

# **Simulační model CNC frézky HWT C-442**

Daniel Šišák

---

Bakalářská práce  
2017



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta technologická

---

**Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně**  
Fakulta technologická  
Ústav výrobního inženýrství  
akademický rok: 2016/2017

# **ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE**

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Daniel Šišák**  
Osobní číslo: **T150233**  
Studijní program: **B3909 Procesní inženýrství**  
Studijní obor: **Technologická zařízení**  
Forma studia: **kombinovaná**

Téma práce: **Simulační model CNC frézky HWT C-442**

Zásady pro vypracování:

- 1. Vypracujte teoretickou studii na dané téma**
- 2. Vymodelujte CNC frézku HWT C-442**
- 3. V programu NX vytvořte simulační model frézky HWT C-442**
- 4. Ověřte funkčnost modelu simulací obrábění**

Rozsah bakalářské práce:

Rozsah příloh:

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

Seznam odborné literatury:

1. KOH, Jaecheol. Siemens NX 10 design fundamentals. Seoul: ONSIA, 2015. ISBN 978-1-516994-04-5.
2. FABIAN, Michal a Emil SPIŠÁK. Navrhování a výroba pomocí CA. technologií. Brno: Vydavatelství CCB, 2009. Edice vědecké a odborné literatury. ISBN 978-80-85825-65-7.
3. RAO, P. N. CAD/CAM: principles and applications. 3rd ed. New Delhi: McGraw Hill Education, c2010. ISBN 978-0-07-068193-4.
4. SADÍLEK, Marek. CAM systémy v obrábění I. 2., dopl. vyd. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, 2010. ISBN 978-80-248-2278-5.

Vedoucí bakalářské práce:

**Ing. Ondřej Bílek, Ph.D.**

Ústav výrobního inženýrství

Datum zadání bakalářské práce:

**2. ledna 2017**

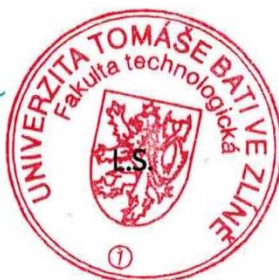
Termín odevzdání bakalářské práce:

**19. května 2017**

Ve Zlíně dne 31. ledna 2017



doc. Ing. František Buňka, Ph.D.  
*děkan*



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

## PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že

- beru na vědomí, že odevzdáním diplomové/bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby <sup>1)</sup>;
- beru na vědomí, že diplomová/bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k nahlédnutí, že jeden výtisk diplomové/bakalářské práce bude uložen na příslušném ústavu Fakulty technologické UTB ve Zlíně a jeden výtisk bude uložen u vedoucího práce;
- byl/a jsem seznámen/a s tím, že na moji diplomovou/bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3 <sup>2)</sup>;
- beru na vědomí, že podle § 60 <sup>3)</sup> odst. 1 autorského zákona má UTB ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- beru na vědomí, že podle § 60 <sup>3)</sup> odst. 2 a 3 mohu užít své dílo – diplomovou/bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování diplomové/bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tedy pouze k nekomerčnímu využití), nelze výsledky diplomové/bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem diplomové/bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Ve Zlíně 15.5.2017

Šišák Daniel

---

<sup>1)</sup> zákon č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, § 47 Zveřejňování závěrečných prací:

(1) Vysoká škola nevýdělečně zveřejňuje disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce, u kterých proběhla obhajoba, včetně posudků oponentů a výsledku obhajoby prostřednictvím databáze kvalifikačních prací, kterou spravuje. Způsob zveřejnění stanoví vnitřní předpis vysoké školy.

(2) Disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce odevzdané uchazečem k obhajobě musí být též nejméně pět pracovních dnů před konáním obhajoby zveřejněny k nahlížení veřejnosti v místě určeném vnitřním předpisem vysoké školy nebo není-li tak určeno, v místě pracoviště vysoké školy, kde se má konat obhajoba práce. Každý si může ze zveřejněné práce pořizovat na své náklady výpisy, opisy nebo rozmnoženiny.

(3) Platí, že odevzdáním práce autor souhlasí se zveřejněním své práce podle tohoto zákona, bez ohledu na výsledek obhajoby.

<sup>2)</sup> zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 35 odst. 3:

(3) Do práva autorského také nezasahuje škola nebo školské či vzdělávací zařízení, užije-li nikoli za účelem přímého nebo nepřímého hospodářského nebo obchodního prospěchu k výuce nebo k vlastní potřebě dílo vytvořené žákem nebo studentem ke splnění školních nebo studijních povinností vyplývajících z jeho právního vztahu ke škole nebo školskému či vzdělávacímu zařízení (školní dílo).

<sup>3)</sup> zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 60 Školní dílo:

(1) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení mají za obvyklých podmínek právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla (§ 35 odst. 3). Odpirá-li autor takového díla udělit svolení bez vážného důvodu, mohou se tyto osoby domáhat nahrazení chybějícího projevu jeho vůle u soudu. Ustanovení § 35 odst. 3 zůstává nedotčeno.

(2) Není-li sjednáno jinak, může autor školního díla své dílo užít či poskytnout jinému licenci, není-li to v rozporu s oprávněnými zájmy školy nebo školského či vzdělávacího zařízení.

(3) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení jsou oprávněny požadovat, aby jim autor školního díla z výdělku jím dosaženého v souvislosti s užitím díla či poskytnutím licence podle odstavce 2 přiměřeně přispěl na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložily, a to podle okolností až do jejich skutečné výše; přitom se přihlédne k výši výdělku dosaženého školou nebo školským či vzdělávacím zařízením z užití školního díla podle odstavce 1.

## **ABSTRAKT**

Bakalářská práce je zaměřena na vymodelování CNC frézky. Cílem této práce bylo zpracování teoretické studie zaměřené na obrábění, vymodelování CNC frézky HWT C-442, vytvoření simulačního modelu této frézky a jeho následné ověření při simulaci obrábění.

Modelování, vytvoření simulačního modelu stroje i ověření funkce simulací obrábění bylo prováděno v programu NX 10.

Klíčová slova: frézka, CAD/CAM, CNC, NX,

## **ABSTRACT**

This thesis is dealing with modeling CNC milling machine. The aim of this work was the processing of the theoretical studies focused on machining, the modeling of CNC milling machine HWT C-442, the creation of simulation model of this milling machine and its subsequent verification during simulation of machining.

Modeling, creating a simulation machine model and verifying machining simulation functions was done in the NX 10 program.

Keywords: Milling machine, CAD/CAM, CNC, NX,

## Poděkování

Chci poděkovat vedoucímu mé bakalářské práce Ing. Ondřeji Bílkovi, Ph.D. za odborné vedení, ochotu a vstřícnost při konzultacích a vypracování této práce. Mé poděkování patří i rodině za podporu při studiu a tvorbě bakalářské práce.

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

# OBSAH

<b>ÚVOD.....</b>	<b>10</b>
<b>I TEORETICKÁ ČÁST.....</b>	<b>11</b>
<b>1 FRÉZOVÁNÍ.....</b>	<b>12</b>
1.1 NÁSTROJE .....	12
1.2 STROJE .....	13
1.2.1 Konzolové frézky .....	15
1.2.2 Univerzální konzolové frézky .....	15
1.2.3 Stolové frézky .....	15
1.2.4 Rovinné frézky .....	16
1.2.5 Speciální frézky.....	16
1.3 UPLATĚNÍ CNC FRÉZOVÁNÍ.....	16
<b>2 PROGRAMOVÁNÍ CNC STROJŮ .....</b>	<b>18</b>
2.1 METODY PROGRAMOVÁNÍ.....	18
2.1.1 Programování ruční .....	19
2.1.2 Strojní programování – programování pomocí CAM systému.....	20
2.2 VERIFIKACE CNC PROGRAMU .....	20
2.2.1 CL Data podobná APT .....	20
2.2.2 Rozdělení CL Dat.....	21
2.2.3 Struktura CL Dat .....	21
2.2.3.1 Obecná struktura CL Dat.....	23
2.2.4 Postprocesorové zpracování souboru CL Data v CAD/CAM systémech .....	24
<b>3 DEFINICE A ROZDĚLENÍ POSTPROCESORŮ .....</b>	<b>24</b>
3.1 INTERNÍ POSTPROCESORY .....	24
3.2 EXTERNÍ POSTPROCESORY.....	25
3.3 OVĚŘOVÁNÍ PROGRAMU.....	26
3.3.1 Oprava chyb .....	26
3.3.1.1 Preventivní opatření .....	26
3.3.1.2 Nápravná opatření .....	27
3.3.2 Grafické ověřování.....	27
3.4 SIMULACE NC OBRÁBĚNÍ .....	28
<b>4 SIMULAČNÍ MODEL STROJE.....</b>	<b>30</b>
4.1 DRÁHA NÁSTROJE .....	31
<b>5 POČÍTAČOVÁ PODPORA OBRÁBĚNÍ (CAM) .....</b>	<b>33</b>
5.1 PLÁNOVÁNÍ VÝROBY .....	33
5.1.1 Návrh technického postupu (CAPP) .....	33
5.1.2 Počítačem řízená část NC.....	33
5.1.3 Počítačová standardizace práce.....	33
5.1.4 Plánování výroby a zásob.....	33
5.2 KONTROLA VÝROBY .....	34
5.2.1 Monitorování a řízení procesů .....	34
5.2.2 Kontrola kvality .....	34
5.2.3 Řízení zásob .....	34



5.2.4	Včasná produkce .....	34
<b>6</b>	<b>SHRNUTÍ TEORETICKÉ ČÁSTI.....</b>	<b>35</b>
<b>II</b>	<b>PRAKTICKÁ ČÁST .....</b>	<b>36</b>
<b>7</b>	<b>MODELOVÁNÍ A TVORBA SIMULAČÍHO MODELU FRÉZKY HWT C-442.....</b>	<b>37</b>
7.1	ZÁKLADNÍ INFORMACE O CNC FRÉZCE .....	37
7.2	TVORBA MODELU .....	37
7.2.1	Díly sestavy .....	37
7.2.2	Tvorba CNC modelu v NX 10 .....	41
<b>8</b>	<b>OVĚŘENÍ FUNKČNOSTI.....</b>	<b>45</b>
	<b>ZÁVĚR .....</b>	<b>47</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....</b>	<b>48</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....</b>	<b>50</b>
	<b>SEZNAM OBRÁZKŮ .....</b>	<b>51</b>
	<b>SEZNAM TABULEK.....</b>	<b>53</b>
	<b>SEZNAM PŘÍLOH.....</b>	<b>54</b>

## ÚVOD

Zkratka CNC pochází z anglického Computer Numerical Control, což v překladu znamená počítačem řízený stroj. Takový stroj dokáže obrábět podle přesného zadání, které mu určuje NC program.

První programy, které se na číslicově řízených NC strojích objevovaly, využívaly děrných pásků, či děrných destiček. Uplatnění našly především u velkosériových či složitých výrobků. Přechod na stroje vybavené počítačovou jednotkou se odehrál v 80. letech 20. století, díky čemuž se začalo hovořit o těchto strojích jako o CNC.

Současné CNC řídicí systémy jsou velmi sofistikovaná zařízení, která jsou pro dnešní svět téměř nenahraditelná. Výroba se díky nim stala rychlejší a kvalitnější, došlo k omezení zmetkovitosti a v neposlední řadě došlo ke snížení výrobní ceny. Přednosti CNC řídicích center jsou především:

- jednoduché a rychlé programování,
- vysoká produktivita práce,
- nižší cena výroby,
- úspora pracovních ploch.

CNC stroje mívají jednu či více současně řízených os. Podle jejich počtu lze CNC dělit na:

- 1 osé (CNC vrtačky),
- 2 osé (CNC soustruhy),
- 3 osé (CNC frézky),
- 4 a více osé (CNC obráběcí centra).

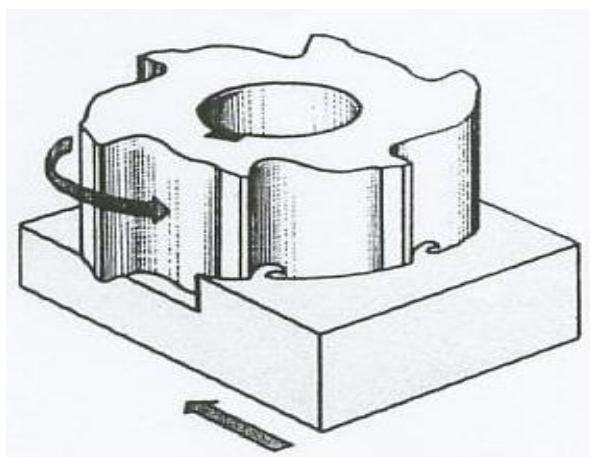
3 osý obráběcí stroj (jehož modelování je podstatou této práce), slouží k 3D frézování forem, zápusťek, lisovacích nástrojů a tvarově složitých součástí.

## **I. TEORETICKÁ ČÁST**

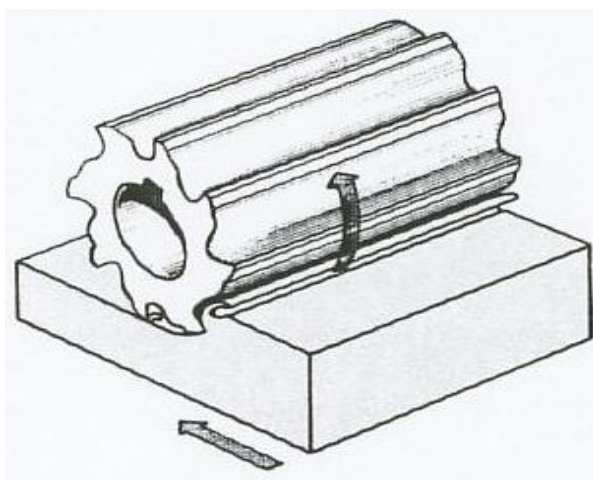
## 1 FRÉZOVÁNÍ

Frézování je obráběcí metoda, při níž je materiál obrobku odebrán vícebřitým nástrojem. Hlavní, rotační pohyb koná nástroj. Posuvový pohyb je většinou přímočarý a koná jej obrobek, u okružního a planetového frézování může být i rotační a konat ho může obrobek, nebo nástroj. U moderních frézovacích strojů jsou posuvové pohyby měnitelné plynule a mohou se realizovat ve všech směrech (obráběcí centra, víceosé CNC frézky). Řezný proces je přerušovaný, každý zub frézy odřezává krátké třísky proměnné tloušťky. [1]

Z technologického hlediska v závislosti na aplikovaném nástroji rozlišujeme frézování válcové (frézování obvodem nástroje Obr. 1.) a frézování čelní (frézování čelem nástroje Obr. 2.). [2]

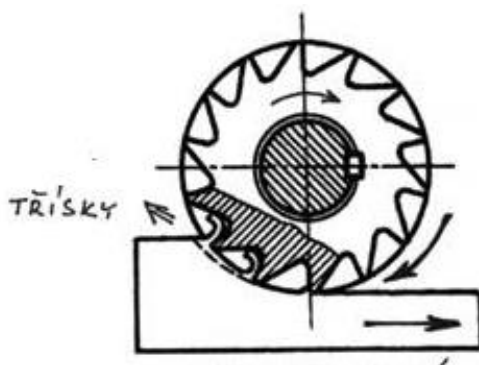


Obr. 1. Frézování obvodem nástroje. [14]

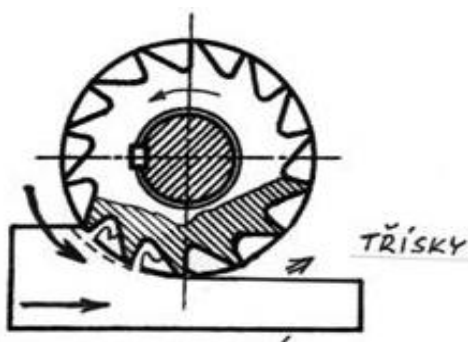


Obr. 2. Frézování čelem nástroje. [14]

Válcové frézování se převážně uplatňuje při práci s válcovými a tvarovými frézami. Zuby frézy jsou vytvořeny pouze po obvodu nástroje, hloubka odebírané vrstvy se nastavuje kolmo na osu frézy a na směr posuvu. Obrobená plocha je rovnoběžná s osou otáčení frézy. V závislosti na kinematice obráběcího procesu se rozlišuje frézování nesousledné (protisměrné, nesousměrné Obr. 3.) a sousledné (sousměrné Obr. 4.). [1]



Obr. 3. Frézování nesousledné. [15]



Obr. 4. Frézování sousledné. [15]

## 1.1 Nástroje

Frézy je možné dělit z různých hledisek. Zejména podle umístění břitů, tvaru zubů, průběhu ostří, upínání a konstrukce. [4]

Podle toho, zda jsou břity fréz na válcové, rovinné, kuželové, kulové, nebo tvarové ploše se dělí frézy na:

- Válcová – s břity na válcové ploše
- Čelní – s břity na válcové a čelní ploše
- Kotoučové – s břity na válcové a obou čelních plochách
- Kuželové – s břity na jedné nebo dvou kuželových plochách
- Tvarové – s břity na tvarových plochách [4]

Podle tvaru zubů frézy:

- S frézovanými zuby – zubové mezery se frézují kuželovými frézami.
- S podsoustruženými zuby- hřbety zubů těchto fréz se obrábějí na tzv. podtáčecích soustruzích a mají tvar Archimédovy spirály (používají se zejména u tvarových fréz). [4]

Podle průběhu ostří zubů frézy:

- S přímými zuby – mají zuby rovnoběžné s osou.
- Se zuby do šroubovice – pravotočivé nebo levotočivé. [4]

Podle upínání dělíme frézy:

- Stopkové – s kuželovou stopkou (Kůžel Morse nebo ISO) nebo s válcovou stopkou.
- Nástrčné. [4]

Podle konstrukce rozeznáváme frézy:

- Celistvé – monolitní.
- S vyměnitelnými břitovými destičkami – se zuby z rychlořezných ocelí, slinutých karbidů, řezné keramiky nebo polykrystalického kubického nitridu boru.
- Skládané – z více fréz – slouží pro frézování složitých tvarů. [4]

## 1.2 Stroje

Frézek existuje mnoho druhů. Níže jsou popsány vybrané z nich.

### 1.2.1 Konzolové frézky

Konzolové frézky jsou zastoupeny nejpočetněji. Jejich název je odvozen od konzoly, která je posuvná po stojanu. Na ní se nachází pracovní stůl pro upínání obrobku. Konzola umožňuje svislý posuv stolu. Stůl má příčný a podélný posuv. Tyto pohyby jsou zajištěny pomocí šroubů a matic, které umožňují pohyb obrobku ve třech osách. Pohon je zajištěn samostatným motorem s převodovkou a je nezávislý na otáčkách vřetene. [1]

Konzolové frézky dělíme na:

- vodorovné konzolové frézky,
- svislé konzolové frézky. [1]

### 1.2.2 Univerzální konzolové frézky

Univerzální konzolové frézky dělíme na:

- nástrojářské frézky,
- kopírovací frézky. [1]

### 1.2.3 Stolové frézky

Jejich hlavním poznávacím znakem je příčný a podélný stůl. Nemají konzolu. Jejich výhodou je přesně definovaná a neměnná výška stolu. Pohyb ve svislém směru pro nastavení nástroje vzhledem k obrobku je zajištěn přemísťováním frézovacího vřetene po vedení stroje. Obvykle jsou tužší a přesnější než konzolové frézky. Většinou se používají pro výrobu rozměrnějších a těžších součástí. [1]

Stolové frézky dělíme na:

- vodorovné frézky,
- svislé frézky,
- revolverové stolové frézky. [1]

### 1.2.4 Rovinné frézky

Na rozdíl od konzolových frézek se stůl pohybuje pouze v podélném směru po pevném loži. Po svislém stojanu frézky se pomocí pohybového šroubu pohybuje vřeteník. Nástroj se pohybuje příčně vysouváním pinoly z vřeteníku. Rovinné frézky se vyrábějí s jedním vřeteníkem, nebo mohou mít druhý stojan s vřeteníkem na opačné straně stolu. Vřeteníky jsou na sobě nezávislé a mají samostatnou převodovku i motor. Na rovinných frézkách se většinou obrábějí rovinné, svislé a šikmé plochy, drážky větších součástí pomocí frézovacích hlav, čelních, kotoučových a skládaných fréz. Vyznačují se velkým výkonem a velice dobrou geometrickou přesností. [1]

Rovinné frézky dělíme na:

- vodorovné rovinné frézky,
- rovinné frézky s výložníkem,
- rovinné portálové frézky. [1]

### 1.2.5 Speciální frézky

Do této skupiny se řadí frézky pro různé speciální operace.

Speciální frézky dělíme na:

- frézky na závity,
- frézky na ozubení,
- frézky na drážky,
- frézky na vačky,
- pantografické frézky,
- frézky karuselové,
- frézky bubnové,
- frézky pro rotační frézování. [3]

## 1.3 Uplatnění CNC frézování

Číslicově řízené výrobní stroje (CNC) jsou charakteristické tím, že ovládání pracovních a pomocných funkcí stroje je prováděno řídicím systémem pomocí vytvořeného programu. Informace jsou v programu zapsány pomocí alfanumerických znaků. Vlastní program je dán posloupností oddělených skupin znaků, které se nazývají bloky nebo věty. Program je určen pro řízení silových prvků stroje a zaručuje, aby proběhla výroba součástí. [5]

Číslicové řízení se uplatňuje ve všech oblastech výroby:

- obráběcí stroje,
- tvářecí stroje,
- stroje pro svařování, řezání plamenem, laserem, vodním paprskem,
- měřicí stroje. [6]



Nasazení NC strojů může být provedeno jednotlivě, skupinově nebo v integrované soustavě. Způsob nasazení souvisí s:

- velikostí firmy,
- typem produkce,
- zabezpečení firmy pracovníky,
- počtem výrobků,
- složitostí výrobků,
- typem výrobku. [6]

Automatizace výrobních operací pomocí číslicového řízení byla, tak jako většina činností, limitována znalostním vývojem, schopnostmi techniky a technologie. V lidských dějinách obvykle špičkové znalosti pohání kupředu válečný konflikt. Na konci druhé světové války začaly být vyráběny proudové motory pro pohon stíhacích tryskových letadel. Lopatky kompresorů a turbín těchto motorů jsou na výrobu tvarově velmi náročné výrobky, které navíc musí splňovat velmi přísná kritéria kvality. Konvenční výroba byla časově zdlouhavá a tím velmi nákladná. Vzhledem k tomu, že v průběhu II. světové války byly sestrojeny první elektronické počítače, které mohly být použity jako základ řídicího systému stroje. Bylo možné zkonstruovat první stroje řízené číslicovým řídicím systémem. [6]

## 2 PROGRAMOVÁNÍ CNC STROJŮ

Technologie obrábění při zpracování NC programu se v principu neliší od konvenční technologie. Při zpracování touto technologií se vychází z obecných principů – postupnou volbou technologických operací (hrubovacích, dokončovacích), nebo úkonů v logickém sledu, se realizuje požadovaný technologický výsledek. NC technologie, na rozdíl od klasického pojetí, je zpravidla řešena na detailnější úrovni, proto se musí při zpracování NC technologie respektovat např. způsob frézování (sousedné, nesousedné, kombinované, atd.), dynamické nebo jiné charakteristiky NC stroje. Pro dosažení požadované přesnosti při realizaci dokončovacích operací se musí respektovat i geometrické parametry nástroje atd. [7]

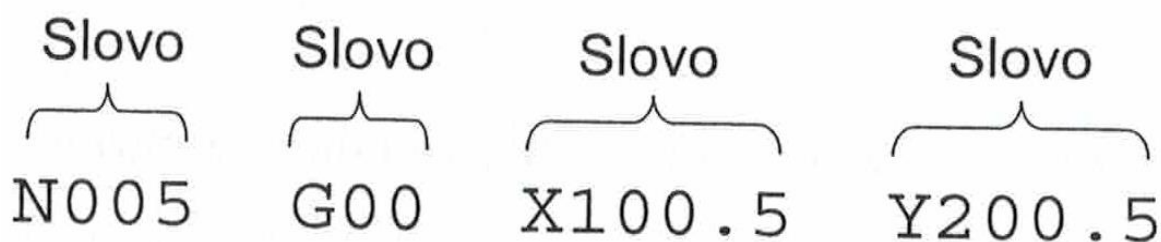
### 2.1 Metody programování

NC, resp. CNC program je řídicí program, který má předepsanou strukturu. Program je sestavený pomocí speciálního jazyka nízké úrovně.

Pro zápis programu je k dispozici standardní abeceda, která je tvořena číslicemi, písmeny a speciálními znaky (např. + - /). Samotné znaky nemají zpravidla konkrétní informační význam v programu. Významové informační celky vzniknou až po seskupení určitého počtu znaků. Základním prvkem NC programu je slovo.

Slovo nazývané také funkce se sestává ze dvou částí:

1. Adresní část – abecední znak.
2. Významová část – numerická hodnota. [7]



Obr. 5. Struktura bloku NC programu. [6]

Pro tvorbu NC programů se všeobecně používá 40 až 50 slov. Konkrétní použitelná množina závisí na typu použitého NC systému, stroje a výrobce. Posloupnost slov tvoří blok programu nazývaný také příkaz a postupnost bloků tvoří NC program. [7]

Vytvoření programů pro řízení NC/CNC obráběcího stroje je možné různými způsoby. Literatura a praxe uvádí několik možných rozdělení:

- online – programování přímo na CNC stroji, dílenské programování
- offline – tvorba NC programu mimo řídicí systém:
  - ručně (psaní pomocí ISO/DIN kódu),
  - pomocí CAM systému. [8]

Další možné rozdělení:

- přímé psaní NC kódu (ISO/DIN),
- použitím geometrických programovacích jazyků,
- použitím CAM systému,
- použitím CAD/CAM systému. [8]

Další možnosti rozdělení:

- ruční,
- strojní. [8]

### 2.1.1 Programování ruční

Ruční programování NC stroje má využití především v opravárenských provozech, kde stroj není tolik vytížen a programování je možné přímo u stroje. Dále také tam, kde výkresy nejsou dodávány ve formě CAD dat. Je určeno pro jednodušší, tvarově nenáročné součásti. [8]

### 2.1.2 Strojní programování – programování pomocí CAM systému

CAM označuje systém, který připravuje data a programy pro řízení numericky řízených strojů pro automatickou výrobu součástí. Tento systém využívá geometrické a další informace vytvořené ve fázi návrhu v systému CAD. Představuje v užším pojetí automatizované operativní řízení výroby na dílenské úrovni a zahrnuje i automatický sběr dat o skutečném stavu výrobního procesu, numericky řízené výrobní systémy, automatické dopravníky a automatické sklady. Produkty tohoto charakteru umožňují simulovat sled technologických operací při vlastní výrobě součástí. Umí také simulovat práci jednotlivých nástrojů v nejrozličnějších technologiích obrábění, např. frézování, soustružení, vrtání, elektro-

erosivní obrábění, obrábění laserem, vodním paprskem atd. Po prověření a odzkoušení bezpečného chodu výroby součásti je tímto modulem vygenerován program pro řízení NC, CNC strojů. [8]

## 2.2 Verifikace CNC programu

Verifikace je označení procesu, kdy dochází k odhalování chyb při obrábění. Je doplněna o vizualizaci a zobrazuje nástroj, dřík, vřeteno, upínače a stroj v závislosti na prvcích, které jsou do simulace vloženy. Kromě kolizí lze při simulaci zjistit také chyby, při kterých nebyl obrobek obroben. [9]

### 2.2.1 CL Data podobná APT

Rozvoj programovacích jazyků spolu s využitím výpočetní techniky v 60. letech 20. století umožnil změnu způsobu programování NC strojů pomocí problémově orientovaných programovacích prostředků. Jedním z prvně vzniklých programovacích prostředků byl jazyk ATP (Automatically Programmed Tools). ATP je geometricky orientovaný procedurální programovací jazyk. Sestává se z údajů definujících geometrii, tj. z jednoduchých bodů, čar, kružnic a komplexních povrchů a údajů generující pohyb nástroje. Tento pohyb může být generován přímo, nebo podle předem definované geometrie. Avšak v současné době zájem o APT klesá. Jediným důvodem, proč tento pojem stále existuje, je ten, že některé moderní CAD/CAM systémy využívají při generování textových CL dat formát, který je podobný datům technologické části programu APT. [10]

### 2.2.2 Rozdělení CL dat

CL data (cutter location data) jsou výstupní data z technologického procesoru CAD/CAM systému. Někdy se nazývají také jako „center location data“. Slouží jako vstupní data do postprocesoru. CL data jsou zpravidla definovaná ve tvaru, který je zpracovatelný konkrétním postprocesorem daného CAD/CAM systému a vyjadřují interní výsledek činnosti technologického procesoru CAD/CAM systému. CL data je možné vypisovat v několika formátech, jež jsou blíže specifikovány níže. [10]

- **Tradiční CL data dle normy ISO 3592**
- **CL data v textové podobě podobné APT (viz výše) [10]**

Jinak lze data chápat jako formát, který obsahuje srozumitelný popis interní struktury činnosti technologického modulu CAD/CAM systému. CL data jsou ve formátu ASCII a v podstatě obsahují prostorové souřadnice koncového pohybu nástroje. Formát CL dat je normován normou ISO/DIN. I přes tuto skutečnost je u různých CAD/CAM systémů interpretován s drobnými odchylkami. [10]

### 2.2.3 Struktura CL dat

Struktura CL dat lze popsat z hlediska struktury souboru několika skupinami informací:

- hlavička ToolPath,
- hlavička procedury,
- definice technologických činností,
- definice souřadnic nutných pro řízení pohybu nástroje,
- zakončení procedury,
- zakončení ToolPathu. [10]

#### 2.2.3.1 Obecná struktura CL dat

Výše zmíněnou obecnou strukturu CL dat je možné členit dále v jednotlivých informačních záznamech, či jejich sekvencích. CL data se sestávají ze sledu záznamů, které dohromady tvoří jednotný soubor CLDATA. Referenčními osami souřadnicového systému CLDATA jsou osy X, Y a Z. Tyto souřadnice určují vzájemný vztah seřizovacího bodu nástroje v souřadnicovém systému obrobku. Každý záznam se sestává ze sledu prvků, jejichž maximální počet může být 245. [10]

Tyto prvky mohou mít tvar:

1. Celého čísla.
2. Reálného čísla.
3. Písmenného znakového řetězce.
4. Klíčového slova. [10]

Každý prvek se skládá ze sady znaků. První dva prvky jsou vždy celá čísla, ostatní prvky mohou být jakékoliv kombinace reálných čísel, písmenných znakových řetězců nebo klíčových slov, které splňují syntaxi jednotlivého záznamu.

První prvek každého záznamu obsahuje pořadové číslo jedna a každý další se zvětší o jedničku. Norma ISO 3592 stanovuje formát záznamu CLDATA pro postprocesorové povely. Je zde stanovena také specifikace týkající se názvů a parametrů povelů. Záznamy třídy 2000 obsahují specifické instrukce pro postprocesor a jsou několika prvky. [10]

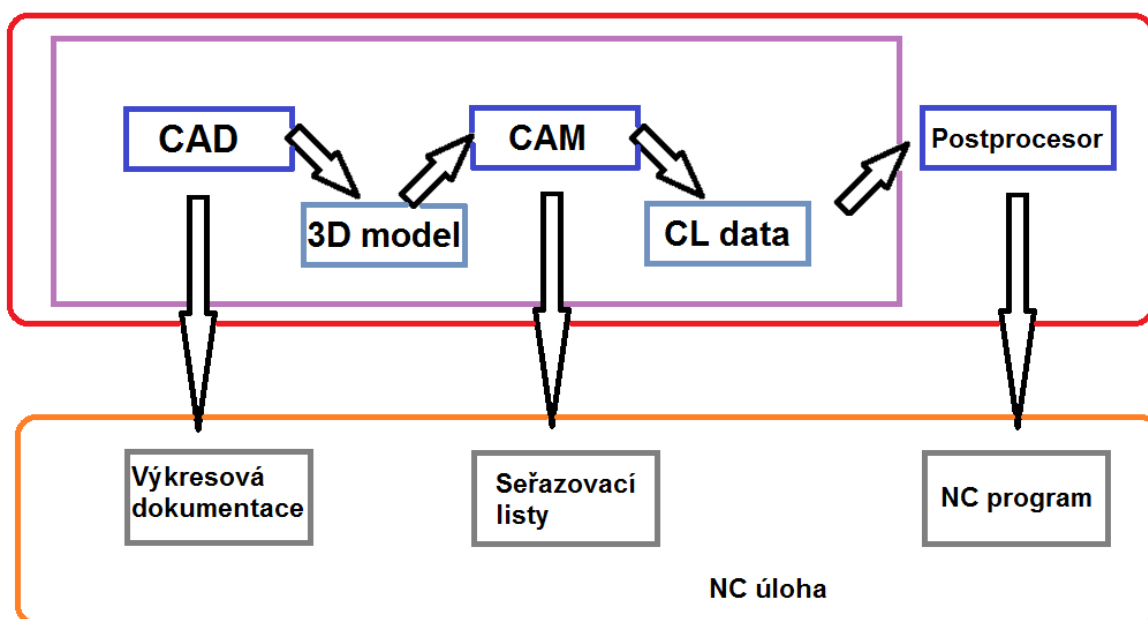
- Prvek 1 (celé číslo) je pořadové číslo záznamu. [10]
- Prvek 2 (celé číslo) je 2000, identifikuje záznam jako typ postprocesorového povelu s celočíselným kódem. [10]
- Prvek 3 (celé číslo) je číselný kód hlavního slova identifikující postprocesorový povel. [10]
- Prvek 4 (různě) obsahuje volitelný seznam parametrů postprocesorového povelu. [10]

Klíčová slova jsou vyjádřena třetím prvkem a dále jako číselné kódy.

Jestliže se tato data mají zpracovat, např. pro NC stroj, který nepodporuje kruhovou interpolaci, pak technologický procesor musí vygenerovat krátké lineární úseky, které budou provádět aproximaci oblouku s definovanou tolerancí. Tento úkol má přímou souvislost s nadefinováním příslušných technologických parametrů týkajících se stroje a řídicího systému v CAD/CAM systému. Pro každý oblouk by pak vygenerovaná CLDATA obsahovala typ 3000. Tento záznam pak předá postprocesoru informaci, že následující záznam polohy nástroje obsahuje jednu nebo několik souřadnic interpolovaných podle daného typu povrchu (např. již zmíněné kružnice). V případě zmíněné segmentace by následoval záznam typu 5000, který obsahuje s ohledem na nástroj údaje o poloze nástroje a jeho polohový vektor. Body vyjádřené v záznamu typu 5000 obsahují údaje o poloze nástroje a jeho polohový vektor. Body vyjádřené v záznamu typu 5000 obsahují údaje o poloze nástroje  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$  a jsou vždy vyjádřeny jako absolutní rozměr v kartézských souřadnicích. Mohou také obsahovat vektor osy nástroje  $I$ ,  $J$ ,  $K$ , popř. vektor normály k povrchu  $L$ ,  $M$ ,  $N$ . V případě existence kruhové interpolace u NC stroje se údaj o poloze stroje nechá zobrazit prostřednictvím záznamu 15000, který nese informace o nesegmentovaném vyjádření dráhy pohybu nástroje. [10]

#### 2.2.4 Postprocesorové zpracování souboru CL DATA v CAD/CAM systémech

Současné CAD/CAM systémy integrují modelování součástky společně s jejím konstrukčním návrhem, návrhem technologické dokumentace ve formě NC programů a operativní řízení výroby do jednoho počítačového systému. Jejich využití umožňuje technologovi programátorovi vytvořit technologii obrábění, definovat dráhy nástrojů a generovat NC programy i pro tvarově velmi složité součástky. Výsledným produktem CAM systému jsou CLDATA, která obsahují všechny kroky drah nástroje a technologického postupu. Pokud chceme propojit informace, které produkuje CAM systém s daným číslicově řízeným strojem, musíme použít NC **postprocesor**. Pro rychlejší tvorbu postprocesoru slouží generátor postprocesorů. Faktem je, že univerzální postprocesor neexistuje a je nutné ho vytvořit a naprogramovat pro každý stroj zvlášť. [11]



Obr. 6. Schéma postupu přípravy NC programu pomocí CAD/CAM systému.

### 3 DEFINICE A ROZDĚLENÍ POSTPROCESSORŮ

Existuje mnoho obráběcích strojů s různými řídicími systémy, a proto je potřebné přeložit vygenerovaná CLDATA do jazyka konkrétního řídicího systému. K tomuto účelu slouží tzv. postprocesory. Tyto slouží k převodu souboru CLDATA z CAD/CAM systému do datového jazyka konkrétního obráběcího stroje. Postprocessor by měl vždy být vytvořený pro konkrétní NC stroj a řídicí systém. Pokud tomu tak není, vzniká možnost chyb a dalších problémů. [11]

Kvalitní postprocesor obsahuje různé informace o vlastnostech daného stroje. Díky tomu je možné optimálně a efektivně využít všechny jeho funkce v souladu s CAD/CAM systémem. Pro tvorbu postprocesorů je potřebné orientovat se ve znalosti formátu CLDATA souboru konkrétního CAM systému. Je to z důvodu, kdy pravděpodobně neexistují dvě identické konfigurace obráběcího CNC stroje a počet možných kombinací je tak velmi vysoký. [11]

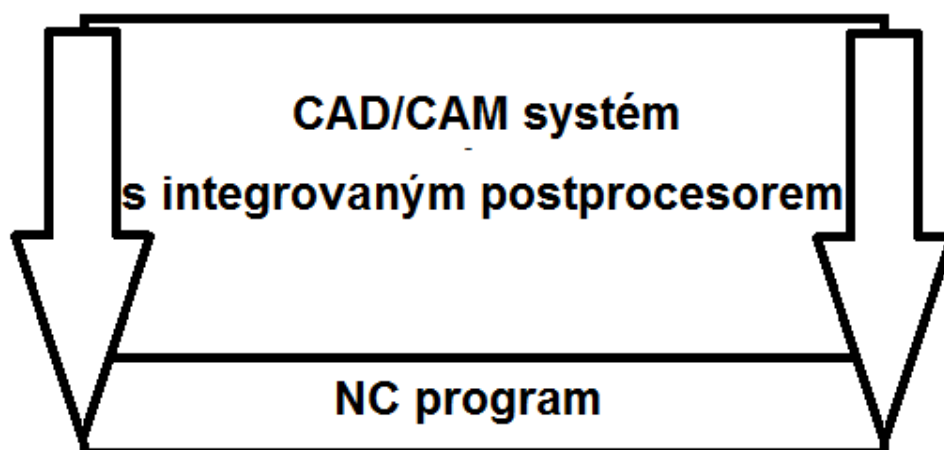
Postprocesory lze rozdělit do dvou základních skupin.

- Interní postprocesory
- Externí postprocesory [11]

#### 3.1 Interní postprocesory

Jsou implementované přímo v prostředí CAD/CAM systému. Znamená to, že po vytvoření dráhy v CAM systému se definuje potřebný postprocesor a vygeneruje se NC program pro zvolený obráběcí stroj. CLDATA mohou, ale také nemusí být zapsané do souboru. NC programy, které jsou vytvořené pomocí interního procesoru se používají na řízení CNC výrobních strojů, např. soustruhů, frézek, vrtaček, ohýbaček, brusek, řezných strojů konvenčních a nekonvenčních (vodní paprsek, laser, plazma). Na vytvoření postprocesoru je potřebný konfigurační soubor, který využívá postprocesor. Interní postprocesor nelze napsat v libovolném programovacím jazyku, ale pouze v takovém, který podporuje CAM systém, ve kterém je postprocesor implementovaný. [11]

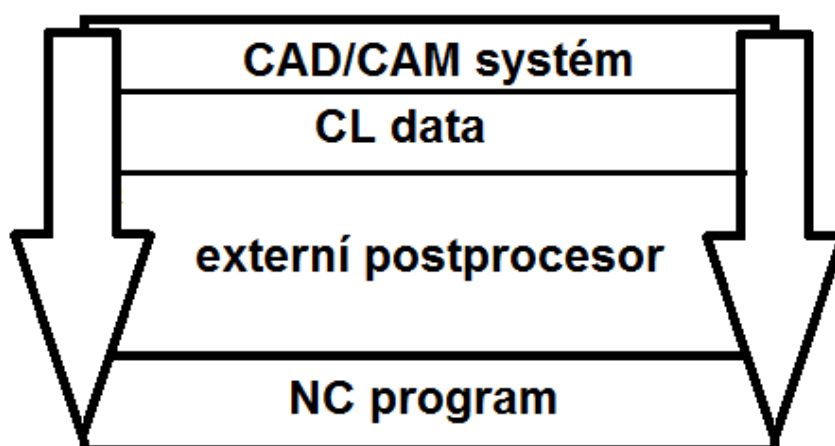




Obr. 7. Implementovaný postprocesor přímo v CAM systému. [11]

### 3.2 Externí postprocesory

Nejsou přímo implementované v systémech. Na rozdíl od interního postprocesoru, který může pracovat jen v prostředí, ve kterém byl vytvořený, lze externí postprocesor používat i mimo prostředí CAD/CAM systému. Vstupem do postprocesoru jsou CLDATA, výstupem je NC program pro konkrétní řídicí systém obráběcího stroje. Může být vytvořen v libovolném programovacím jazyku (Pascal, C, Lisp, Fortran atd.). Při tvorbě takového typu postprocesoru se vyžadují znalosti struktury souboru CLDATA a také dobré znalosti NC technologií a řídicích systémů. [11]



Obr. 8. Externí postprocesor mimo CAM systém. [11]

### 3.3 Ověřování programu

Každý program by měl být psán s cílem správnosti. Ne vždy se tak podaří a mohou se vyskytnout chyby. Kontrola těchto chyb může být jednoduchá, jako například vizuálním porovnáváním vyhotovení a výtisku. Hlavním účelem kontroly programu je odhalení zřejmých chyb. [12]

#### 3.3.1 Oprava chyb

Předtím, než je možné chybu opravit, musí být prvně nalezena. Záměrem každého programátora je, aby případné chyby byly odhaleny dříve, než bude program pracovat na CNC stroji. Má-li být chyba opravena na stroji při skutečném běhu programu, musí CNC operátor udělat něco, co je za normálních okolností součástí jeho práce. Z toho důvodu existují dvě opatření, která mohou pomoci eliminovat chyby v CNC programech:

- preventivní opatření,
- nápravná opatření. [12]

Preventivní opatření jsou ta, kdy se všechny zúčastněné strany podílí na návrhu a podávají konstruktivní kritiku. Na druhou stranu nápravná opatření vyžadují určité schopnosti a znalosti v oboru. [12]

##### 3.3.1.1 Preventivní opatření

Všechny chyby by měly být zjištěny a opraveny programátorem. Prvním preventivním opatřením je zřízení postupů a nastavení standardů. Nastavení pravidel. Poté podle těchto pečlivě postupuje. První metodou, kterou by měl programátor při kontrole svého programu udělat je jednoduchá, přečíst program a vyhodnocovat jej. Programátoři znají strukturu programu, zavedené standardy, pořadí jednotlivých příkazů na začátku a konci každého nástroje. Druhým způsobem je spolupráce se jinými programátory, či kvalifikovanými subjekty. Třetí možností je využití počítače a speciálního simulačního softwaru, kde se dá pomocí přiloženého NC PLOT zobrazit graficky dráha nástroje. Převážná část opatření slouží ke zjištění syntaktické chyby. Syntaktická chyba je taková chyba, kterou lze detekovat pomocí řídicí jednotky. Například, pokud se objeví v programu znak dolaru, je toto zamítnuto jako „nelegální“. Pokud je napsáno číslo 2,

namísto zamýšleného čísla 7, nejedná se o syntaktickou chybu, ale o chybu logickou, protože oba znaky jsou legitimní a ovládání je může přijmout. [12]

### 3.3.1.2 Nápravná opatření

Je-li chyba odhalena touto kontrolou, pak preventivní opatření nezafungovala. Chyba, která se nachází na stroji, zpomaluje výrobu. Obsluha stroje je tak nucena přijmout nápravná opatření a eliminovat tuto chybu. Operátor má na výběr ze dvou možností. První je vrátit program programátorovi, druhou opravit chybu na stroji. Která volba je lepší, závisí na závažnosti chyby. Chyba může být lehká, či závažná. Lehká chyba nevyžaduje ukončení procesu na CNC stroji. Například chybějící funkce chladicí kapaliny M08 v programu může být ručně zapnuta na stroji, bez nutnosti přerušení běhu programu. Jestliže dojde k chybě závažné, musí být zpracování programu zastaveno, neboť se jedná o jediné možné řešení z důvodu zabránění poškození stroje, nebo nástroje. Typickým příkladem je chybně naprogramovaný pohyb nástroje, který odebírá materiál ve špatném směru. Program sám o sobě je špatný a musí být opraven.

Časová zpoždění na CNC strojích jsou velmi nákladná, a čím dříve je program opět funkční, tím menší škody byly způsobeny. Vždy, když je program změněn na stroji, musí být tato změna zadokumentovaná ve všech kopiích programové dokumentace. [12]

### 3.3.2 Grafické ověřování

Chyby v programování mohou být nákladné, i když jejich příčinou je pouze menší lidská chyba. Například vynecháním znaménka mínus ztratíme desetinnou čárku. To je drobné přehlédnutí, které způsobuje závažné chyby. I když je program vizuálně zkontrolován a měl by být bez chyb, ne vždy se tak stane. Jednou z nejspolehlivějších metod je grafické zobrazení dráhy nástroje tak, jak je uvedena v programu. Tímto způsobem mohou být téměř všechny chyby vztahující se k dráze nástroje brzy odhaleny.

Jednou z metod grafického ověření CNC programu je diagram obrazovky. Tato volitelná funkce ukáže všechny naprogramované pohyby nástroje na obrazovce. Pohyby nástrojů jsou zobrazeny jako čáry a oblouky. Posuvy se zobrazí jako plná čára zvolené barvy, rychlé pohyby znázorňují čáry přerušované.

Dráha řezného nástroje může být v simulaci zobrazena zvolenou barvou, lze tak tedy jednotlivé nástroje odlišit. Některé grafické simulace používají skutečný tvar nástroje pro realistické zobrazení. Negativní stránkou každé grafické kontroly je to, že ji lze použít pouze tehdy, jestliže je program načten do ovládacího prvku.

Druhá metoda ověření je mnohem starší, než ta první. Je v tištěné podobě a jsou zde vyneseny pohyby všech řezných nástrojů. [12]

Třetí metoda používá software, který dokáže číst manuálně generovaný program, který poté zobrazí na obrazovce počítače. Typický software tohoto druhu je NC PLOT – software s mnoha pokročilými funkcemi. [12]

### 3.4 Simulace CNC obrábění

Na úvod této kapitoly lze s nadsázkou parafrázovat přísloví: "nejdřív měř, potom řež", které pro naše potřeby lze upravit do podoby: "nejdřív simuluj, potom obrať". [13]

Napsat jednoduchý NC program lze i v textovém editoru, pro výrobu složitých obrobků je dnes standardně využívána simulace ve speciálních programech. Tyto programy simulují prostředí CNC obrábění. V takovém programu programátor vytvoří program, odladí jej, nasimuluje průběh obrábění a po vyhodnocení a opravení případných chyb nahraje do CNC stroje. [13]

Praxe ukazuje nutnost provádět testování obrábění, díky kterému se hledá optimální nastavení NC generátoru (CAM), řídicího systému, či stroje samotného. Každé z těchto nastavení má vliv na kvalitu finálního výrobku. [14]

Hledání optimálního nastavení je náročný proces, což dokazuje i praxe. Ještě náročnější tuto skutečnost dělá zavádění nového typu obrobku. Stejně tak, jako neexistuje univerzální typ stroje pro libovolnou skupinu výrobků, neexistuje ani univerzální nastavení řídicího systému a strategie tvorby NC programu. Cílem nastavení je nalezení vyhovující kombinace vzhledem k požadovaným parametrům obrobku a technologickým možnostem výrobce. Nejvýraznější je tento problém při řešení problematiky frézování tvarově složitých dílců, např. forem. [14]

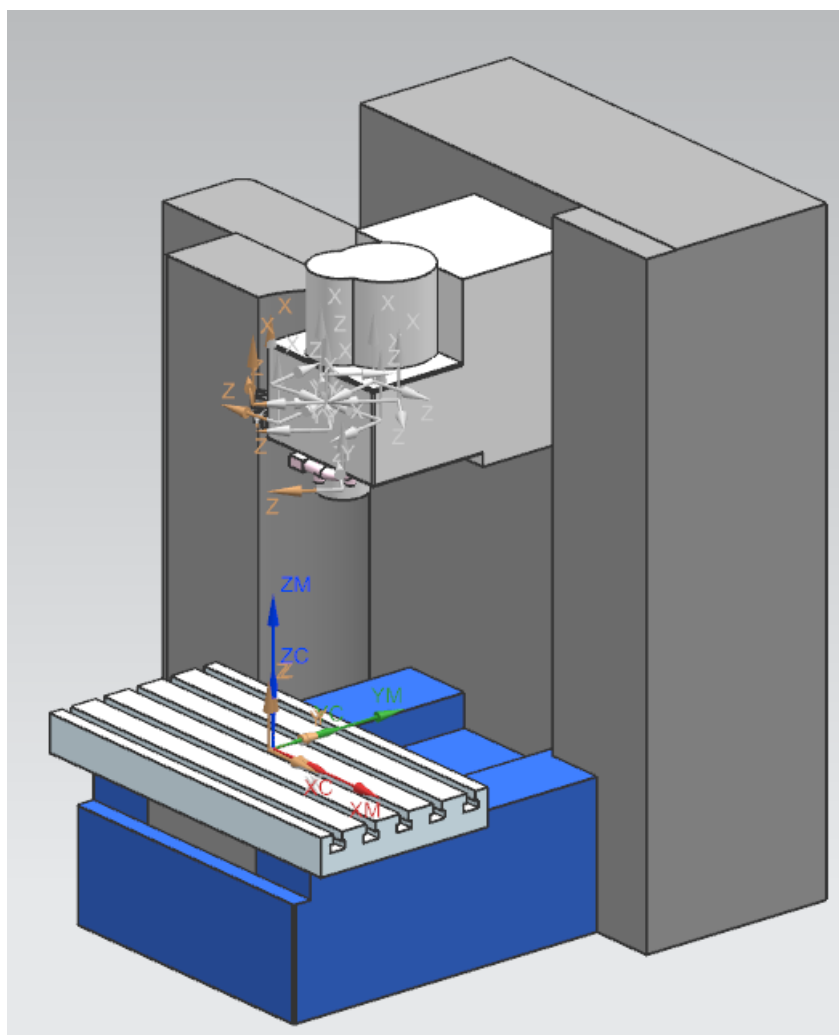


*Obr. 9. Pro dosažení požadované kvality povrchu obrobku je nutné provádět optimalizaci procesu. [18]*

Při konstrukci CNC obráběcího stroje se propojuje systém mechanický s numerickým řízením pohonů a zpracováním vstupních dat. Chování stroje je tak výsledkem vzájemného působení více faktorů. Na první místo se staví příprava CAD modelu a jeho interpretace CAM systémem. Výslednou kvalitu povrchu obrobku ovlivňují chyby vzniklé vlivem nastavení limitu přesnosti vytváření dráhových dat složených z lineárních úseků, které nahrazují původně hladký povrch CAD modelu dílce. [14]

## 4 SIMULAČNÍ MODEL STROJE

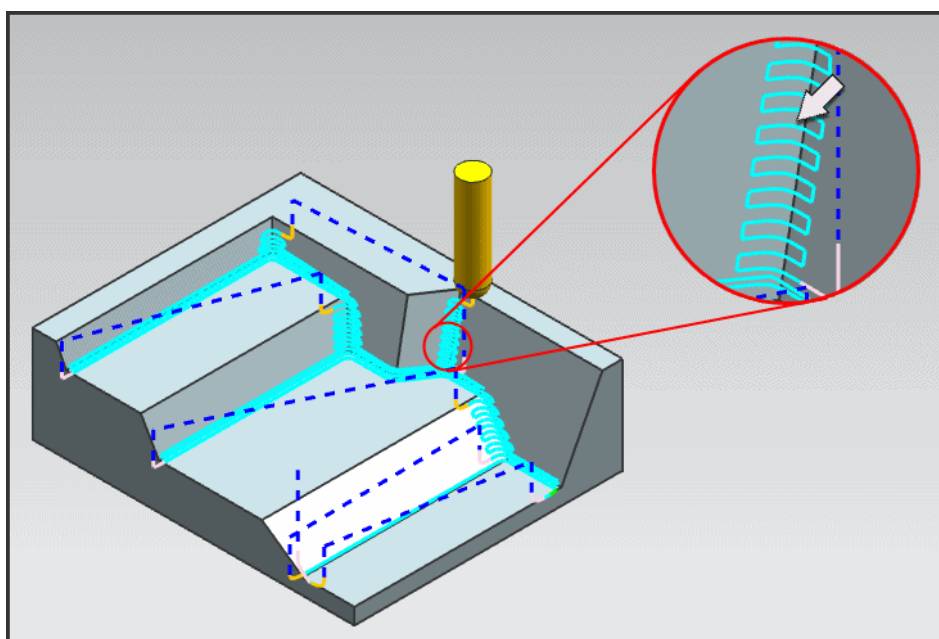
Základem strojní simulace je virtuální 3D model stroje. Základní podmínkou je přesné vyobrazení a nadefinování jednotlivých částí obráběcího stroje. Model tedy musí splňovat požadavky na tvar, rozměry a polohu. K získání tohoto modelu lze využít dvě cesty. První je ruční měření a následné modelování stroje, druhá cesta je požádat dodavatele stroje o jeho 3D model. Někteří dodavatelé mají pro účely strojní simulace 3D model předpřipravený. Nezbytným prvkem je též definice samotné kinematiky stroje, což je definice směrů, rozsah pohybů včetně přiřazení jednotlivých komponent stroje, které jsou v případě jednotlivých os v pohybu. Je důležité si uvědomit návaznost strojní simulace s následnou reálnou simulací. Pokud tedy dojde například k rozdílnému upnutí kusu na stroji oproti pozici při simulaci v simulátoru, budou se jednotlivé komponenty kinematiky dostávat při obrábění do jiných pozic, než při simulaci a je tedy reálná hrozba vzniku kolize. [14]



Obr. 10. Simulační model CNC frézky.

## 4.1 Dráha nástroje

Data vytvořená CAM systémem a zpracovaná postprocesorem do podoby NC dat jsou dále interpretována a je pomocí nich vytvořena dráha nástroje. Problém nastává v okamžiku, kdy nástroj bezzbytku interpretuje NC kód, tím pádem také prochází všemi zlomovými body a v každém z těchto bodů klesne osová rychlost na nulu. Dojde k zhoršení jakosti povrchu a k značnému prodloužení doby obrábění. Z tohoto důvodu jsou moderní CAM systémy vybaveny funkcí, jež redukuje a vyhlazuje generované dráhy. [14]



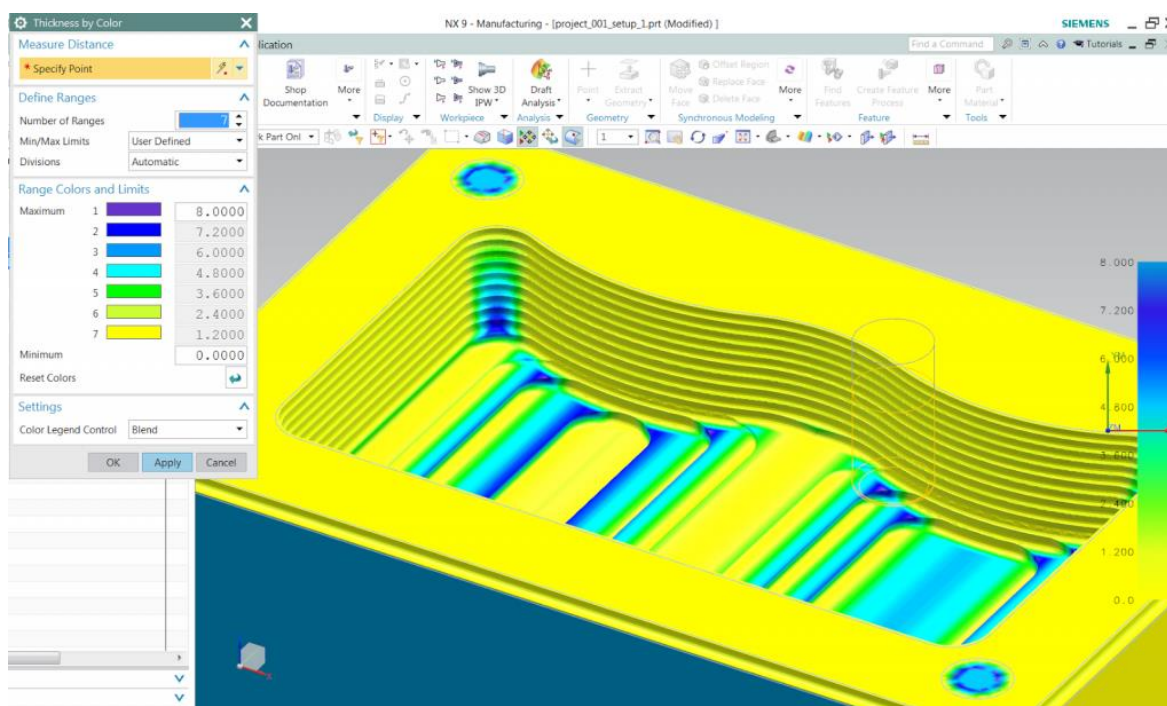
Obr. 11. Zobrazení dráhy nástroje. [19]

Simulace vygenerovaných drah slouží k:

- Zjištění kolizí mezi pohyblivými a pevně upevněnými částmi,
- grafickému znázornění míst, kde ke kolizím došlo,
- vizuální kontrole pohybu nástroje,
- barevného odlišení nástrojů na povrchu obrobků,
- úpravě simulačního prostředí blízkého se reálnému stavu při obrábění,
- analýze výskytu zbytkového materiálu nebo podřezání,
- odměření rozměrů obrobku s modelem,
- uložení a další zpracování modelu vytvořeného simulací. [8]

V programu NX je možnost zobrazení drah, detekce kolizí, změny barvy a průhlednosti obrobku. Nastavením parametrů kolize lze jasně určit, kdy ke kolizi dochází. V případě přiblížení vybraných součástí k sobě se zobrazí ikonka a kolize je tedy jasně patrná. [8]

Pro lepší orientaci při optimalizaci obrábění v prostředí programu NX je také velmi užitečná funkce "Show Thickness by Color", která zobrazí tloušťku zbytkového materiálu na ploše obrobku, viz Obr. 12.



Obr. 12. Barevně rozlišená tloušťka neodebraného materiálu. [20]



## **5 POČÍTAČOVÁ PODPORA OBRÁBĚNÍ (CAM)**

Počítačová podpora obrábění (CAM) je efektivní využití výpočetní techniky ve výrobním plánování a řízení. Počítačovou podporu obrábění lze nejčastěji použít ve výrobním strojírenství, což je plánování procesů a dílčí programování NC. I když jsou CAM systémy primárně používány k programování, mohou zvládat i další kroky výrobního procesu. [15]

### **5.1 Plánování výroby**

Využití CAM pro výrobní plánování jsou ta, ve kterých je počítač použit nepřímo na podporu produkční funkce. Mezi počítačem a procesem není přímé spojení. Počítač je používán "off-line" a poskytuje informace pro efektivní plánování a řízení výrobních činností. Důležité CAM aplikace této kategorie jsou:

#### **5.1.1 Návrh technického postupu (CAPP)**

Zabývá se plánováním výrobních procesů. Určuje se posloupnost operací, požadavky na stroje, nástroje, řezné parametry apod. [15]

#### **5.1.2 Počítačem řízená část NC**

V případě složitých geometrických dílů představuje počítačová asistence programování mnohem lepší generování řídicích instrukcí pro obráběcí stroj, než manuální programování. [15]

#### **5.1.3 Počítačová standardizace práce**

Je důležité stanovit časové normy pro jednotlivé úkony ve výrobním závodě. Stanovení norem přímým studiem může být časově náročný úkol. Pro řešení této situace existují počítačové programy, které byly vyvinuty pro základní pracovní prvky, které obsahují manuální práci. Program shrnuje časy pro jednotlivé úkony, které je nezbytné provést. Výstupem je standardizovaný čas pro tuto práci. [15]

#### **5.1.4 Plánování výroby a zásob**

Počítač je používán v širokém rozsahu funkcí v plánování výroby a skladování. Tyto funkce zahrnují údržbu inventárních záznamů, automatické přeskupení

skladových položek, pokud jsou zásoby vyčerpány, plánování výroby, požadavky na projektování a plánování kapacity. [15]

## **5.2 Kontrola výroby**

Druhou kategorií CAM aplikací je kontrola výroby, která se zabývá rozvojem počítačových systémů k provádění kontroly funkčnosti výroby. Kontrola výroby se zabývá řízením a kontrolou operací ve výrobě. [15]

### **5.2.1 Monitorování a řízení procesů**

Monitorování a řízení procesů se zabývá pozorováním a regulací výrobních zařízení v dílně. Systém počítačového řízení procesů je velmi rozšířený a automatizace výrobních procesů se stala běžnou záležitostí. Patří sem dopravníkové pásy, montážní systémy, robotika a další. [15]

### **5.2.2 Kontrola kvality**

Kontrola kvality zahrnuje celou řadu postupů k zajištění co nejvyšší úrovně kvality vyráběného výrobku [15]

### **5.2.3 Řízení zásob**

Řízení zásob se zabývá udržováním nejvhodnějšího stupně investičních a skladovacích nákladů na držení zásob a maximalizaci svých služeb pro zákazníky. [15]

### **5.2.4 Včasná produkce**

Termín právě včas (JIT) odkazuje na výrobní systém, který dodává přesný počet jednotlivých komponent do technologie ve správném pořadí a době, kdy jsou potřeba. [15]

## 6 SHRUTÍ TEORETICKÉ ČÁSTI

Teoretická část této bakalářské práce se obecně zabývala CNC frézováním, jeho způsoby, používanými stroji a nástroji. Zahrnuta zde byla také problematika programování CNC strojů, verifikace, simulace a modelování strojů a zařízení.

## **II. PRAKTICKÁ ČÁST**

## 7 MODELOVÁNÍ A TVORBA SIMULAČÍHO MODELU FRÉZKY HWT C-442

Základním zadáním této bakalářské práce bylo sestrojít model CNC frézky HTW C-442, který bude schopen simulovat obrábění. Toto bylo provedeno v programu NX 10.

### 7.1 Základní informace o CNC frézce

Několik základních údajů o modelované frézce je uvedeno v Tab. 1.

*Tab. 1. Základní informace o CNC frézce.*

Obráběcí prostor ( $X \times Y \times Z$ )	400 mm x 400 mm x 200 mm
Velikost upínací plochy ( $X \times Y$ )	500 mm x 500 mm, 8 mm T-drážky
Programovatelná rychlost posuvu	Max. 3m/min
Programovatelný krok	0,00625 mm
Otáčky vřetene	2000-25000 ot./min
Max. upínací průměr nástroje	10 mm
Motor vřetene	1000 W univerzální
Řídicí jednotka	PC
Vnější rozměry ( $\text{š} \times \text{h} \times \text{v}$ )	1200 mm x 1000 mm x 1400 mm
Hmotnost	410 kg
Max. hmotnost obrobku	20 kg

### 7.2 Tvorba modelu

Základem bylo vytvoření jednotlivých dílů, ze kterých se frézka sestává a následné složení těchto dílů do sestavy frézky. Nezbytným předpokladem pro následnou správnou funkci modelu jsou vazby, kterými se jednotlivé díly spojují.

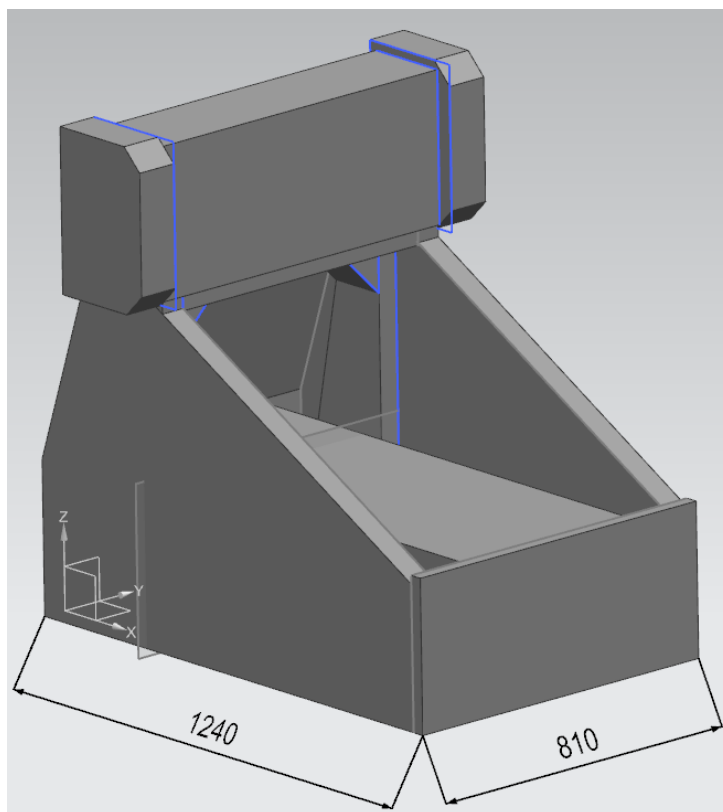
#### 7.2.1 Díly sestavy

Nejprve byla vytvořena nosná konstrukce frézky. Důraz byl kladen na dodržení naměřených rozměrů a také optickou podobnost vzorové frézce.

Poté započala tvorba pohyblivých částí, u kterých byly kromě rozměrů naměřeny i velikosti posuvů

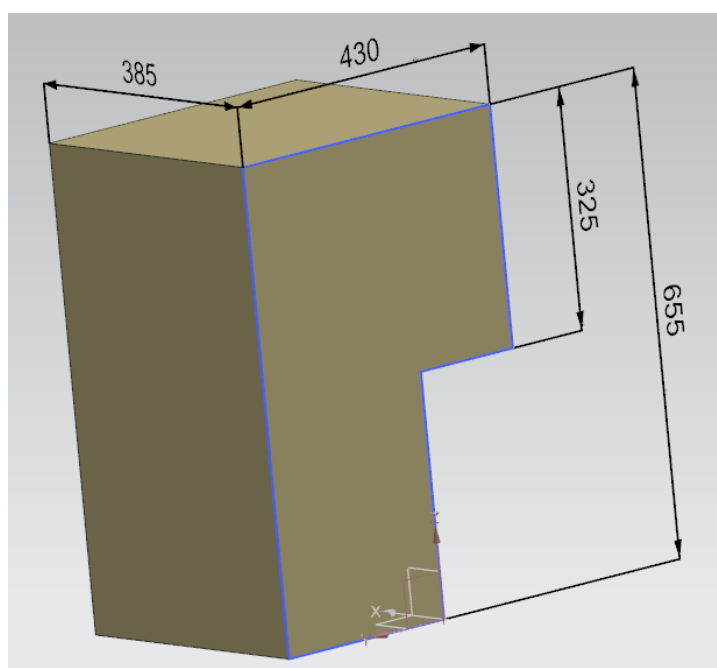
Jednotlivé komponenty, ze kterých se modelovaná frézka sestává, jsou:

### Kostra CNC frézky



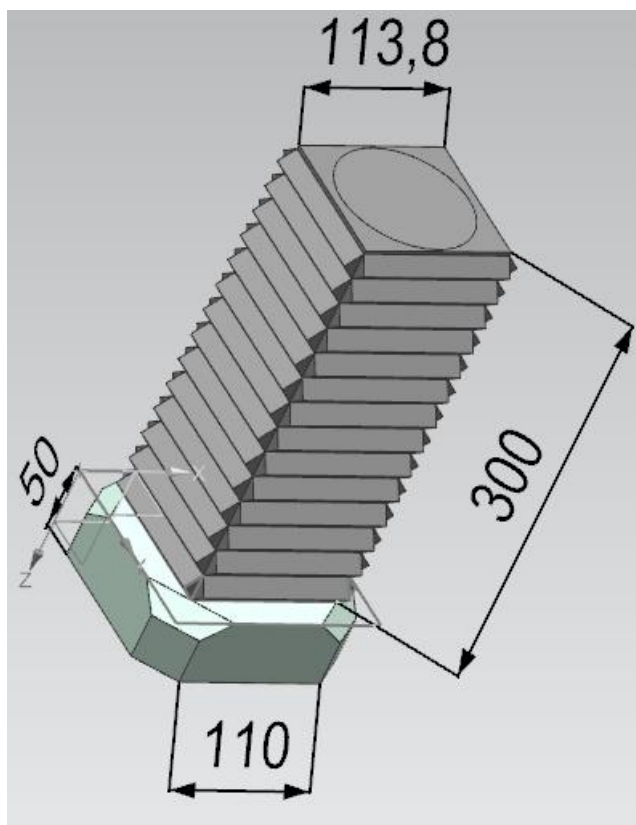
Obr. 13. Kostra CNC frézky.

**Vřeteník** - má nastaven rozsah pohybu v ose X, konkrétně se jedná o hodnotu posuvu 202,5 mm od nulové pozice ve směru X a  $-X$ .



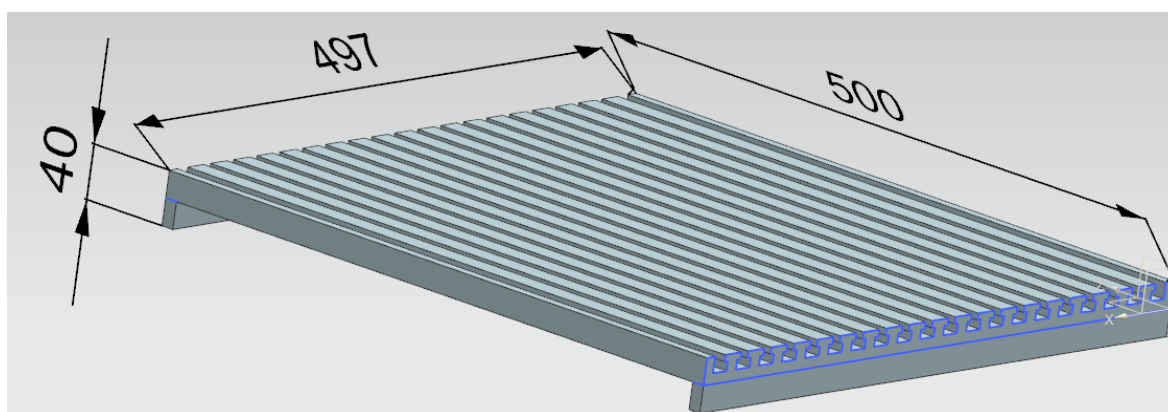
Obr. 14. Vřeteník

**Vřeteno** - je umístěno ve vřeteníku. Pohyb konaný ve směru osy Z má maximální hodnotu 199 mm od nulové pozice.



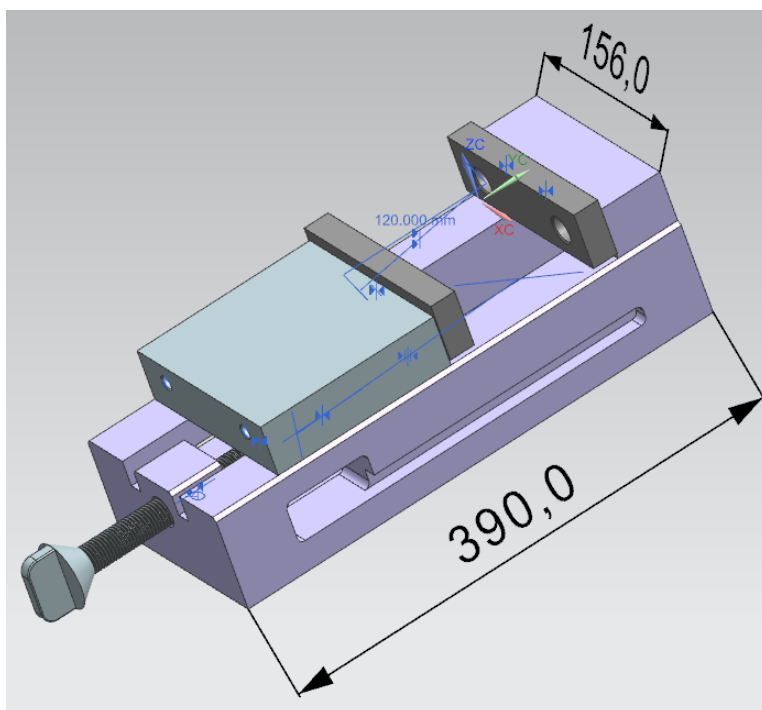
Obr. 15. Vřeteno.

**Stůl** – má na sobě upevněn svěrák, na nějž se upevní obrobek. Možný maximální rozsah pohybu stolu je  $\pm 200$  mm od nulové pozice stolu.



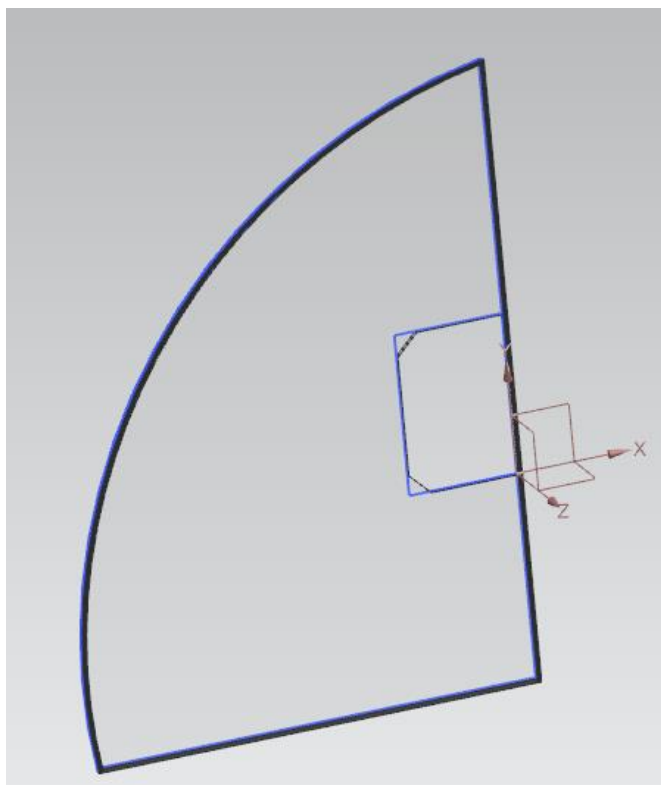
Obr. 16. Upínací stůl s T drážkami.

**Svěrák** – slouží k upnutí obrobku



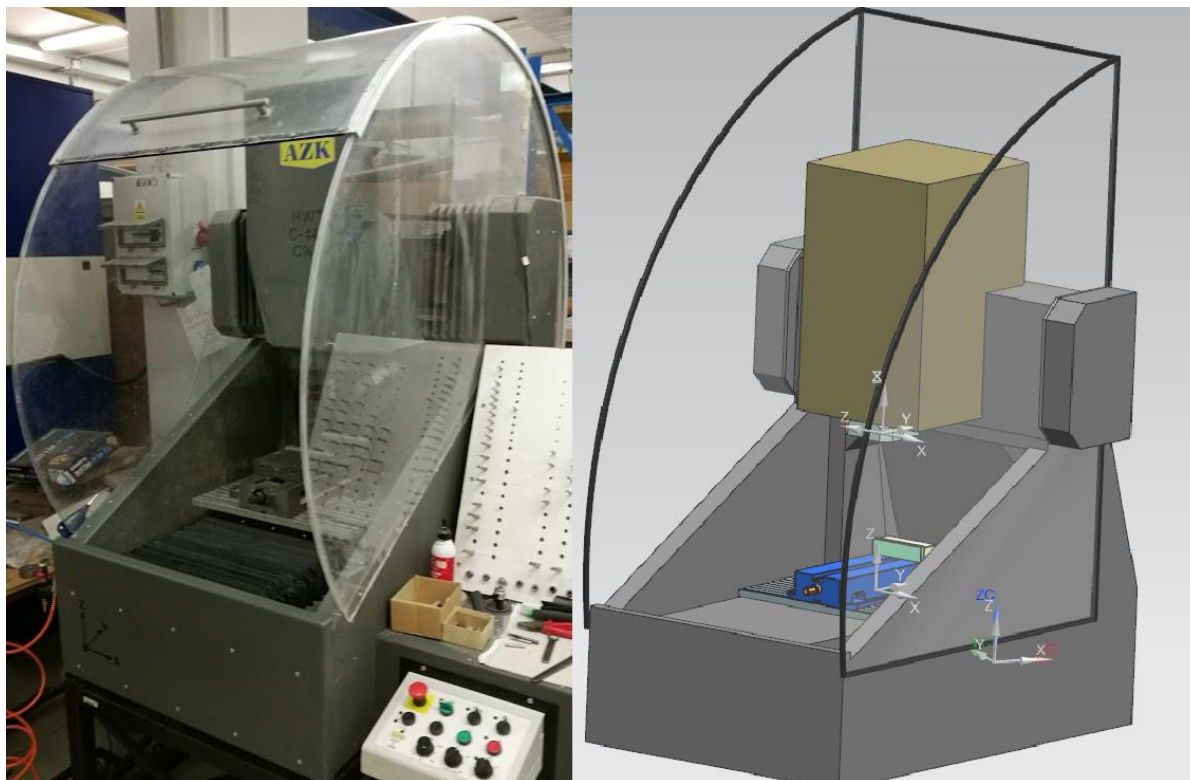
Obr. 17. Svěrák

**Boční plastové kryty** - byly vymodelovány především z důvodu vizuální podobnosti.



Obr 18. Boční kryt - „plexisklo“.

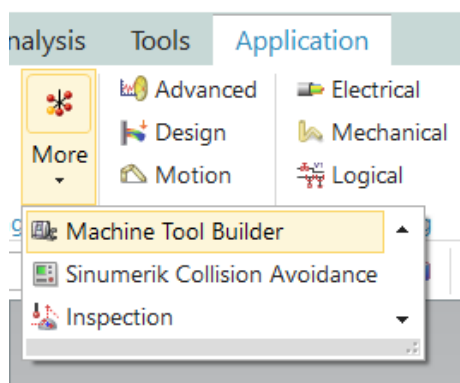




Obr. 19. Srovnání skutečné a konstruované frézky.

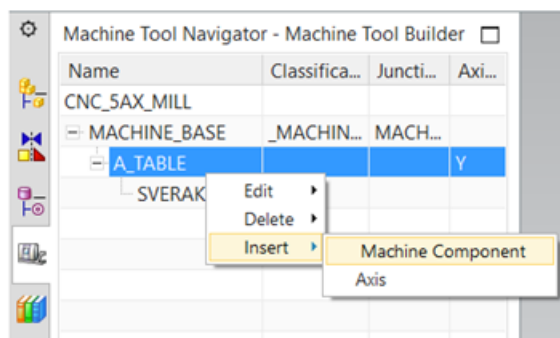
### 7.2.2 Tvorba CNC modelu v NX 10

Pro tvorbu samotného obráběcího stroje bylo přepnuto z tvorby modelu na „Machine Tool Builder“. Zde bylo nutné začít s výběrem součástí stroje a správným výběrem osy, ve které se daná součást pohybuje.

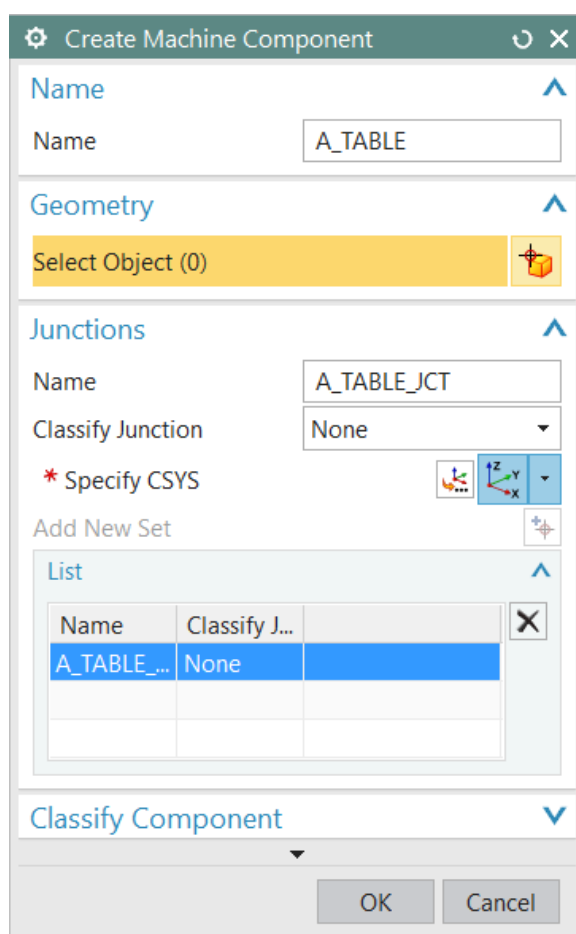


Obr. 20. Tvorba stroje v prostředí programu NX 10.

Dále bylo potřebné vytvořit sestavu a podsestavu pohyblivých komponent, což se dělo v záložce s názvem „Machine Tool Navigator“. Těmto sestavám a podsestavám bylo určeno, které pohyblivé součásti jim náleží a také byla vložena pozice jejich nulového bodu. Nulový bod je výchozí pozice, ve které se jednotlivé komponenty nachází a od něhož se udává velikost rozsahu pohybu v příslušné ose.

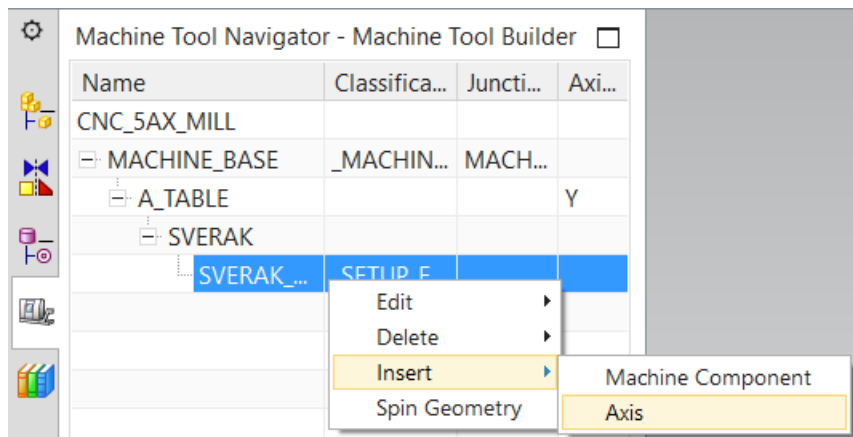


Obr. 21. Záložka Machine Tool Navigator v NX 10.

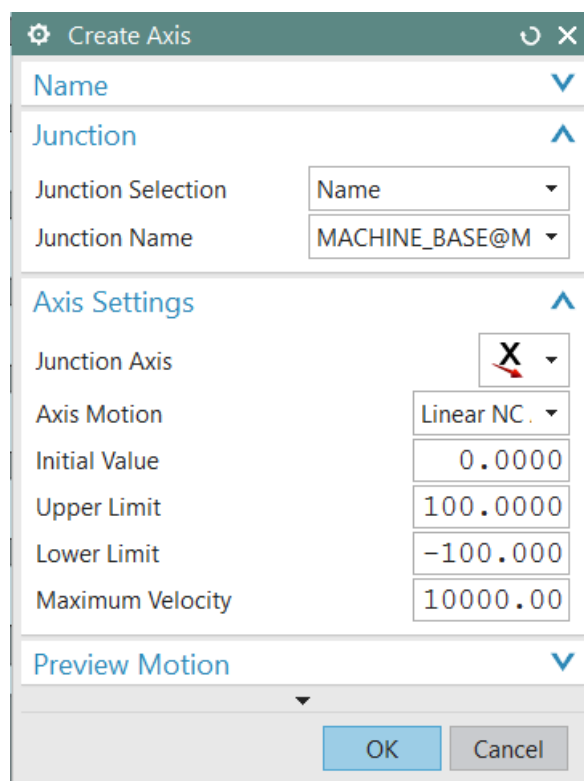


Obr. 22. Tvorba strojního komponentu.

Po zvolení příslušných komponent následovalo vložení os a rozsahu pohybu. Rozsah pohybu byl volen dle naměřených hodnot z CNC frézky HWT C-442 a byl měřen s přesností 1 mm.

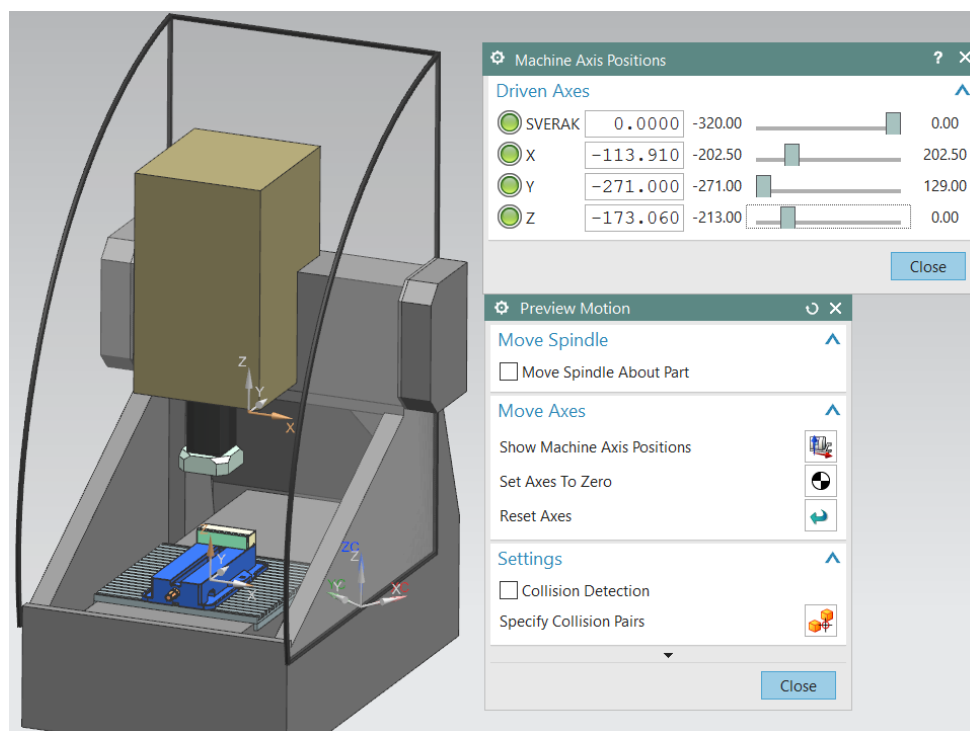


Obr. 23. Vkládání osy do komponenty.



Obr. 24. Vložení osy komponenty a velikosti posuvu.

Pro kontrolu a lepší pohled na celkovou funkčnost pohybu jednotlivých součástí v osách X, Y a Z bylo využito náhledu na pohyb, kde je možnost libovolného pohybu ve směrech os v rozsahu mezi limitními hodnotami.



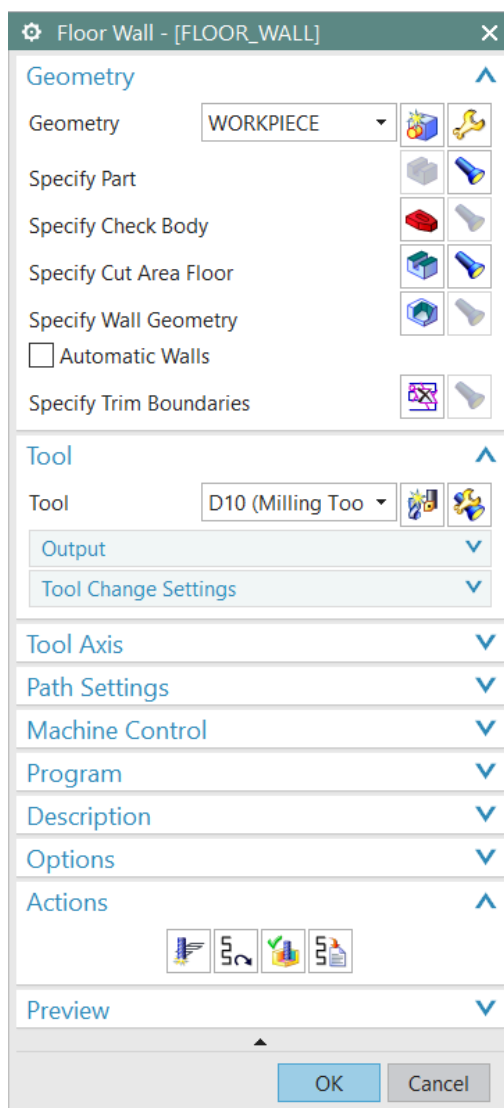
Obr. 25. Simulace pohybu kinetických součástí

## 8 OVĚŘENÍ FUNKČNOSTI

Funkčnost modelu byla ověřena simulací obrábění v programu NX 10. Pro ověření postačoval jednoduchý program.

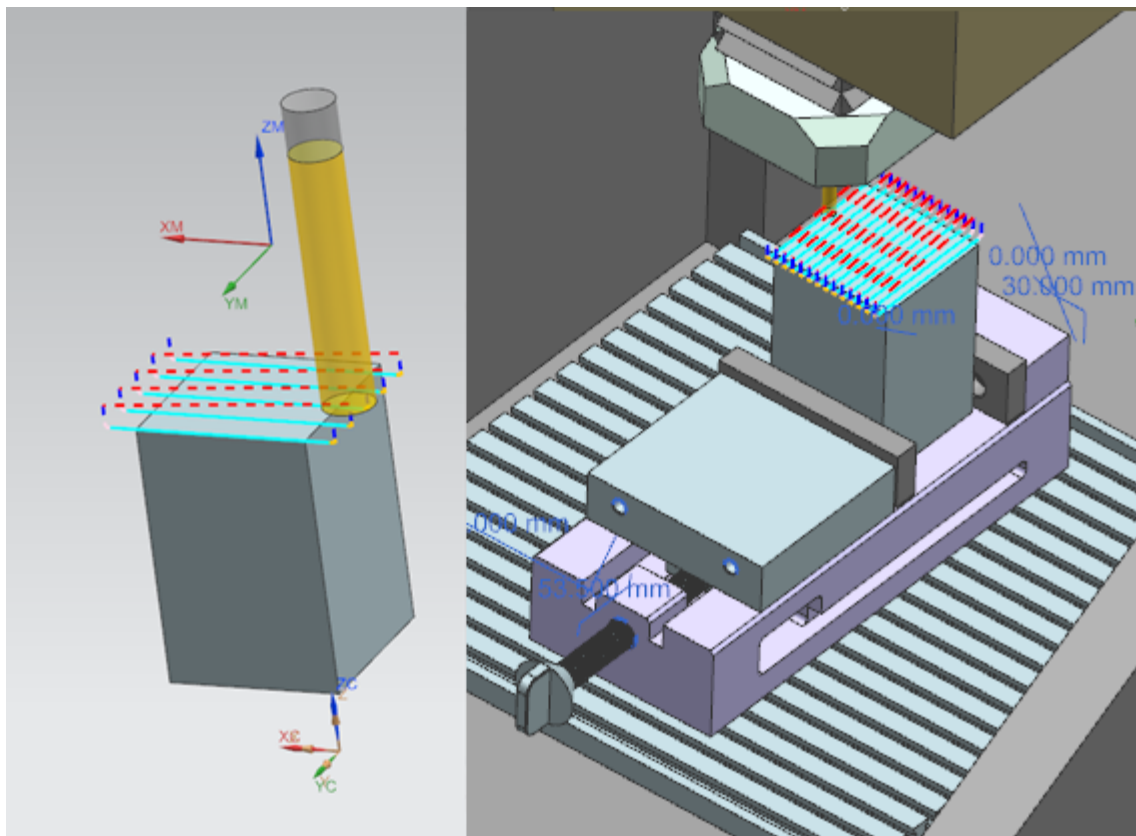
Nejprve však bylo nutné vymodelovat blok – obrobek, na kterém bude simulace provedena. Poté následovalo přepnutí do modulu „Manufacturing“, ve kterém lze vytvořit program a následně provést simulaci.

Po vytvoření operace, v tomto případě „Floor and Wall“ a vložení nástroje o průměru 10 mm byla vygenerována cesta nástroje pomocí „Generate Tool Path“. Následnou simulací byla ověřena funkčnost modelu CNC frézky.



Obr. 26. Úprava operace obrábění.

Po provedení simulace byla provedena ještě další simulace, která měla stejné parametry, ovšem bez použití modelu frézky. Díky tomuto srovnání jsou názorně vidět přednosti simulace obrábění s použitím simulačního modelu CNC frézky, jež byl podstatou tvorby této bakalářské práce.



*Obr. 27. Srovnání obrábění bez simulačního modelu frézky a s ním.*

## ZÁVĚR

V praktické části této bakalářské práce bylo mým úkolem vytvořit simulační model CNC frézky a poté ověřit jeho funkčnost. K této činnosti jsem použil software NX 10.

Sestavu modelu jsem vytvořil z jednotlivých dílů frézky. Tyto díly jsem modeloval na základě mnou naměřených rozměrů, přičemž nejdůležitější bylo dodržení velikosti vnitřního prostoru – tedy prostoru, ve kterém dochází k samotnému obrábění. Velikosti posuvů jsem taktéž nastavil podle naměřených hodnot, přičemž měření probíhalo s přesností 1 mm.

Vytvořený plně funkční simulační model CNC frézky nalezne primárně uplatnění ve výuce, ale lze jej použít i v praxi. Výstup této práce pomůže ve výuce programování. Díky tomuto simulačnímu modelu lze detekovat kolize, sledovat u malých součástí místa, kde nástroj nedokáže obrábět při daném upnutí. Naopak u velkých součástí zjistíme, zdali lze upnout do prostoru stroje.

Přílohou této práce je model sestavy umístěný na CD, který lze použít pro simulaci obrábění a návod, který slouží k vložení modelu frézky do programu NX.

## SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] *TECHNOLOGIE I, Základní metody obrábění - I. část* [online]. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie, 2004 [cit. 2016-12-02]. Ke stažení dostupné z [http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/opory-save/zakl\\_met\\_obr/zakl\\_met\\_obr\\_1.pdf](http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/opory-save/zakl_met_obr/zakl_met_obr_1.pdf)
- [2] JANOŠEK, Martin, *Frézovací nástroje pro CNC obráběcí stroje* [online]. Brno, 2010 [cit. 2016-12-02]. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. Dostupné z: [https://www.vutbr.cz/www\\_base/zav\\_prace\\_soubor\\_verejne.php?file\\_id=16447](https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=16447)
- [3] MIKULOVÁ, Michaela, *Frézovací stroje současné produkce* [online]. Brno, 2009 [cit. 2016-12-02]. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. Dostupné z: [https://www.vutbr.cz/www\\_base/zav\\_prace\\_soubor\\_verejne.php?file\\_id=27662](https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=27662)
- [4] ŠTULPA, Miloslav. *CNC: programování obráběcích strojů*. Praha: Grada Publishing, 2015. ISBN 978-80-247-5269-3.
- [5] *Průručka CNC programování* [online]. Brno, VITRALAB, 2011 [cit. 2016-12-18]. Ke stažení dostupné z: [http://www.sjf.tuke.sk/vitralab/upload/CNC%20prirucka\\_CZ.pdf](http://www.sjf.tuke.sk/vitralab/upload/CNC%20prirucka_CZ.pdf)
- [6] *Programování CNC strojů* [online]. [cit. 2016-12-18]. Ke stažení dostupné z: <https://www.google.cz/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=0ahUKEwjPk4za9OfRAhXlFJoKHVz3A5oQFggb-MAA&url=http%3A%2F%2Fwww.c-n-c.cz%2Fdownload%2Ffile.php%3Fid%3D1&usg=AFQjCNHsJGbGhVo-odm1e37gZmSJD-gCC3A&sig2=vy7Q5WRr4575qF86xCSZYA>
- [7] VASKÝ, Jozef, Eduard NEMLAHA a Ladislav MASÁR. *CAD/CAM systémy*. Bratislava: Slovenská technická univerzita, 2003. ISBN 80-227-1882-3
- [8] FORBELSKÝ, Jiří. *Možnosti CAM softwaru NX při programování CNC obráběcích strojů* [online]. Brno 2014 [cit. 2016-12-23]. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. Dostupné z: [https://www.vutbr.cz/www\\_base/zav\\_prace\\_soubor\\_verejne.php?file\\_id=85165](https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=85165)
- [9] FORBELSKÝ, Jiří. *Možnosti CAM softwaru NX při programování CNC obráběcích strojů*. Brno 2014 [cit. 2017-01-05]. Bakalářská práce. Vysoké učení technické



- v Brně, Fakulta strojního inženýrství. Dostupné z:  
[https://www.vutbr.cz/www\\_base/zav\\_prace\\_soubor\\_verejne.php?file\\_id=85165](https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=85165)
- [10] JANDEČKA, Karel. *Postprocesory a programování NC strojů*. Ústí nad Labem: UJEP, FVTM, 2007. Knižnice strojírenské technologie. ISBN 978-80-7044-8700.
- [11] ČUBOŇOVÁ, Nadežda. *Počítačová podpora programovania cnc strojov*. Žilina: Žilinská univerzita v Žilíně, 2012. ISBN 987-80-554-0514-8.
- [12] SMID, Peter. *CNC Programming handbook* [online]. New York, Industrial Press, 2008 [cit. 2017-01-7]. ISBN 0-8311-3158-6 (elektronická verze). Dostupné z:  
<https://books.google.cz/books?id=w7-jBgAAQBAJ&lpg=PR1&dq=cnc%20programming%20simulation&lr&hl=cs&pg=PP1#v=onepage&q=cnc%20programming%20simulation&f=false>
- [13] SVOBODA, Rostislav. *CNC stroje: 8 věcí, které jste o nich chtěli vědět a báli se zeptat* [online]. 19. 10. 2014 [cit. 2017-01-20]. Dostupné z: <https://factoryautomation.cz/cnc-stroje-8-veci-ktete-jste-o-nich-hteli-vedet-a-bali-se-zeptat/>
- [14] VESELÝ, Jan a SULITKA, Matěj a SMOLÍK, Jan. MM Průmyslové spektrum. *Simulace CNC obrábění* [online]. 28. 6. 2011 [cit. 2017-01-20]. Dostupné z:  
<http://www.mmspektrum.com/clanek/simulace-cnc-obrabeni.html>
- [15] GROOVER, Mikell P. *Automation, Production Systems and Computer-Integrated Manufacturing 3rd edition*. Pearson Education Limited, USA 2014, ISBN 10: 1-292-02593-1, ISBN 13: 978-1-292-02592-6.
- [16] *Frézování, způsoby* [online]. Dostupné z: [http://www.tch.estranky.cz/fotoalbum/fotoalbum/frezovani\\_zpusoby/frezovani-valcovou-a-celni-frezou.jpg.html](http://www.tch.estranky.cz/fotoalbum/fotoalbum/frezovani_zpusoby/frezovani-valcovou-a-celni-frezou.jpg.html)
- [17] *Frézky a frézování* [online]. Dostupné z: <http://home.tiscali.cz/novyl/praxes3.htm>
- [18] *CAM systémy a výroba tvarových ploch* [online]. Dostupné z:  
<https://www.cad.cz/strojirenstvi/38-strojirenstvi/2321-cam-systemy-a-vyroba-tvarovych-ploch.html>
- [19] *Enhance High Speed Rest Machining in Corners* [online]. Dostupné z <https://community.plm.automation.siemens.com/t5/Tech-Tips-Knowledge-Base-NX/Enhance-High-Speed-Rest-Machining-in-Corners/ta-p/36092>
- [20] *NX – Using Visualization Tools to Analyze Your IPW in NX CAM* [online]. Dostupné z: <https://allyplm.com/2014/12/tip-of-week-december-12/>

**SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK**

NX	Siemens NX – programovací software
CAD	Computer Aided Design – počítačem podporovaný návrh
CAM	Computer Aided Manufacturing – počítačem podporovaná výroba
NC	Numeric Control – číslicové řízení
CNC	Computer Numeric kontrol – počítačem číslicové řízení
ISO	International Organization for Standardization - mezinárodní organizace pro standardizaci
DIN	Deutsche Industrie-Norm – německá národní norma
X, Y, Z	3osý souřadný systém – frézka

**SEZNAM OBRÁZKŮ**

Obr. 1. Frézování obvodem nástrojel. [14].....	12
Obr. 2. Frézování čelem nástroje. [14].....	12
Obr. 3. Frézování nesousledné. [15].....	13
Obr. 4. Frézování sousledné. [15].....	13
Obr. 5. Struktura bloku NC programu. [6].....	18
Obr. 6. Schéma postupu přípravy NC programu pomocí CAD/CAM systému.....	23
Obr. 7. Implementovaný postprocesor přímo v CAM systému. [11].....	25
Obr. 8. Externí postprocesor mimo CAM systém. [11].....	25
Obr. 9. Pro dosažení požadované kvality povrchu obrobku je nutné provádět optimalizaci procesu. [18].....	29
Obr. 10. Simulační model CNC frézky.....	30
Obr. 11. Zobrazení dráhy nástroje. [19].....	31
Obr. 12. Barevně rozlišená tloušťka neodebraného materiálu. [20].....	32
Obr. 13. Kostra CNC frézky.....	38
Obr. 14. Vřeteník.....	38
Obr. 15. Vřeteno.....	39
Obr. 16. Upínací stůl s T drážkami .....	39
Obr. 17. Svěrák.....	40
Obr. 18. Boční kryt – „plexisklo“.....	40
Obr. 19. Srovnání skutečné a konstruované frézky.....	41
Obr. 20. Tvorba stroje v prostředí programu NX 10.....	41
Obr. 21. Záložka Machine Tool Navigator v NX 10.....	42
Obr. 22. Tvorba strojního komponentu.....	42
Obr. 23. Vkládání osy do komponenty.....	43
Obr. 24. Vložení osy komponenty a velikosti posuvu.....	43

---

Obr. 25. Simulace pohybu kinetických součástí.....	44
Obr. 26. Úprava operace obrábění.....	45
Obr. 27. Srovnání obrábění bez simulačního modelu frézky a s ním.....	46

**SEZNAM TABULEK**

Tab. 1. Základní informace o CNC frézce.....	37
--	----

## SEZNAM PŘÍLOH

- P I: Přílohy jsou umístěny na CD, které je vloženo v bakalářské práci. Naprogramovaná CNC frézka je umístěna ve složce „model“, návod na vložení stroje do programu NX pak ve složce „návod“.