelu pro určení osy rotace a čelní plochu pro určení počátku souřadného systému.
4. Vytvoření polotovaru pomocí menu *Geometrie – Polotovar/Upínka*, zobrazí se tabulka, do které zadáme poloměr a tvar (válec) polotovaru. Nadefinujeme jeho délku pomocí dvou bodů, a to číselným zadáním souřadnic do tabulky vyvolané pomocí kláves Z nebo Y nebo X. Například Z [1; 0], X [-60; 0], tím se vytvoří drátový model polotovaru.
5. Rozpoznání útvarů – obráběcímu stroji musíme označit hranice mezi kterými je nástroj v záběru. První hranicí je obrys modelu a druhou obrys polotovaru. Pro určení použijeme menu *Modely – Rozpoznat útvary*. Do zobrazené tabulky nastavíme soustružnické útvary, pro usnadnění další práce v záložce soustružení zaškrtneme všechny možnosti. Označíme profil modelu pro soustružení, kde se nám po potvrzení okolo součásti vytvoří šedou barvou profil.

Z CAD části, kde byly vytvořeny hranice pro pohyby nástrojů (rozpoznané útvary a polotovar) můžeme přejít do režimu TECHNOLOGIE, kde se vytvoří jednotlivé dráhy nástrojů pro obrábění součásti.

## 5.2 Režim TECHNOLOGIE

Do režimu TECHNOLOGIE se dostaneme z menu *Nastavení – Technologie*. Při prvním spuštění musíme vyplnit údaje o stroji. V zobrazené tabulce je třeba zadat profesi soustružení, postprocesor odpovídající typu stroje (Integrex) a hodnotu výstupní tolerance. V záložce *Soustruh* nastavíme vzdálenost polotovaru od nulového bodu stroje a vysunutí před upínač, v záložce *Nastavení upínače* zadáme průměr polotovaru.

Zobrazí se virtuální stroj s modelem obrobku a polotovarem. Pro lepší přehled stroj skryjeme a necháme zobrazit pouze jeho upínače. [8, 13]

Postprocessor je nutno zvolit podle typu používaného stroje, protože se tím připojí k obrábění vlastnosti daného NC stroje a zobrazí obrábění podle jeho možností. Podle zvoleného postprocessoru se vytvoří i výsledný řídicí kód stroje (NC program).

### 5.2.1 Soustružení

Pro soustružení máme nastaven souřadný systém os ZX. Je určeno pro vytváření drah fiktivního soustružnického nástroje podle geometrie modelu. Práce režimu TECHNOLOGIE – přehled základních funkcí pro *soustružení* závisí na vyráběné součásti: [8]

1. Menu *Nástroje* – Ze zásobníku nástrojů se zvolí soustružnický nástroj.
2. Menu *Pohyby* – *Rychloposuv* se najede k obrobku.
3. Menu *Soustružení* – vybere se další volba podle požadavku na obrábění, *Hrubování na profil*, *Dokončení dle profilu*, *Hrubovat zápich*, *Dokončit zápich*, *Obrábění děr*, provádí se již vybraným nástrojem.
4. Menu *Pohyby* – *Do výměny*, kdy nástroj je přemístěn do místa k výměně.
5. Zvolí se opět nástroj a proces se opakuje.

### 5.2.2 Frézování

Pro frézování nastavíme souřadný systém os axiálně XY. [8] Práce režimu TECHNOLOGIE – přehled základních funkcí pro *frézování* závisí na vyráběné součásti:

1. Menu *Nástroje* – Ze zásobníku nástrojů se zvolí frézovací nástroj.
2. Menu *Pohyby* – *Rychloposuv* se najede k obrobku.
3. Menu *Frézování* – vybere se další volba podle požadavku na obrábění, *Frézovat čelo plochy*, *Hrubování*, *Profilování*, *Drážka*, *Obrábění děr*, provádí se již vybraným nástrojem.
4. Menu *Pohyby* – *Do výměny*, kdy nástroj je přemístěn do místa k výměně.
5. Zvolí se opět nástroj a proces se opakuje.

### 5.3 Simulace a NC kód

Graficko-simulační zobrazovací systém umožňuje při tvorbě postupu výroby odhalit zdroje možných kolizí v pracovním prostoru obráběcího stroje. Odladění programu spočívá v simulaci obrábění, kde se porovná vložený model s tvarem fiktivního obrobku na obrazovce a upozorní na nesrovnalosti v zobrazení.

Nelze objektivně simulovat upínání obrobku a řezné podmínky. Nastavené řezné podmínky v programu (otáčky, posuv, hloubka třísky) při pohybu nástroje na obrazovce nezobrazí skutečný proces obrábění jako na reálném stroji.

Pokud dojde ke kolizi, která může zapříčinit poškození nástroje, obrobku, případně některé části stroje, je zapotřebí příčiny odstranit. To může být způsobeno např. špatnou volbou obrábění nebo špatně zvoleným technologickým parametrem (rychloposuv, pracovní posuv, řezné podmínky). [17]

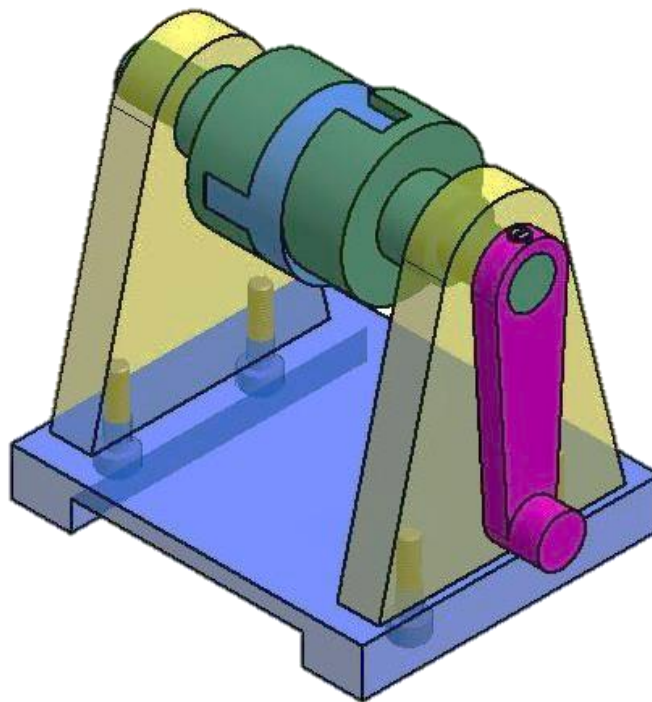
Ukázka zobrazení pohybu nástroje v prostoru se stala velmi užitečným nástrojem odstraňující rizika možné kolize nástroje a obrobku a tím i jejich poškození. Umožňuje podrobně sledovat krok po kroku proces obrábění včetně aktuální polohy nástroje a řezných podmínek.

## 6 Praktická část

V této části bakalářské práce se budu zabývat rozborem a postupem výroby navrženého funkčního celku, který slouží jako ukázkový model. Jedná se o sestavu Oldhamovy spojky, která demonstruje spojení rovnoběžných nesouosých hřídelů s malým přesazením os.

### 6.1 Postup výroby modelu

Výrobní celek se skládá ze sedmi součástí (Obr. 7). Hlavní části sestavy tvoří hřídele hnací a hnaná, spojené křížovým kotoučem. Ostatní části jsou pomocné, aby bylo možné sestavit funkční model. Podstavec se vyrábět nebude.



Obr. 7: Sestava funkčního celku

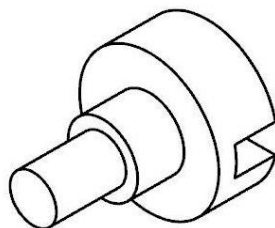
Velikost součástí a materiály byly voleny s ohledem na možnosti výroby v dílnách CNC strojů TU Liberec, na soustružnicko-frézovacím centru Mazak Integrex 100-IV (Obr. 3).

### 6.2 Návrh a tvorba součástí

3D modely jednotlivých součástí byly navrženy a vytvořeny v CAD softwaru Autodesk Inventor Professional 2014. Pro použití v CAD/CAM systému EdgeCAM

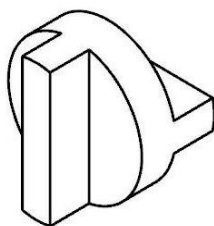
bylo nutné exportovat modely do souborů s příponou *step*. Následně byly z modelů vytvořeny výkresy, které jsou přiloženy k bakalářské práci.

1. **HNACÍ A HNANÁ HŘÍDEL** – jedná se o dvě totožné součásti. Hřídel je odstupňována o celkové délce 30 mm a největším průměrem 24 mm. V tomto průměru je drážka o šířce 5 mm a hloubce 7,2 mm (Obr. 8). Jako materiál je použit dural.



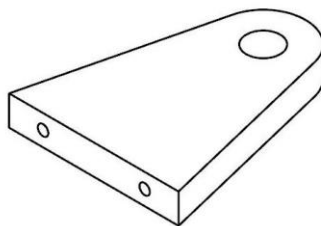
Obr. 8: Hřídel

2. **KŘÍŽOVÝ KOTOUČ** – je válec o průměru 24 mm a délce 20 mm. Na obou koncích má výstupky, které jsou vzájemně pootočené o 90° (Obr. 9), je vyroben z polyoxymetylen (POM).



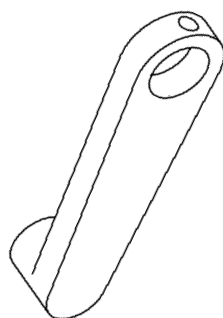
Obr. 9: Křížový kotouč

3. **BOČNICE** – jsou vyrobeny dvě, mají stejný tvar, liší se pouze v rozměrech (o 2 mm), aby byla zajištěna nesouosost hřídelů. Na spodní části mají dva závitové pro přípevnění na základní desku pomocí šroubů. Maximální šířka je 42 mm a výška 52 mm. Jsou vyrobeny z duralu (Obr. 10).



Obr. 10: Bočnice

4. **KLIKA** – o maximální délce 45mm a šířce 9 mm. Na vrchní části je vytvořen závit pro uchycení kliky k hnacímu hřídeli. Je také vyrobena z duralu (Obr. 11).



Obr. 11: Klika

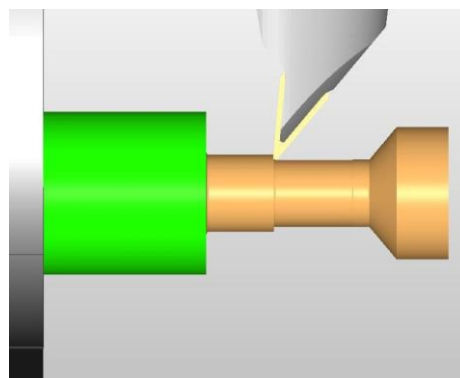
### 6.3 Výrobní postup

Výrobní postup jednotlivých součástí je vytvořen v CAD/CAM systému EdgeCAM, který má dostupné funkce a nástroje již přizpůsobeny obráběcímu centru Mazak Integrex 100-IV, na kterém se součásti vyrobily. Všechny výrobky jsou zhotoveny na jedno upnutí, popsány jsou postupy pro každou součást.

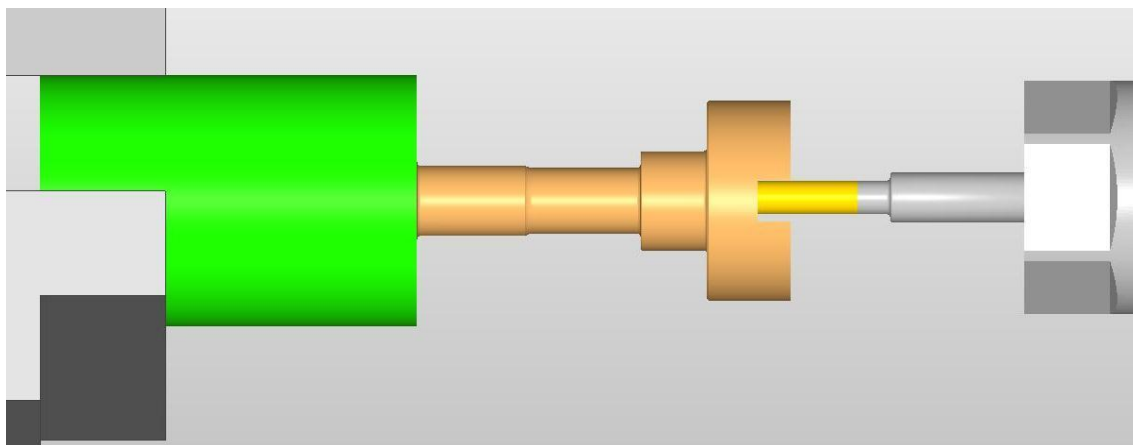
#### 6.3.1 Hnací a hnaná hřídel

Na výrobu hřídele se použila jako polotovar duralová tyč o  $\varnothing$  30 mm a délce 50 mm, provedly se následující pracovní úkony:

1. upnout polotovar do sklíčidla
2. zarovnat čelo
3. hrubovat profilu
4. hrubovat kout
5. dokončit tvar načisto
6. hrubovat drážku
7. dokončit drážku načisto
8. upíchnout hotový díl



Obr. 12: Hrubování profilu

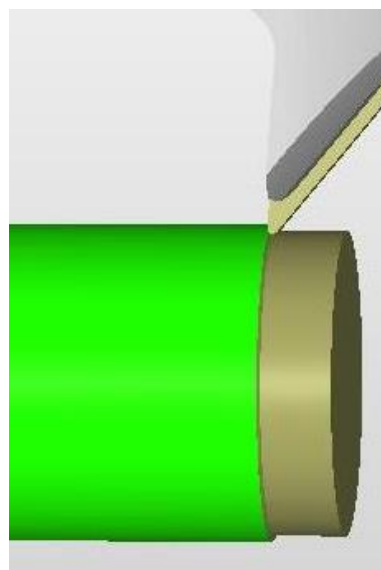


Obr. 13: Hrubování drážky

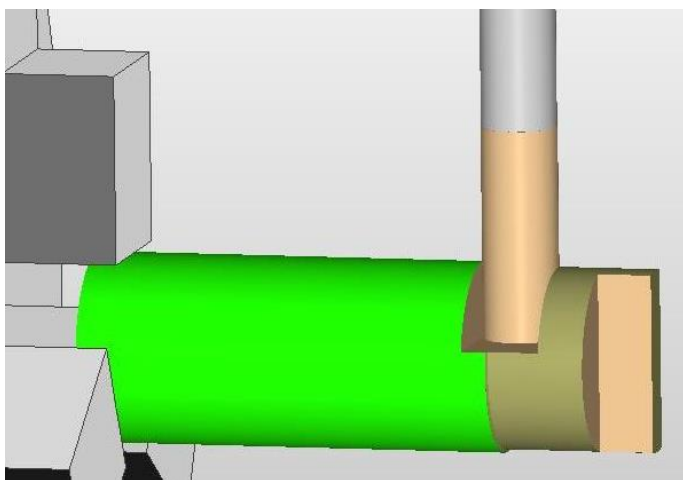
### 6.3.2 Křížový kotouč

Na výrobu křížového kotouče se použil polotovar o  $\varnothing$  25 mm, délce 30 mm a provedly se následující pracovní úkony:

1. upnut polotovar do sklíčidla
2. zarovnat čelo
3. obrobit průměr načisto
4. profilovat vnější výstupek načisto
5. profilovat vnitřní výstupek načisto
6. upíchnout hotový díl

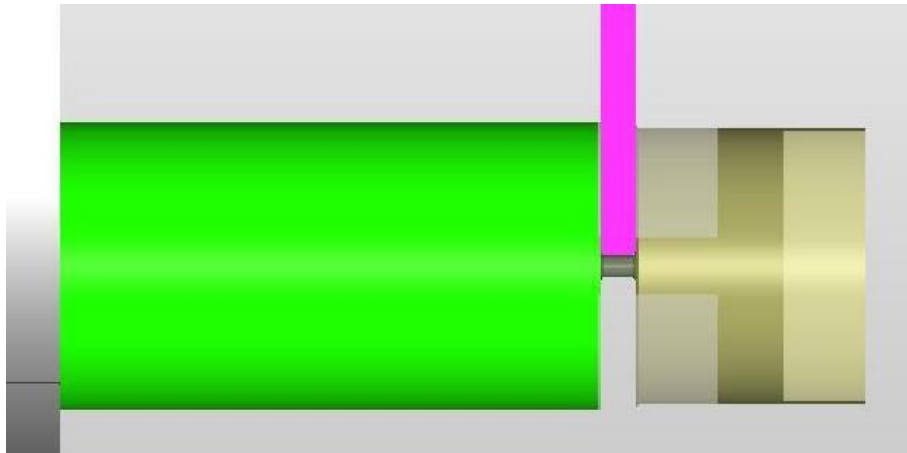


Obr. 14: Hrubování na profil



Obr. 15: Profilování drážky



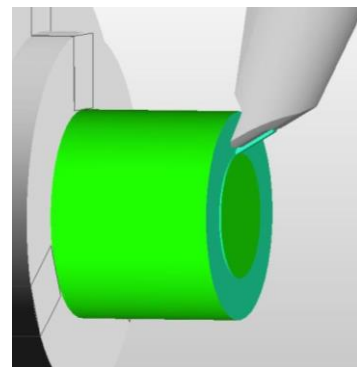


Obr. 16: Upíchnutí hotového dílu

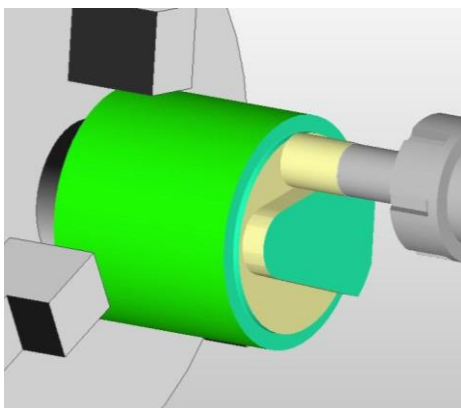
### 6.3.3 Bočnice

Na výrobu bočnice se použil polotovár o  $\varnothing 70$  mm, délky 17 mm a provedly se následující pracovní úkony:

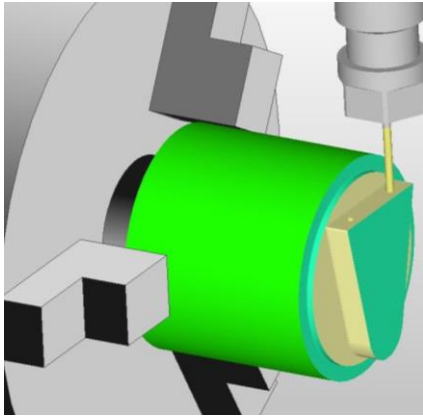
1. upnout polotovár do sklíčidla
2. zarovnat čelo
3. hrubovat průměr
4. hrubovat obvod bočnice
5. dokončit obvod bočnice načisto
6. vyvrtat díry pro závity
7. vyříznout závity
8. vyvrtat díru pro hřídel
9. upíchnout hotový díl



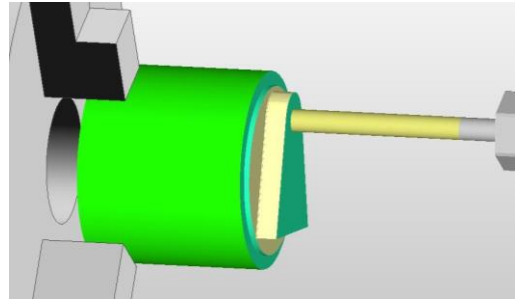
Obr. 17: Zarovnání čela



Obr. 18: Hrubování obvodu bočnice



Obr. 20: Vrtání děr pro závit

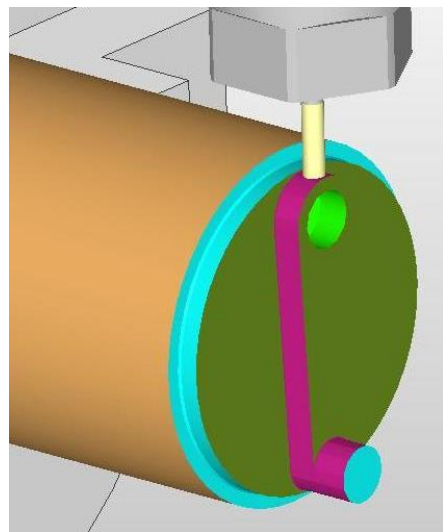


Obr. 19: Vrtání díry pro hřídel

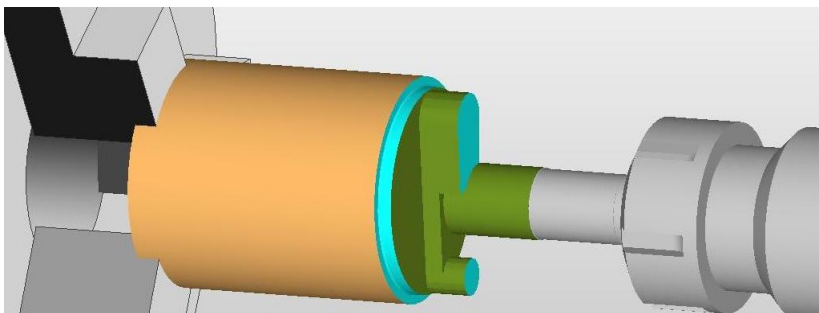
### 6.3.4 Klika

Klika se vyrobila z polotovaru o  $\varnothing$  50 mm, délce 19 mm, k její výrobě byly použity následující pracovní úkony:

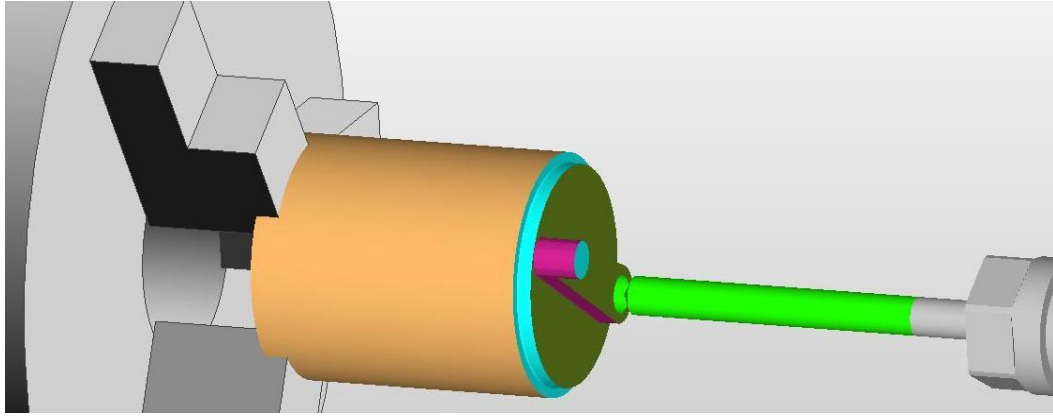
1. upnout polotovar do sklíčidla
2. zarovnat čelo
3. hrubovat průměr
4. hrubovat tvaru kliky
5. dokončit tvar kliky načisto
6. vrtat díru pro hřídel
7. vrtat díru pro závit
8. vyříznout závit
9. upíchnout hotový díl



Obr. 21: Řezání závitu



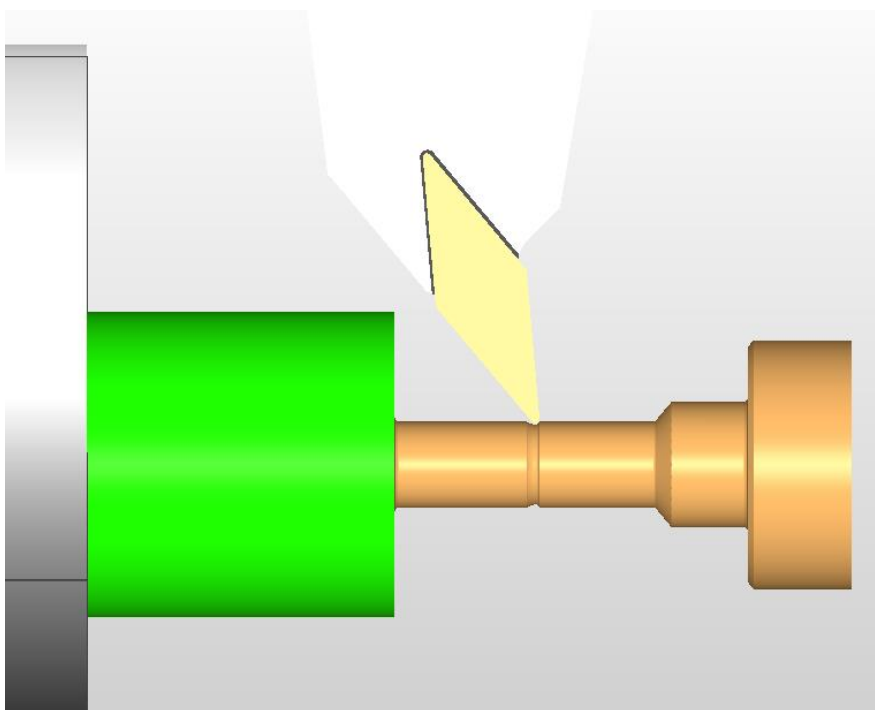
Obr. 22: Hrubování tvaru kliky



Obr. 23: Vrtání díry pro hřídel

## 6.4 Simulace obrábění

Pomocí simulátoru v programu EdgeCAM byla pro jednotlivé výrobky provedena v prostředí TECHNOLOGIE simulace navrženého obráběcího postupu. Následovala kontrola kolizí a fiktivní porovnání s navrženým modelem. Vše proběhlo bez problémů, proto je možné pokračovat v dalším kroku. Na Obr. 12 je vidět příklad simulace obrábění hřídele, kde bylo třeba při hrubování zprava doleva vytvořit nezbytný prostor pro další nůž pro dokončení zleva.



Obr. 24: Simulace dokončování průměru hřídele zleva doprava

## **6.5 Vygenerování programů pro CNC**

Po ukončení simulace a případné úpravě obráběcích postupů je možné přejít na generování NC kódu, z nabídky menu *Generovat NC kód*. Ve školní verzi není však tato volba přípustná. Nyní již lze provést obrábění na skutečném CNC stroji.

## 7 Výroba součástí modelu

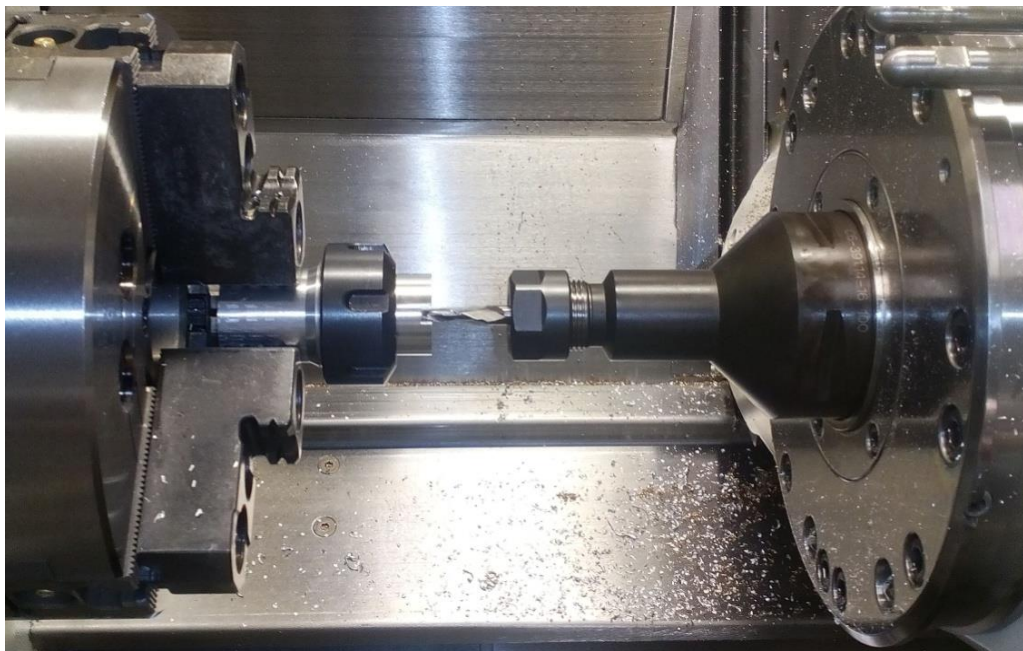
Pro jednotlivé díly navržené simulace hřídelové spojky byl zpracován technologický postup jejich výroby pro stroj Mazak Integrex 100-IV a pro každý díl zhotoven obráběcí program. Součásti byly vyrobeny v laboratořích Katedry výrobních systémů a automatizace, kde je uvedený obráběcí stroj instalován.

### 7.1 Průběh výroby dílů spojky

Na obráběcím stroji se nejprve provedlo seřízení obráběcích nástrojů pomocí „měřicího oka“ a do upínacího zařízení stroje se upnul polotovar pro první díl.

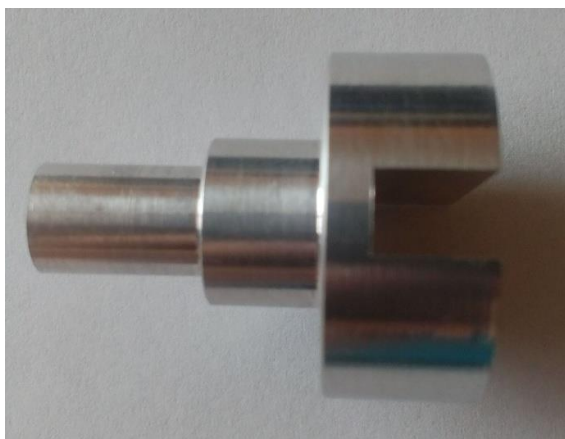
#### 7.1.1 Hřídel

Oproti původnímu předpokladu (obrobení na jedno upnutí), se hřídel musela obrobit na dvě upnutí, z důvodu velkých kmitů hřídele, zabraňujících vyfrézování drážky. Nejdříve se na první upnutí udělal výsledný profil součásti, a na druhé upnutí (upnutí do kleštiny) se vyfrézovala drážka (Obr.12).



Obr. 25: Frézování drážky

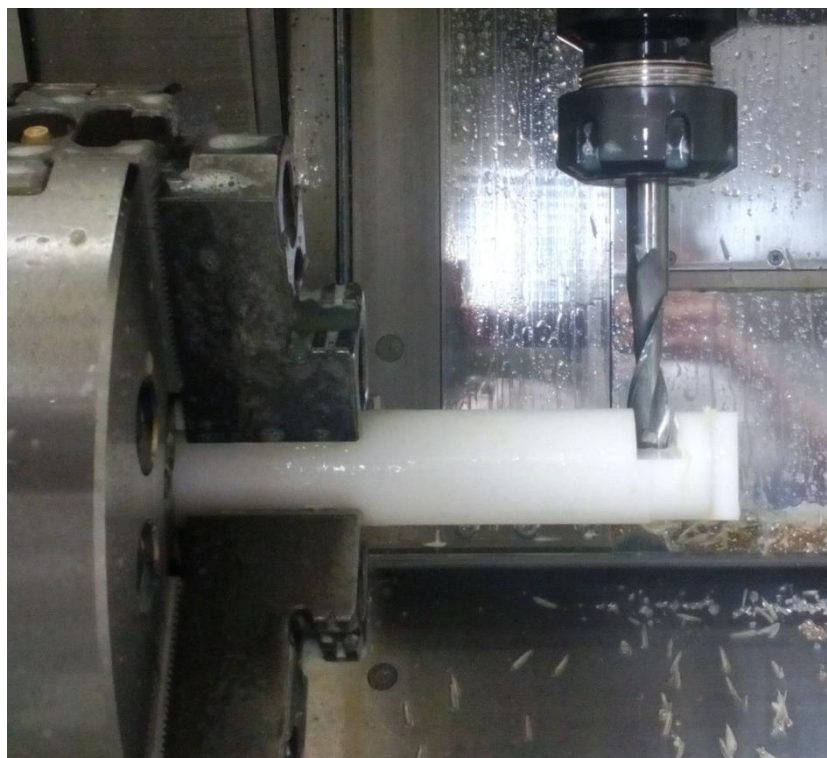
Nejmenší průměr hřídele byl po obrobení o 0,1 mm menší v porovnání s nominální hodnotou na výkrese. Této odchylce byly přizpůsobeny rozměry ostatních součástí, aby bylo možné sestavit fungující mechanismus. Odchylna rozměru mohla být způsobena vlivem teplotních účinků při obrábění.



Obr. 26: Hotový výrobek – hřídel s drážkou

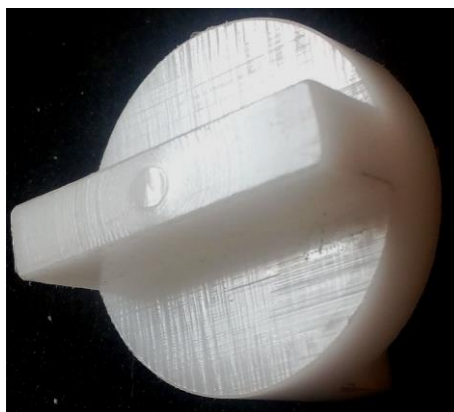
### 7.1.2 Střední kotouč

Střední křížový kotouč byl vyroben podle navrženého postupu obrábění uvedeného výše (viz 6.3.2). Při frézování vnitřního výstupku byla odebrána velká tříška a docházelo k mírnému chvění plastového obrobku. Třísku by bylo lepší rozdělit na několik menších, protože chvění obrobku ovlivňuje drsnost obráběné plochy i rozměr obrobku. Bylo vyrobeno několik kusů, změnou délkových korekcí frézy, aby bylo dosaženo požadovaných rozměrů.



Obr. 27: Frézování vybrání

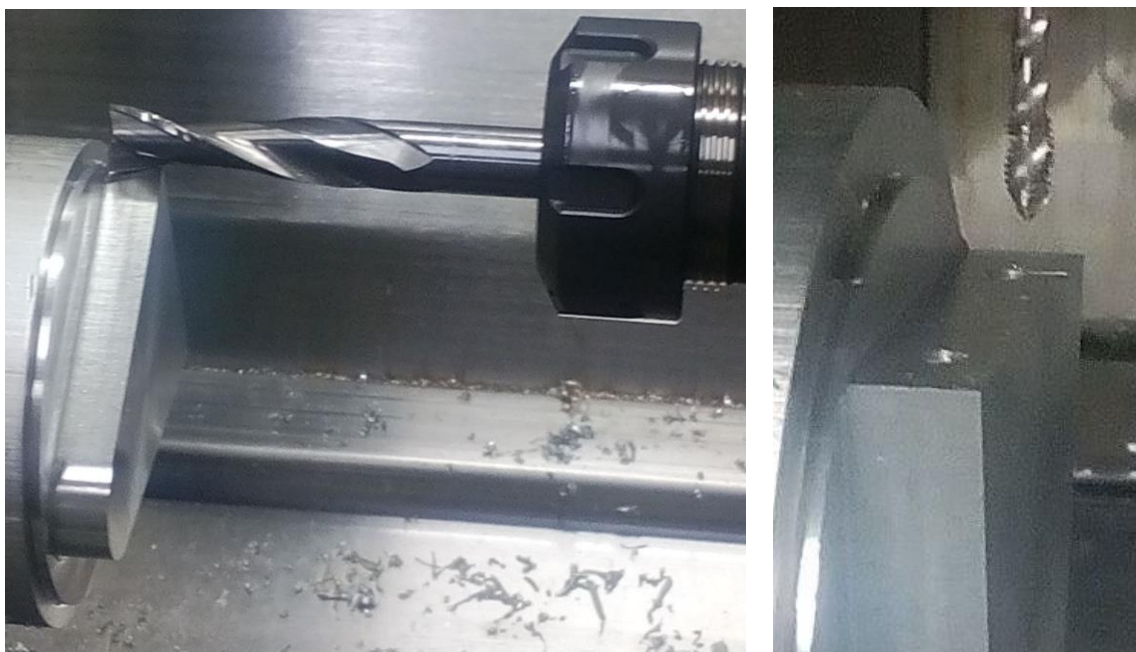




Obr. 28: Hotový výrobek – středový kotouč

### 7.1.3 Bočnice

Bočnice byly vyrobeny podle navrženého technologického postupu uvedeného výše (viz 6.3.3). Při upíchnutí obrobku nedošlo k úplnému oddělení, na frézovaném dílu byl ponechán výstupek, který byl dodatečně odstraněn. Důvodem tohoto postupu oddělení obrobku bylo to, aby při úplném upíchnutí nedošlo vlivem odstředivé síly k nežádoucímu odlétnutí obrobku, které by mohlo způsobit poškození výrobku nebo stroje.



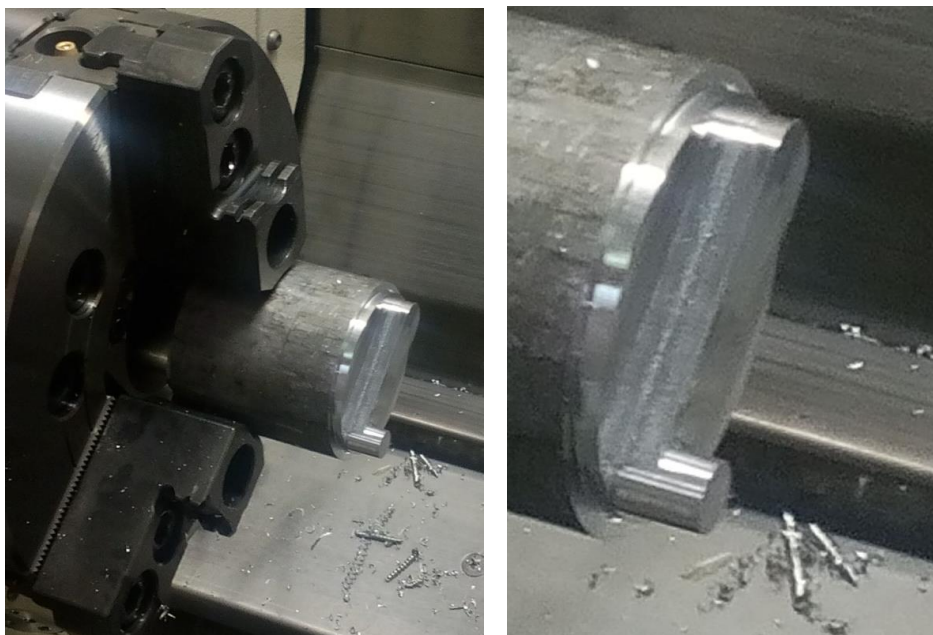
Obr. 29: Frézování a řezání závitů



Obr. 30: Hotový výrobek - bočnice

#### 7.1.4 Klika

Výroba kliky byla uskutečněna podle plánu uvedeného v kapitole 6.3.4. Stejně jako v případě bočnice i zde nebylo provedeno úplné upíchnutí, byl na obrobku ponechán výstupek, který byl dodatečně odstraněn.



Obr. 31: Při výrobě kliky



Obr. 32: Hotový výrobek - klika

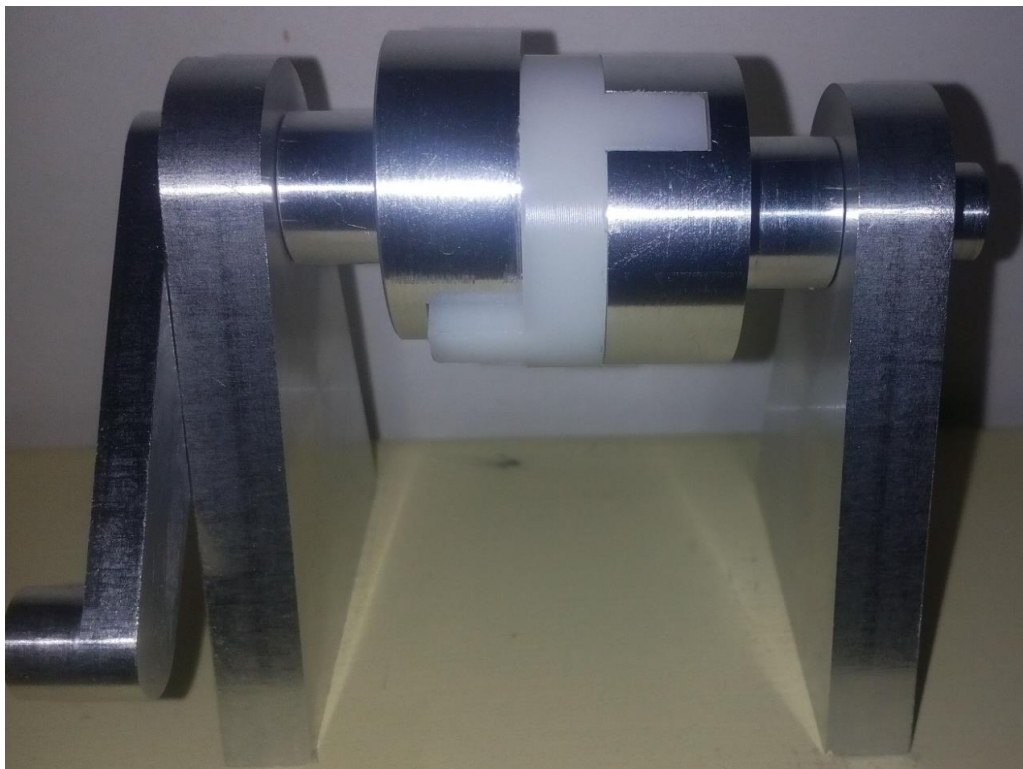


## 7.2 Celkové zhodnocení sestavy

Po vyrobení všech součástí byl sestaven model Oldhamovy spojky. Odchytky od nominálních hodnot na výkresech součástí byly kompenzovány přizpůsobením rozměrů jejich protikusů v sestavě spojky. Jednalo se o  $\varnothing 8f7$  u hnacího i hnaného hřídele, kde odchylka byla 0,1 mm. V sestavě tomuto rozměru odpovídá díra  $\varnothing 8H7$  v obou bočnicích. Rozměry děr v bočnicích byly vyrobeny tak, aby bylo zajištěno výkresovými tolerancemi předepsané uložení hřídelů v těchto dírách. Stejným způsobem byla upravena i díra  $\varnothing 8H$  v klíci. Ta je nasunuta na hnací hřídel a uchycena pomocí stavěcího šroubu se závitem M3. Úpravy děr v bočnicích a klíci zamezily zbytečným ztrátám obráběného materiálu, ke kterým by došlo po opakované výrobě hřídelů.

Vzhledem k tomu, že drážky v obou hřídelích byly po obrobení o 0,2 mm užší, byly vyrobeny postupně 3 křížové kotouče. Následně byl vybrán kotouč s nejvhodnějšími rozměry, abychom dosáhli vůle mezi hřídelem a kotoučem, která zajišťuje nejlepší funkci spojky. Při malé vůli by docházelo k příliš velkému přenosu sil vlivem tření mezi hřídeli a kotoučem. Všechny tyto úpravy umožnily uvést model spojky do funkčního stavu.

Celá sestava bude usazena na podstavec a zajištěna čtyřmi šrouby M3.



Obr. 33: Hotový výrobní celek – funkční model

## 8 Závěr

Cílem této bakalářské práce bylo navrhnout pohybový mechanismus, pro obráběcí soustružnicko-frézovací centrum Mazak Integrex 100-IV a připravit technologii výroby jeho jednotlivých částí a ty pak na tomto centru vyrobit.

Jako mechanismus byl zvolen model Oldhamovy spojky, na kterém je možné si dostatečně vyzkoušet výrobu součástí komplexnějších tvarů s danými nároky na rozměrovou přesnost. Rozměry modelu byly voleny s ohledem na dostupný materiál a nástroje.

Sestava tohoto mechanismu byla následně vytvořena v 3D modeláři Autodesk Inventor a 3D modely byly převedeny do univerzálního CAD formátu STEP a následně použity jako vstupní podklad pro návrh technologie. Technologie a potřebné NC programy byly poté vytvořeny pomocí CAD/CAM systému EdgeCAM, kde bylo možné před vlastním obráběním udělat i simulaci jednotlivých postupů a ověřit výrobu bez případných kolizí na stroji.

Pro samotnou výrobu je na Katedře výrobních systémů a automatizace k dispozici soustružnicko-frézovací obráběcí centrum Mazak Integrex 100-IV. Původně bylo zamýšleno vyrobit všechny součásti mechanismu z rotačních polotovarů na jedno upnutí. Tento záměr byl pro většinu dílů splněn, avšak při výrobě hřídelů se jej nepodařilo splnit z důvodu chvění způsobeného malou tuhostí obrobku při frézování drážky. Řešením by bylo upravit postup výroby a hned po dokončení čela materiálu soustružením vyfrézovat drážku. Nevýhodou tohoto postupu by bylo jednak prodloužení doby výroby dané další výměnou nástrojů a hlavně přerušovaný řez při dalším soustružení obvodu. Proto bylo přistoupeno k rozdělení výroby na soustružení včetně upíchnutí dílu a následné přeupnutí a vyfrézování drážky. Další možností by bylo otočit hřídel proti původnímu předpokladu a soustružit průměry postupně od nejmenšího po největší u sklíčidla jen jedním nástrojem, což by mělo za výhodu úsporu materiálu i strojního času.

Přípravou výroby a vyrobením funkčního modelu Oldhamovy spojky byly cíle práce splněny.

Průběh obrábění každého z dílů spojky mi ukázal, že je velmi důležité přizpůsobit navrhovanou technologii obrábění nejen tvarům a rozměrům, ale i předepsaným úchytkám rozměrů, požadovaným geometrickým úchytkám a také stanoveným drsnostem povrchů. Je třeba také volit takové upnutí obráběného polotovaru, aby při obrábění nedocházelo k jeho chvění. Proto musí být polotovar dostatečně vysunut, aby bylo možno bezpečně provést všechny předepsané operace, ale ne příliš, aby byl dostatečně tuhý a vibracemi neovlivňoval rozměry a drsnost obráběných ploch. To vede i při relativně tvarově jednoduchých dílech k nutnosti přepínání obrobku. Při větším počtu upnutí může u rotačních součástí dojít k nežádoucí odchylce souososti obráběných průměrů.

Z problému s dodržением nominálních hodnot z výrobních výkresů vyplývá, že také záleží na správné volbě řezné rychlosti, otáček, posuvu a především tloušťky odebírané třísky.

Bakalářská práce mi přinesla řadu užitečných zkušeností s problematikou výroby na CNC strojích. Mohl jsem se seznámit s prostředím a možnostmi CAD/CAM systému EdgeCAM, kde jsem si vyzkoušel různé technologie obrábění a odsimuloval výrobu součástí. Velmi cenné zkušenosti mi také poskytla praktická výroba součástí na obráběcím centru Mazak Integrex 100-IV, která mi ukázala rozdíl mezi návrhem výroby a jeho realizací. Problematika spojená s CNC obráběním se mi jeví velmi zajímavá.

## Použitá literatura

- [1] DISTANČNÍ TEXT: *Stavba a provoz strojů 1 - Hřídelové spojky*, Projekt OP RLZ Opatření 3.1-0205., 2007. [online]. [vid. 20. 6. 2015].  
Dostupné z: [http://www.spssol.cz/~vyuka/PREDMETY/SPS/hridelove\\_spojky.pdf](http://www.spssol.cz/~vyuka/PREDMETY/SPS/hridelove_spojky.pdf)
- [2] EDGE CAM: *Stránka software EdgeCAM*. [online]. [vid. 13. 6. 2015].  
Dostupné z: <http://www.edgecam.cz/>
- [3] *Hřídelové spojky* [online]. [vid. 18. 5. 2015].  
Dostupné z: [http://www.spsko.cz/documents/SPS\\_prazak/6.%20H%C5%98%C3%8D%20ELOV%C3%89%20SPOJKY.pdf](http://www.spsko.cz/documents/SPS_prazak/6.%20H%C5%98%C3%8D%20ELOV%C3%89%20SPOJKY.pdf)
- [4] Hřídelové spojky [online]. [vid. 20. 5. 2015].  
Dostupné z: <https://www.google.cz/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=0CCIQFjAA&url=http%3A%2F%2Ffiles.strojarna.webnode.cz%2F200000016-a0da9a1d4c%2Fspojky.pdf&ei=NHGdVbbxCsmyswHL8LTYDg&usq=AFQjCNHa7hsNN3ohplrl2vzpSlmpTVTIw&bvm=bv.96952980,d.bGg&cad=rja>
- [5] P. KELLER: *Programování a řízení CNC strojů* – prezentace přednášek 2. část, TU Liberec, 2005. [online]. [vid. 30. 6. 2015].  
Dostupné z: [http://www.kvs.tul.cz/download/cnc\\_cadcam/pnc\\_2.pdf](http://www.kvs.tul.cz/download/cnc_cadcam/pnc_2.pdf)
- [6] P. KELLER: *Příklady na stanovení a opravu korekcí nástrojů CNC strojů*, Registrační číslo: CZ.1.07/2.2.00/15.0089, Interní číslo TUL: 1689. [online]. [vid. 30. 6. 2015].  
Dostupné z: [http://educom.tul.cz/educom/inovace/VP/MZ\\_05\\_VY\\_03\\_053.pdf](http://educom.tul.cz/educom/inovace/VP/MZ_05_VY_03_053.pdf)
- [7] MAZAK . [online]. [vid. 20. 5. 2015].  
Dostupné z: <https://www.mazakeu.cz/cs/machines/integrex-100-iv/>
- [8] NÁPOVĚDA EdgeCAM 2012.
- [9] Pracovníci SPŠ a SOU: *CNC programování EdgeCAM*, v rámci projektu reg. č. CZ. 1.07/1.1.36/01.0010, Pelhřimov 2013. [online]. [vid. 1. 7. 2015].  
Dostupné z: <http://www.spssoupe.cz/soubory/projekty/opvk/vystupy/cnc-programovani-edgecam.pdf>
- [10] *Programování CNC strojů*, [online]. [vid. 30. 6. 2015].  
Dostupné z: [http://dilna.aeroomni.com/download/manual\\_programovani\\_CNC.pdf](http://dilna.aeroomni.com/download/manual_programovani_CNC.pdf)

- [11] PROJEKT: *Obecný úvod do problematiky CNC programování*, Registrační číslo projektu: CZ.1.07/1.1.01/02.0084. [online]. [vid. 20. 5. 2015].  
Dostupné z: [http://www.sosbites.cz/images/stories/VUKOV\\_TEXT - 1.ST.pdf](http://www.sosbites.cz/images/stories/VUKOV_TEXT - 1.ST.pdf)
- [12] PROJEKT EduCom: *Seřizování nástrojů na CNC Mazak Integrex 100-IV*, Registrační číslo: CZ.1.07/2.2.00/15.0089, TU Liberec 2012. [online].  
[vid. 20. 5. 2015].  
Dostupné z: [http://educom.tul.cz/educom/inovace/VP/MZ\\_05\\_VY\\_03\\_051.pdf](http://educom.tul.cz/educom/inovace/VP/MZ_05_VY_03_051.pdf)
- [13] PROJEKT EduCom: *Základy práce v CAD/CAM systému EdgeCAM – soustružení*, Registrační číslo: CZ.1.07/2.2.00/15.0089, Interní číslo TUL: 1689. [online]. [vid. 1. 7. 2015].  
Dostupné z: <http://educom.tul.cz/educom/inovace/VP/Zaklady%20EdgeCAM.pdf>
- [14] *Příručka CNC programování*, [online]. [vid. 20. 6.2015].  
Dostupné z: [http://www.sjf.tuke.sk/vitralab/upload/CNC%20prirucka\\_CZ.pdf](http://www.sjf.tuke.sk/vitralab/upload/CNC%20prirucka_CZ.pdf)
- [15] L. ŘEZNÍČEK, M. FINK: *EdgeCAM – základy programování CNC obráběcích strojů a sbírka řešených příkladů*, ŠPS a SOU Trutnov, 2005. [online].  
[vid.25. 6. 2015].  
Dostupné z: <http://www.spstrutnov.cz/o-skole/projekty/programovani-cnc-edgcam/edgcam.pdf>
- [16] M. SADÍLEK: *CAM systémy v obrábění I*, TU Ostrava, 2008.
- [17] M. SADÍLEK: *Počítačová podpora výroby*, Ostrava, 2010/2011. [online].  
[vid. 25. 6. 2015].  
Dostupné z: <http://projekty.fs.vsb.cz/147/ucebniopory/978-80-248-2738-4.pdf>
- [18] *Učebnice CNC*, [online]. [vid. 20. 5. 2015].  
Dostupné z: <http://sstzr.cz/download/cat1/ucebnicecnc.pdf>
- [19] E. VELIČKOVÁ: *Stroje a zařízení - Části strojů*, VŠB-TU Ostrava, 2002.  
[online]. [vid. 13. 6. 2015].  
Dostupné z: <https://www.fbi.vsb.cz/export/sites/fbi/040/.content/sys-cs/resource/PDF/castistroju.pdf>
- [20] ZÁPIS ČÁSTI STROJŮ – spojky: *13. Hřídelové spojky*, 08/2012 STR Bc 2 z 6  
[online]. [vid. 25. 6. 2015].  
Dostupné z: [http://www.79401.cz/strojnictvi/zapisy\\_pdf/zapis\\_casti\\_stroju\\_spojky.pdf](http://www.79401.cz/strojnictvi/zapisy_pdf/zapis_casti_stroju_spojky.pdf)

# Příloha

## A Výkresová dokumentace

- Bočnice levá            výkres č. 3-KSA-SI-01-01
- Bočnice pravá         výkres č. 3-KSA-SI-01-02
- Hřídél                    výkres č. 3-KSA-SI-01-03
- Křížový kotouč        výkres č. 3-KSA-SI-01-04
- Klika                     výkres č. 3-KSA-SI-01-05
- Oldhamova spojka      výkres č. 2-KSA-SI-01

## B Obsah přiloženého CD

- text bakalářské práce
  - ❖ bakalářská\_práce\_2015\_Martin\_Ševic.docx
  - ❖ bakalářská\_práce\_2015\_Martin\_Ševic.pdf
- výkresová dokumentace
  - ❖ Bočnice levá            výkres č. 3-KSA-SI-01-01
  - ❖ Bočnice pravá         výkres č. 3-KSA-SI-01-02
  - ❖ Hřídél                    výkres č. 3-KSA-SI-01-03
  - ❖ Křížový kotouč        výkres č. 3-KSA-SI-01-04
  - ❖ Klika                     výkres č. 3-KSA-SI-01-05
  - ❖ Oldhamova spojka      výkres č. 2-KSA-SI-01
- modely z CAD programu Autodesk Inventor Professional 2014 ve formátu *step*
- simulace z programu EdgeCAM

## Seznam zkratk

CAD	počítačová kontrola konstrukce (Computer Aided Design)
CAD/CAM	počítačový systém s integrovanou podporou konstrukce a výroby součástí
CAM	počítačová podpora výroby (Computer Aided Manufacturing)
CNC	stroj s číslicovým řízením počítačem (Computerized Numerical Control)
NC	číslicově řízený stroj (Numerical Control)

## Seznam obrázků

1. Oldhamova spojka – 1. hnací člen, 2. střední člen, 3. hnaný člen [20]
2. Oldhamova spojka v záběru [20]
3. Stroj Mazak Integrex 100-IV
4. Ovládací panel řídicího systému Mazatrol Matrix
5. Pravotočivý souřadný systém [5]
6. Postup výroby součástí v CAD/CAM systémech
7. Sestava funkčního celku
8. Hřídel
9. Křížový kotouč
10. Bočnice
11. Klika
12. Hrubování profilu
13. Hrubování drážky
14. Hrubování na profil
15. Profilování drážky
16. Upíchnutí hotového dílu
17. Zarovnání čela
18. Hrubování obvodu bočnice
19. Vrtání díry pro hřídel
20. Vrtání děr pro závit
21. Řezání závitu
22. Hrubování tvaru kliky

23. Vrtání díry pro hřídel
24. Simulace dokončování průměru hřídele zleva doprava
25. Frézování drážky
26. Hotový výrobek – hřídel s drážkou
27. Frézování vybrání
28. Hotový výrobek – středový kotouč
29. Frézování a řezání závitů
30. Hotový výrobek - bočnice
31. Při výrobě kliky
32. Hotový výrobek - klika
33. Hotový výrobní celek – funkční model