

# Tvorba postprocesoru v NX pro frézování a soustružení

Bc. Rostislav Machů

---

Diplomová práce  
2018



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta technologická

---

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta technologická  
Ústav výrobního inženýrství  
akademický rok: 2017/2018

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Rostislav Machů**  
Osobní číslo: **T16146**  
Studijní program: **N3909 Procesní inženýrství**  
Studijní obor: **Řízení jakosti**  
Forma studia: **kombinovaná**

Téma práce: **Tvorba postprocesoru v NX pro frézování a soustružení**

Zásady pro vypracování:

1. Vypracujte rešerši na dané téma.
2. Připravte modely obrobků a strategii obrábění.
3. Vytvořte modely reálných strojů pro simulace.
4. Využijte knihovnu nástrojů s využitím modelů nástrojů. (Návaznost na bakalářskou práci)
5. Naprogramujte postprocesory pro dané obráběcí stroje.
6. Realizujte dané simulace a porovnejte s reálným obráběním.
7. Vyhodnoťte výsledky

Rozsah diplomové práce:

Rozsah příloh:

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

Seznam odborné literatury:

1. **BÍLEK, Ondřej a Imrich LUKOVICS. Výrobní inženýrství a technologie. 1. vyd. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 2014, 173s. ISBN 978-80-7454-471-2.**
2. **KOH, Jaecheol.Siemens NX9 design fundamentals [a step by step guide]. Seoul:ONSIA, 2014, XXII, 644s. ISBN 978-1-500739-14-0.**
3. **RAO, P. CAD/CAM: principles and applications. 3rd ed. New Delhi: McGraw Hill,Education, 2010, XX, 768s. ISBN 978-0-07-068193-4.**
4. **KOCMAN, Karel. Technologické procesy obrábění. Vyd. 1. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2011, 330 s. ISBN 978-80-7204-722-2.**

Vedoucí diplomové práce:

**Ing. Václav Janošík**  
Ústav výrobního inženýrství


Datum zadání diplomové práce:

**2. ledna 2018**

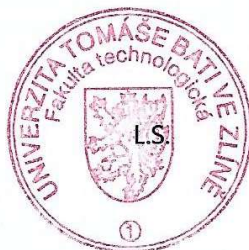
Termín odevzdání diplomové práce:

**18. května 2018**

Ve Zlíně dne 5. února 2018



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



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

Příjmení a jméno: Bc. Machů Rostislav  
Obor: Řízení jakosti

## 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 1. 8. 2018

*Machů Rostislav*

---

<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 nevydělečně 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 vzdělávacího 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). Odpírá-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 přihledne k výši výdělku dosaženého školou nebo školským či vzdělávacím zařízením z užití školního díla podle odstavce 1.*

## **ABSTRAKT**

Diplomová práce je zaměřena na přípravu postprocesorů pro frézování a soustružení.

Teoretická část přibližuje technologii frézování. Zaobírá se základy řezného procesu. Definiuje pojmy v technologii frézování, jako je nástroj, polotovar, základní pohyby nástroje a obrobek.

Praktická část se věnuje přípravě modelů obrobků a strategii obrábění. Vytvoření modelů reálných strojů pro simulace. Využití knihovny nástrojů s modely nástrojů (návaznost na bakalářskou práci). Naprogramování postprocesorů pro dané obráběcí stroje. Realizování simulací a porovnání s reálným obráběním.

Klíčová slova: Postprocessor, NX, CAM, obrábění, CNC stroje.

## **ABSTRACT**

This diploma thesis is focused on preparation of postprocessors for milling and turning.

The theoretical part introduces the milling technology. It focuses on the basics of the cutting process. Defines concepts in milling technology, such as tool, semi-product, basic tool movements and workpiece.

The practical part deals with preparation of workpiece models and machining strategy. Creating models of real machines for simulation. Using tool library with tool models (Link to bachelor thesis). Programming postprocessors. Realization of simulations and comparison with real machining.

Keywords: postprocessor, NX, CAM, machining, cnc machines

## **PODĚKOVÁNÍ**

Děkuji vedoucímu diplomové práce Ing. Václavu Janoščíkovi, za odborné vedení, připomínkování a cenné rady, které mi poskytl při jejím zpracování. Zároveň bych chtěl poděkovat firmě Kovárna VIVA a.s., která mi umožnila využívat software použitý pro vypracování diplomové práce.

## **MOTTO**

Per aspera ad astra - „Po drsných cestách ke hvězdám“ (latinský citát)

Prohlašuji, že odevzdaná verze diplomové 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 TECHNOLOGIE FRÉZOVÁNÍ .....</b>	<b>12</b>
1.1 ZÁKLADY ŘEZNÉHO PROCESU .....	13
1.1.1 Polotovar .....	13
1.1.2 Nástroj.....	14
1.1.3 Základní pohyby nástroje.....	16
1.1.4 Frézování nesousledné a sousledné .....	17
1.1.5 Obrobek.....	18
1.2 FYZIKÁLNÍ CHARAKTERISTIKY .....	19
1.2.1 Teorie vzniku a tvoření třísky při řezání.....	19
1.2.2 Plastické deformace v oblasti tvoření třísky .....	19
1.2.3 Třísky a jejich technologické charakteristiky .....	20
1.3 ENERGETICKÉ CHARAKTERISTIKY .....	22
1.3.1 Tepelná bilance procesu řezání .....	22
1.3.2 Teplota řezání.....	23
1.4 KINEMATICKÉ CHARAKTERISTIKY .....	24
1.4.1 Kinematické veličiny .....	24
<b>2 NÁSTROJE PRO FRÉZOVÁNÍ.....</b>	<b>25</b>
2.1 NÁSTROJOVÉ MATERIÁLY .....	25
2.1.1 Nástrojové oceli.....	26
2.1.2 Slinuté karbidy .....	26
2.1.3 Povlakované slinuté karbidy .....	29
2.1.4 Cermety.....	32
2.1.5 Keramické řezné materiály .....	33
2.1.6 Super tvrdé řezné materiály .....	35
2.2 OPOTŘEBENÍ BŘITU NÁSTROJE .....	37
2.2.1 Mechanismus opotřebení.....	37
2.2.2 Kvantifikace opotřebení.....	38
2.3 TYPY FRÉZOVACÍCH OPERACÍ.....	39
2.3.1 Frézovací operace .....	39
<b>3 ZÁKLADY UPÍNÁNÍ PŘI FRÉZOVÁNÍ .....</b>	<b>42</b>
3.1 UPNUTÍ OBROBKU .....	42
3.1.1 Strojní svěrák.....	42
3.1.2 Upínací pomůcky.....	43
3.1.3 Upínací přípravky .....	44
3.2 UPNUTÍ NÁSTROJE .....	45

3.2.1	Tepelné upínání .....	45
3.2.2	Hydraulické upínání .....	46
3.2.3	Hydraulické upínání .....	46
<b>4</b>	<b>ZÁKLADNÍ TYPY STROJŮ PRO FRÉZOVÁNÍ .....</b>	<b>47</b>
4.1	KONZOLOVÉ FRÉZKY .....	47
4.1.1	Vodorovná konzolová frézka .....	47
4.1.2	Svislá konzolová frézka .....	48
4.2	STOLOVÉ FRÉZKY .....	48
4.3	ROVINNÉ PORTÁLOVÉ FRÉZKY .....	49
4.4	SPECIÁLNÍ FRÉZKY .....	49
4.4.1	Frézky na závity .....	49
4.4.2	Frézky na ozubení.....	49
4.4.3	Frézky na vačky.....	49
<b>5</b>	<b>POČÍTAČOVÁ PODPORA OBRÁBĚNÍ.....</b>	<b>50</b>
5.1	POPIS ZÁKLADNÍCH CAX SYSTÉMŮ .....	51
5.2	CAD/CAM SYSTÉMY .....	51
5.3	CAD SYSTÉM.....	51
5.3.1	Neparametrické CAD systémy.....	52
5.3.2	Parametrické CAD systémy .....	52
5.3.3	Asociativní CAD systémy.....	52
5.3.4	CAD systémy se synchronní technologie .....	53
5.4	CAM SYSTÉM .....	53
5.5	UPLATNĚNÍ CAD/CAM SYSTÉMŮ V OBRÁBĚNÍ .....	54
5.6	STRUKTURA POSTUPU VÝROBY SOUČÁSTI V CAD/CAM SYSTÉMECH....	54
5.6.1	Od myšlenky k vymodelování součásti .....	55
5.6.2	Od vymodelované součásti k její výrobě .....	55
5.6.3	Postprocesor .....	56
5.6.4	Jak se dobrat kvalitního postprocesoru.....	56
5.6.5	NC program.....	57
<b>6</b>	<b>SHRNUTÍ TEORETICKÉ ČÁSTI PRÁCE .....</b>	<b>58</b>
<b>II</b>	<b>PRAKTICKÁ ČÁST .....</b>	<b>59</b>
<b>7</b>	<b>STANOVENÍ CÍLŮ DIPLOMOVÉ PRÁCE.....</b>	<b>60</b>
<b>8</b>	<b>PŘEDSTAVENÍ SPOLEČNOSTI.....</b>	<b>61</b>
<b>9</b>	<b>FRÉZOVÁNÍ.....</b>	<b>62</b>
9.1	VÝKOVEK .....	62
9.2	OBROBEK.....	63
9.3	PŘÍPRAVEK.....	64
9.4	OBRÁBĚCÍ ZAŘÍZENÍ .....	65
9.4.1	Tvorba kinematického modelu stroje .....	67
9.5	NÁSTROJE .....	71

9.5.1	Čelní fréza .....	71
9.5.2	Vrták .....	72
9.6	CAM.....	73
9.7	SIMULACE DRÁHY NÁSTROJE V NX.....	74
9.7.1	Kontrola kolize nástroje v klasické simulaci .....	75
9.8	SIMULACE DRÁHY NÁSTROJE A STROJE V NX.....	76
9.8.1	Kontrola kolize nástroje v simulaci stroje .....	77
9.9	POSTPROCESSOR.....	78
9.10	POROVNÁNÍ SIMULACE A REÁLNÉ VÝROBY .....	84
<b>10</b>	<b>SOUSTRUŽENÍ.....</b>	<b>85</b>
10.1	POLOTOVAR.....	85
10.2	OBROBEK.....	86
10.3	PŘÍPRAVEK.....	87
10.4	OBRÁBĚCÍ ZAŘÍZENÍ .....	88
10.4.1	Tvorba kinematického modelu stroje .....	90
10.5	NÁSTROJE .....	94
10.5.1	Poháněný nástroj .....	94
10.5.2	Fréza .....	95
10.6	CAM.....	96
10.7	SIMULACE DRÁHY NÁSTROJE V NX.....	97
10.7.1	Kontrola kolize nástroje v klasické simulaci .....	98
10.8	SIMULACE DRÁHY NÁSTROJE A STROJE V NX.....	99
10.9	POSTPROCESSOR.....	101
10.10	POROVNÁNÍ SIMULACE A REÁLNÉ VÝROBY .....	106
	<b>ZÁVĚR .....</b>	<b>107</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY .....</b>	<b>108</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....</b>	<b>110</b>
	<b>SEZNAM OBRÁZKŮ .....</b>	<b>111</b>
	<b>SEZNAM TABULEK .....</b>	<b>116</b>
	<b>SEZNAM PŘÍLOH .....</b>	<b>117</b>

## ÚVOD

V moderním výrobním procesu je kladen velký důraz na přesnost a rychlost. Pro splnění těchto hlavních požadavků je nezbytné nasazení softwarové podpory výrobního procesu.

V první části prochází výrobek vývojem a konstrukcí v CAD systémech. Následuje ověření a analýza pomocí softwarů CAE, které dokáží odhalit konstrukční nedostatky bez nutnosti výroby prototypu nebo ověřovací série. Tato zjištění se zahrnou do konstrukčních úprav. Dále se data předají k přípravě NC-kódu. Programátor připraví NC-kód pomocí softwaru CAM. Většina CAM softwarů má integrovanou simulaci pro ověření právnosti dráhy nástroje. Následuje vygenerování NC-kódu pomocí postprocesoru, tím je zajištěna srozumitelnost instrukcí pro konkrétní stroj.

Do výrobního procesu vstupuje stroj, nástroj, obrobek a již zmiňovaný NC-kód. Jeho kvalita je ovlivňuje největší měrou jakost výrobku, strojní čas a nároky na nástroj. V praxi se můžeme velmi často setkat s nepříliš kvalitně připraveným NC-kódem, což může být zapříčiněno zastaralým CAM softwarem, málo zkušeným programátorem nebo nedostatkem času při jeho přípravě. Ve výrobě se tato skutečnost projevuje zvýšeným otupením anebo zlomením nástroje, špatnou jakostí povrchu, velkým strojním časem, nebo havárií stroje.

## I TEORETICKÁ ČÁST

## 1 TECHNOLOGIE FRÉZOVÁNÍ

Frézování je operace třískového obrábění, při které je z obrobku odebrána vrstva materiálu ve formě jednotlivých drobných třísek rotačním vícezubým nástrojem. Nástroj se nazývá fréza. Fréza se při práci otáčí kolem své osy a svými zuby po obvodě se postupně zařezává do obrobku, který se proti nástroji současně posouvá. [1]

Každý zub frézy postupně odřezává z obráběného materiálu krátké třísky nestejně tloušťky, takže proces řezání je přerušovaný. Touto metodou, použitím různých druhů frézovacích nástrojů, je možné obrábět na obrobcích především plochy rovinné, ale také plochy tvarové, šikmé, nepravidelné, rotační, dále drážky a vybrání různých tvarů, závitové drážky na rotačních plochách, různé druhy ozubení na ozubených kolech a hřebenech, rozdělování materiálu na různé délky apod. [1]

Toto široké uplatnění a možnost přesné výroby zařadily frézování na významné místo ve strojírenské výrobě. Frézování velkými reznými rychlostmi ve většině případů umožňuje produktivnější a hospodárnější odebrání materiálu než při obrábění jednobřítými nástroji jako například hoblováním nebo obrážením. V některých zvláště složitých případech je frézování jediným možným způsobem obrábění. [4]

Hlavní pohyb nástroje je rotační. Obrobek upnutý na pracovním stole stroje vykonává vedlejší pohyb. Pohyb obrobku může být přímočarý nebo kruhový. Obráběcí proces probíhá ve třech na sebe kolmých osách. Výsledný rezný pohyb má tvar cykloidy. Řezný pohyb je tedy složen ze dvou pohybů, otáčivého pohybu frézy a přímočarého pohybu obrobku. [4]



Obr. 1. Třískové obrábění frézování [6]

## 1.1 Základy řezného procesu

Při obrábění frézováním dochází k oddělování materiálu obrobku břitem nástroje. Proces fyzikálně-mechanického principu specifikujeme jako řezný proces. Ten můžeme rozdělit hned několika způsoby:

**Cyklický** – nesouvislý, nepřetržitý či přerušovaný. U tohoto pojmu se má na mysli zejména frézování nebo broušení.

**Diskontinuální** – zde je hovořeno zejména o hoblování nebo obrážení.

**Kontinuální** – nepřerušovaný, trvalý či souvislý. U technologie soustružení hovoříme o tzv. kontinuálním řezném procesu.

### 1.1.1 Polotovar

Jedná se o označení materiálu určeného na obrábění. Polotovary mohou být rozděleny do dvou skupin, a to: nenormalizované a normalizované. [6]

#### *Nenormalizované polotovary*

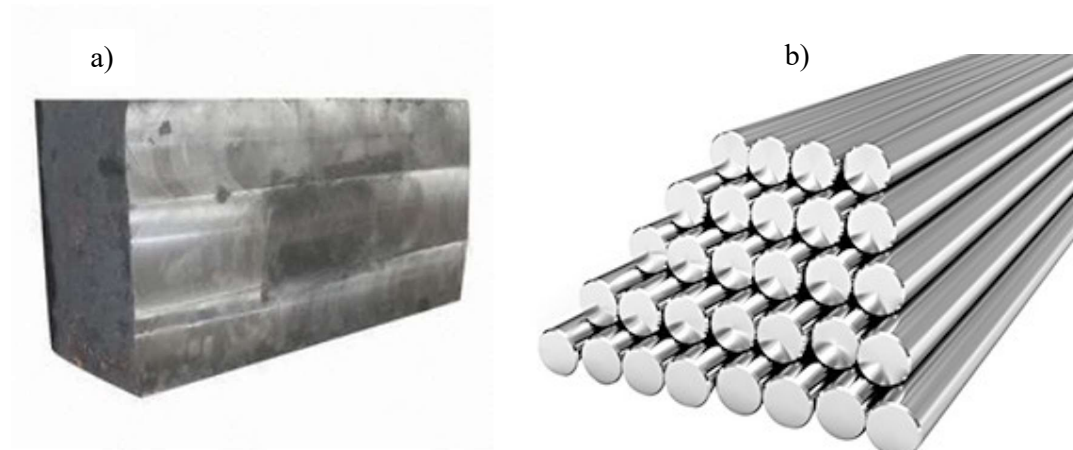
Nenormalizované polotovary mohou mít různou podobu, velikost a tvar. Patří mezi ně například: odlitky, výkovky, vylisky, lepené polotovary, pájené polotovary. [6]



Obr. 2. Nenormalizované polotovary a) výkovek b) odlitek [10]

### *Normalizované polotovary*

Typickými představiteli normovaných polotovarů jsou normalizované bloky, profily různých tvarů a velikostí, plechy, pásy a trubky. Jednotlivé zástupce nalezneme ve strojírenských tabulkách.



*Obr. 3. Normalizované polotovary a) kvádr b) válec [8]*

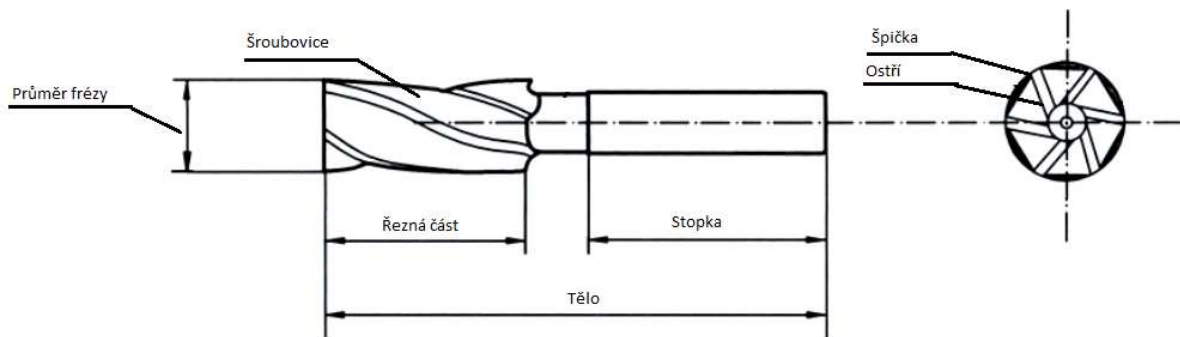
### **1.1.2 Nástroj**

Nástroj umožňuje realizaci řezného procesu. Liší se svými prvky, plochami, ostřími. Z pohledu materiálového je charakterizován typem materiálu. Rychlořezné oceli, cermety, keramika nebo diamant. Pro technologii frézování se používají různé obráběcí nástroje. [12]



*Obr. 4. Ukázka frézovacích nástrojů – různá provedení. [15]*

### Základní popis frézovacího nástroje



Obr. 5. Hlavní části obráběcího nástroje [2]

**Stopka** – nebo také základna nástroje. Jedná se o prvek nástroje určený zejména k umístění a orientaci nástroje při jeho výrobě. Dále je také za tuto část upevňován samotný nástroj při řezném procesu.

**Řezná část** – je funkční část nástroje, který obsahuje prvky tvořící třísku. Patří sem zejména, ostří, čelo a hřbet.

- hřbet – je plocha nebo souhrn ploch, které se přimykají k ploše řezu. Existuje hřbet hlavní a hřbet vedlejší.
- čelo – plocha nebo souhrn ploch, po kterých odchází tříska
- ostří – přechodová část břitu mezi čelem a hřbetem. Existuje nástrojové hlavní ostří a nástrojové vedlejší ostří.

**Špička** – je relativně malá část ostří, nacházející se na spojnici hlavního a vedlejšího ostří. Může být přímá (sražená) nebo zaoblená.

**Břit** – Provedení břitu výrazně ovlivňuje vlastnosti nástroje a z toho plynoucí použití. Volba závisí na obráběném materiálu a na charakteru frézovací operace. [1]

Aby břit mohl odebírat třísky, musí k tomu být náležitě upraven. Každý zub má klínovité provedení zakončené břitem, tvořeným dvěma plochami (čelem a hřbetem), v jejichž průsečíku vznikne ostří, které má schopnost odřezávat třísky. Čím ostřejší klín břit má, tím snadněji vniká do materiálu. [1]

Vzájemná poloha ploch břitu nástroje a obrobku vytváří soustavu úhlů, které říkáme geometrie břitu. Hodnoty jednotlivých úhlů jsou závislé na druhu obráběného materiálu a u normalizovaných fréz mají stanovenou hodnotu. [3]

### 1.1.3 Základní pohyby nástroje

Kinematika představuje pohyby řezného nástroje a obrobku. Pohyb, směr a rychlost nástroje vůči obrobku a naopak, můžeme rozdělit do několika variant.

#### *Rozdělení pohybů*

**Hlavní** – vzájemný pohyb mezi nástrojem a obrobkem, který realizuje obráběcí stroj. Při frézování se jedná o rotační pohyb nástroje. [1]

**Posuvový** – realizovaný obráběcím strojem jako další relativní pohyb mezi nástrojem a obrobkem. Posuvový pohyb společně s hlavním pohybem umožňuje plynulé odřezávání třísky z obráběného povrchu. Posuvový pohyb může být postupný nebo plynulý. [1]

**Řezný** – pohyb vycházející ze současného hlavního a posuvového pohybu. [1]

#### *Směry pohybu*

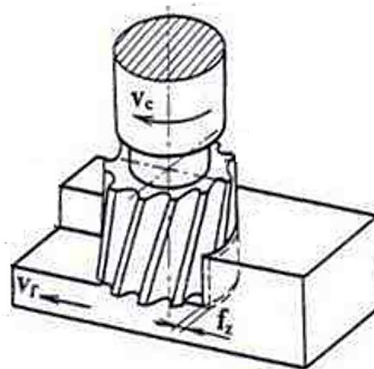
**Směr hlavního pohybu** – směr okamžitého hlavního pohybu uvažovaného bodu ostří vzhledem k obrobku.

**Směr posuvového pohybu** – směr okamžitého posuvového pohybu uvažovaného bodu ostří vzhledem k obrobku.

#### *Rychlosti pohybu*

**Řezná rychlost  $v_c$**  – vyjádřena jako okamžitá rychlost hlavního pohybu uvažovaného bodu na ostří vzhledem k obrobku. [4]

**Posuvová rychlost  $v_f$**  – určena jako okamžitá rychlost posuvového pohybu v uvažovaném bodě ostří vzhledem k obrobku. [4]



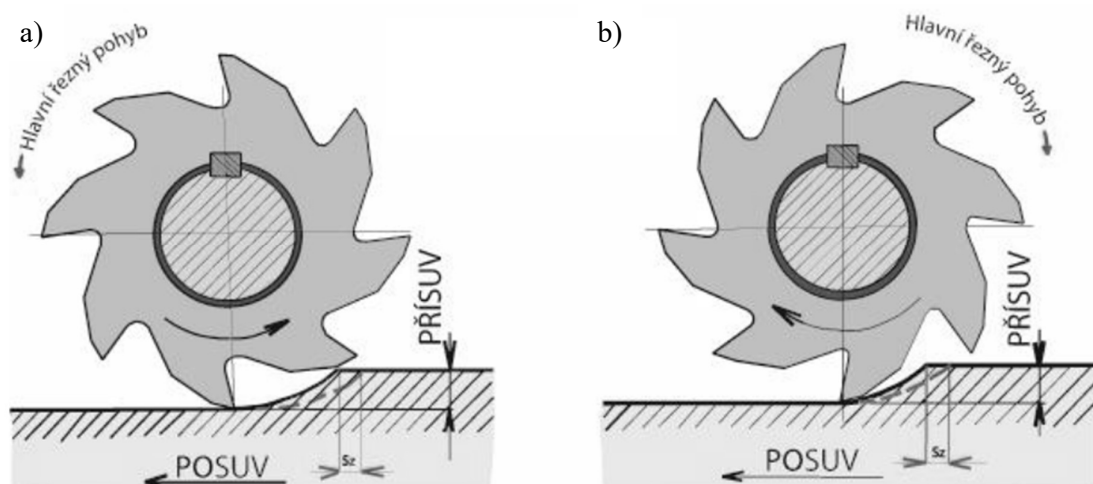
Obr. 6. Kinematika řezného procesu při frézování [2]

### 1.1.4 Frézování nesousledné a sousledné

V závislosti na smyslu otáčení nástroje rozlišujeme dva druhy válcového frézování.

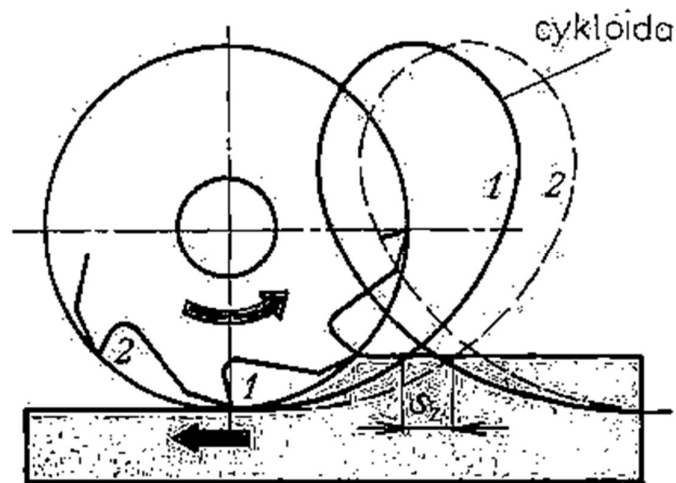
**Nesousledné** – ostří rotujícího nástroje v místě styku pohybuje proti směru posuvu obrobku. Obrobená plocha vzniká při vnikání nástroje do obrobku. Proměnlivá tloušťka třísky se mění od minimální („nulové“) hodnoty na hodnotu maximální. [9]

**Sousledné** – ostří se v místě styku pohybuje ve směru posuvu obrobku. Tloušťka třísky se mění z maximální hodnoty do minimální („nulové“). [9]



Obr. 7. a) frézování nesousledné b) frézování sousledné

Výsledný pohyb je cykloida. Vzhledem k malé rychlosti posuvu proti obvodové rychlosti frézy se tato cykloida blíží kružnici.



Obr. 8. Dráha ostří zubu [15]

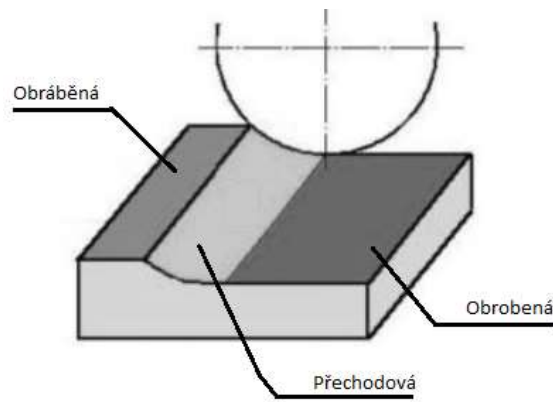
### 1.1.5 Obrobek

Obrobek je materiál, na němž je po dokončení řezného procesu dosahováno požadovaného tvaru. Na obrobku jsou odlišovány tři základní typy ploch. Na daném obrobku se nachází v průběhu řezného procesu. [2]

**Obráběná** – plocha obrobku určená na obrobení. Je to taková plocha, která bude daným nástrojem opracována.

**Přechodová** – nachází se mezi plochou obráběnou a obrobenou.

**Obrobená** – plocha, která byla daným nástrojem již opracována a je charakteristická svými parametry vztaženými na plochu. Úchylka od jmenovité hodnoty rozměru. Úchylka kruhovitosti nebo úchylka rovnoběžnosti. Dalším parametrem může být také struktura povrchu. Druh a velikost napětí v povrchové vrstvě, trhliny jiné povrchové vady. [2]



Obr. 9. Základní rozdělení ploch

## 1.2 Fyzikální charakteristiky

Řezný proces se realizuje v obráběcím systému stroj – nástroj – obrobek. Prioritním výstupem jsou parametry obrobené plochy. Z tohoto hlediska má zvláštní význam problematika identifikace mechanismu tvoření třísky s orientací na obráběné materiály. [1]

### 1.2.1 Teorie vzniku a tvoření třísky při řezání

Oddělování třísky je velmi složitý proces, jehož průběh závisí na mnoha činitelích, zejména na fyzikálních vlastnostech obráběného materiálu a závislosti na podmínkách plastické deformace. [1]

### 1.2.2 Plastické deformace v oblasti tvoření třísky

Při řezném procesu dochází v oblasti tvoření třísky k pružným a následně plastickým deformacím v odřezávané vrstvě. Před břitem nástroje je to primární plastická deformace, a v povrchových vrstvách třísky, ve styku s čelem nástroje se pak jedná o sekundární plastickou deformaci. [1]

#### *Primární a sekundární plastická deformace*

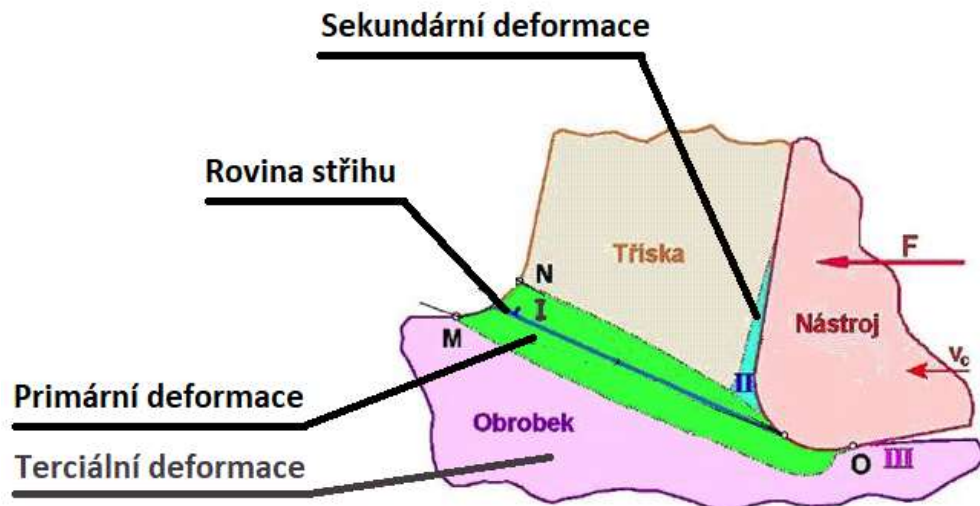
Při pohybu nástroje vůči obrobku působí na odebíranou vrstvu materiálu vnější zatížení, které ve vrstvě vyvolává napětí. Stav napjatosti je značně proměnlivý a závisí na fyzikálních vlastnostech deformovaného materiálu. Pokud napětí nepřestoupí mez úměrnosti deformovaného materiálu, odebíraná vrstva se pružně deformuje. Zvýšením napětí nad mez pružnosti se materiál odřezávané vrstvy začíná plasticky deformovat. Dochází k plastickému skluzu v určitých vhodně orientovaných krystalických plochách. [9]

Z fyzikálního hlediska je řezný proces procesem plastické deformace za extrémních podmínek zatěžování, teplot a rychlosti deformace. V kořenu třísky vznikají tři oblasti plastické deformace. [4]

**Oblast primární plastické deformace I** – oblast maximálních smykových napětí (rovina stříhu).

**Oblast sekundární plastické deformace II** – oblast tření třísky po čele nástroje.

**Oblast terciální plastické deformace III** – oblast tření nástroje o obrobený povrch.



Obr. 10. Deformační oblasti procesu řezání [4]

### 1.2.3 Třísky a jejich technologické charakteristiky

Třísky představují vedlejší produkt řezného procesu, avšak jejich technologické charakteristiky významně vypovídají o průběhu procesu řezání jak z energetického hlediska, tak i z hlediska řízeného odchodu z řezné oblasti. [9]

#### *Druhy tvářených třísek*

V závislosti na průběhu řezného procesu mají třísky různý tvar.

Tvar třísky závisí na mnoha faktorech. Vlastnosti obráběného materiálu, geometrie nástroje, řezné podmínky, zejména řezná a posuvová rychlost. V závislosti na uvedených faktorech mají třísky různý tvar. [6]

**Plynulá člankovitá soudržná tříska** – vzniká u většiny ocelí, obr. 11a.

**Plynulá soudržná lamelová tříska** – vzniká u korozivzdorných ocelí, obr. 11b.

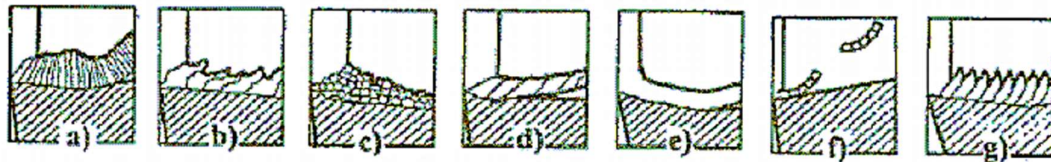
**Tvářená elementární tříska** – vzniká u většiny litin, obr. 11c.

**Nepřavidelná člankovitá plynulá tříska** – vzniká u vysoce legovaných materiálů, obr. 11d.

**Tvářená plynulá soudržná tříška** – vzniká při malých řezných silách, obr. 11e.

**Dělená segmentová tříška** – vzniká při velkých řezných silách a vysokých teplotách řezání, obr. 11f.

**Plynulá segmentová tříška** – vzniká při obrábění titanu, obr. 11g.

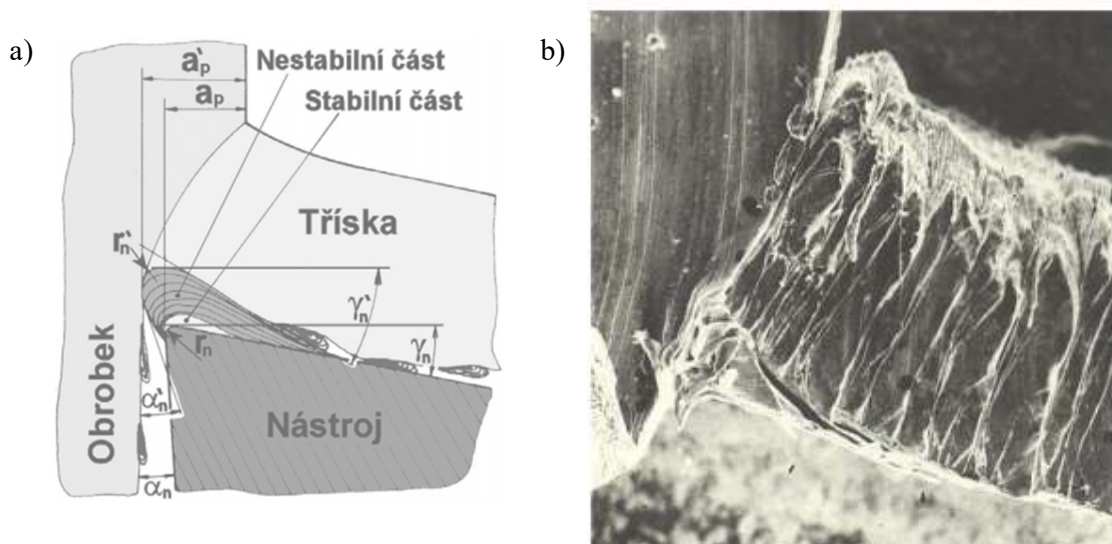


Obr. 11. Základní druhy tvářených třísek [6]

### **Nárůstek a jeho negativní vliv na řezný proces.**

Pohyb třísky po čele nástroje probíhá za velkých tlaků a vysokých teplot. Mezi čelem nástroje a odcházející třískou vzniká síla, působící na čele nástroje, která za určitých řezných podmínek může působit „zadírání“, a tak i negativní vliv na celý řezný proces. [4]

Toto se projevuje vznikem místa kluzu mezi třískou a povrchovou plochou čela, ve které za vysokých teplot vzniká tavenina kovu. Nárůstek představuje „studený návar“ materiálu na břítu nástroje. Ten pak poškozuje výsledný obrobek. Zabránění vzniku nárůstku je možné změnou řezných podmínek nebo použitím vhodné řezné kapaliny. [1]



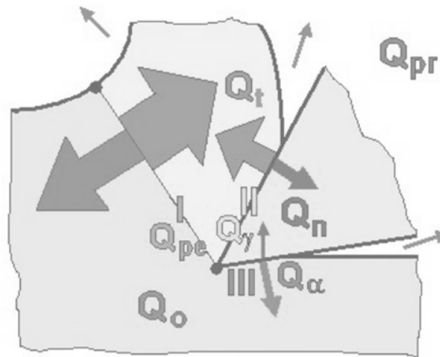
Obr. 12. a) nárůstek b) nárůstek u kořene třísky

### 1.3 Energetické charakteristiky

Řezný proces je v reálném obráběcím systému charakterizován celou řadou technologických veličin. K základním technologickým charakteristikám patří kromě fyzikálních také tepelná bilance řezného procesu nebo teplota řezání. [8]

#### 1.3.1 Tepelná bilance procesu řezání

Vlivem obráběcího procesu se téměř veškerá práce řezání transformuje v teplo. Teplo řezného procesu  $Q_e$ , vzniklé při odebrání určitého množství materiálu, je přibližně rovné práci řezného procesu  $E_e$ . Vzniklé teplo výrazně ovlivňuje řezný proces. Negativně působí na řezné vlastnosti nástroje, ovlivňuje podmínky tření na čele i hřbetě nástroje nebo ovlivňuje mechanické vlastnosti obráběného materiálu. [4]



Obr. 13. Vznik a odvod tepla [4]

Teplo  $Q_{pe}$  vzniká vlivem plastických deformací v oblasti primární plastické deformace I. V oblasti sekundární plastické deformace II, vzniká teplo  $Q_\gamma$  vlivem tření mezi čelem nástroje a třískou. V oblasti III vzniká teplo  $Q_\alpha$  v důsledku tření hlavního hřbetu nástroje a přechodovou plochou obrobku. Vzniklé teplo je odváděno třískou  $Q_t$ , nástrojem  $Q_n$ , obrobkem  $Q_o$  a řezným prostředím  $Q_{pr}$ . Na základě předpokladu, že vzniklé a odvedené teplo musí být v rovnováze, lze vytvořit rovnici tepelné bilance řezného procesu:

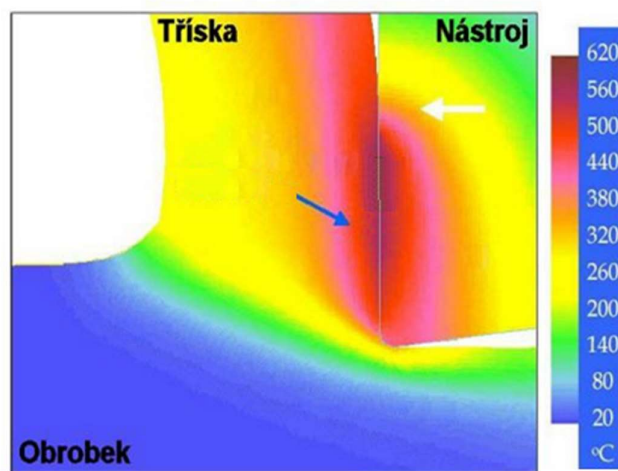
$$Q_{pe} + Q_\gamma + Q_\alpha = Q_t + Q_n + Q_o + Q_{pr} \quad (1.1)$$

Podíl jednotlivých složek tepla, odváděného třískou, obrobkem, nástrojem a prostředím, závisí na tepelné vodivosti materiálů obrobku a nástroje, na řezných podmínkách, řezném prostředí a na geometrii břitu řezného nástroje. Největší část tepla vzniklého při obrábění je u řezných procesů, které využívají nástroj s definovatelnou geometrií, odváděna ze zóny řezání třískou. Celkové množství tepla lze měřit pomocí kalorimetrů. [4]

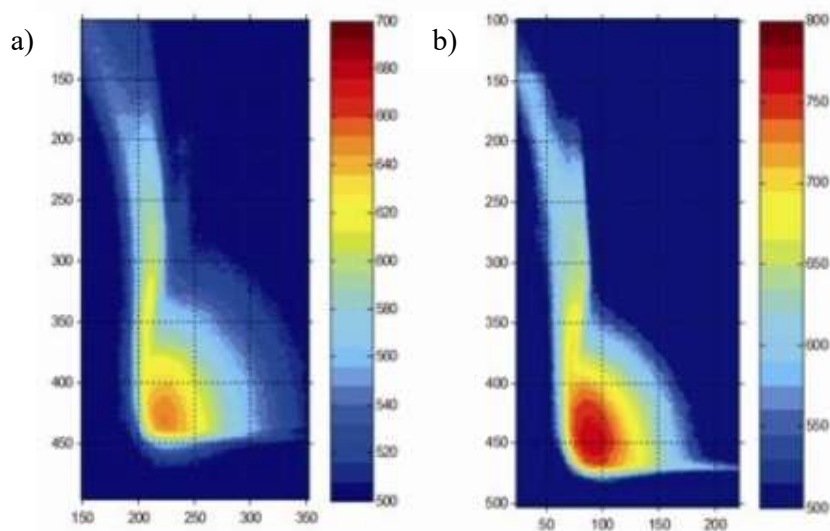
### 1.3.2 Teplota řezání

Teplota v zóně řezání je závislá hlavně na kontaktu třísky a nástroje, na velikosti řezných sil a třecích procesech mezi materiálem obrobku a břitem nástroje. Při obrábění nízkými řeznými rychlostmi je maximální teplota na špičce nástroje. Při obrábění vyššími řeznými rychlostmi je maximální teplota v určité vzdálenosti od ostří nástroje.

Identifikace teplotního pole představuje náročný metrologický problém a vyžaduje složité měřicí systémy. Vhodnou metodou je například metoda přirozeného termočláčku. [1]



Obr. 14. Teplotní pole v zóně řezání [5]



Obr. 15. Teplotní pole a) měkký materiál b) tvrdý materiál [13]

## 1.4 Kinematické charakteristiky

### 1.4.1 Kinematické veličiny

Kinematika řezného procesu je charakterizována hlavním pohybem, směrem hlavního pohybu, řeznou rychlostí, posuvovým pohybem, směrem posuvového pohybu, posuvovou rychlostí, řezným pohybem, směrem řezného pohybu a rychlostí řezného pohybu. Tyto definované veličiny jsou měřené v určitém okamžiku. [20]

#### *Řezná rychlost*

Rychlost hlavního řezného pohybu. Definujeme ji jako obvodovou rychlost frézy. Pro různé druhy materiálů, nástrojů a obrobků je využito různých řezných rychlostí. [23]

$$v_c = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{10^3} \quad (1.2)$$

$v_c$  – řezná rychlost [mm.min<sup>-1</sup>]

$n$  – počet otáček vřetene [ot.min<sup>-1</sup>]

$D$  – průměr nástroje [mm]

#### *Posuv stolu za minutu*

Udává, jakou rychlostí se pohybuje stůl s obrobkem vůči nástroji:

$$v_f = f_z \cdot n \cdot z \quad (1.3)$$

$v_f$  – posuv stolu [mm.min<sup>-1</sup>]

$f_z$  – posuv na zub [mm]

$z$  – počet efektivních zubů [-]

#### *Posuv na otáčku*

Udává dráhu, kterou urazí obrobek za jednu otáčku frézy:

$$f_{ot} = \frac{v_f}{n} \quad (1.4)$$

$f_{ot}$  – posuv na otáčku [mm.ot<sup>-1</sup>]

$v_f$  – posuv stolu [mm.min<sup>-1</sup>]

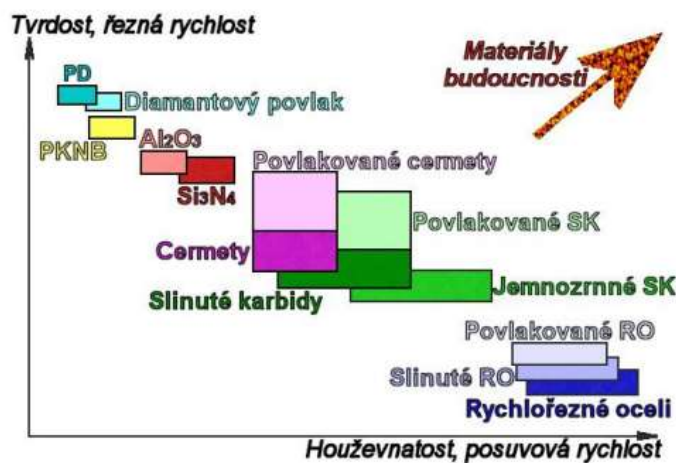
$n$  – počet otáček vřetene [ot.min]

## 2 NÁSTROJE PRO FRÉZOVÁNÍ

### 2.1 Nástrojové materiály

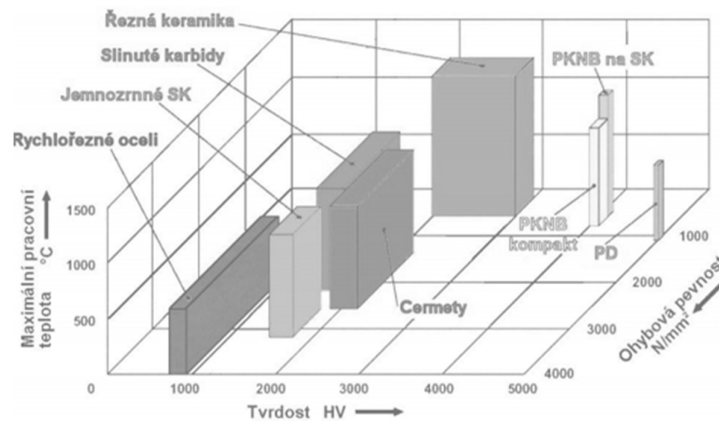
Současný, poměrně široký sortiment materiálů pro řezné nástroje, od nástrojových ocelí až po syntetický diamant, je důsledkem celosvětového, dlouholetého a intenzivního výzkumu a vývoje v dané oblasti. Má úzkou souvislost s rozvojem konstrukčních materiálů, určených pro obrábění i s vývojem nových obráběcích strojů, zejména s číslicovým řízením. [2]

Na obrázku jsou schematicky uvedeny hlavní oblasti aplikace všech současných materiálů pro řezné nástroje, vyjádřené vztahem mezi základními řeznými podmínkami, jež odpovídá vztahu mezi jejich základními vlastnostmi. [2]



Obr. 16. Oblasti použitých řezných materiálů [2]

Obrázek specifikuje konkrétní hodnoty vybraných vlastností řezných materiálů.



Obr. 17. Hodnoty vlastností materiálů [2]

### 2.1.1 Nástrojové oceli

Na nástrojové oceli, podobně jako na ostatní řezné materiály jsou kladeny často protichůdné požadavky. Některé nástroje musí mít vysokou tvrdost a pevnost, u jiných se naopak tyto vlastnosti snižují, aby se získala dostatečně vysoká houževnatost. U nástrojů pracujících za tepla musí zůstat mechanické vlastnosti zachovány i za zvýšených teplot. U všech nástrojů je požadována vysoká odolnost proti abrazivnímu a adheznímu opotřebením, u některých i za zvýšených teplot. [11]

U ocelí, na nástroje s většími průřezy nebo složitými tvary, je třeba zaručit také dostatečně velkou prokalitelnost. Nástrojové oceli se nejčastěji rozdělují podle chemického složení na nelegované, legované a vysokolegované oceli. [2]

Tab.1. Přehled vlastností u oceli.

Oceli	Nelegované	Legované	Vysokolegované
Označování	19 0xx ÷ 19 2xx	19 3xx ÷ 19 7xx	19 8xx
Obsah uhlíku [%]	0,5 ÷ 1,5	0,8 ÷ 1,2	0,7 ÷ 1,3
Obsah legujících prvků [%]	< 1,0	10 ÷ 15	> 30
Legující prvky	Mn, Si, Cr	Cr, W, Mo, V, Mn, Si, Ni	W, Mo, Cr, V, Co
Kalící prostředí	voda	olej	vzduch
Tvrdost po kalení [HRC]	62 ÷ 64	66	64 ÷ 68
Užití	ruční nástroje a nářadí	strojní nástroje nižší hodnoty řezné rychlosti	strojní nástroje

### 2.1.2 Slinuté karbidy

K počátku dvacátého století se váže zjištění, že výborné funkční vlastnosti rychlořezných ocelí jsou dány přítomností velmi tvrdých karbidických částic v jejich kovové matici. Významní producenti nástrojových materiálů se proto snažili vyrobit materiál, u kterého by podíl tvrdých částic byl mnohem vyšší než u tehdy běžných rychlořezných ocelí. V důsledku omezení, způsobených klasickými metalurgickými postupy, však tato snaha nemohla být úspěšná. Materiály s vysokým obsahem karbidických částic (90% i více) začaly být úspěšně vyráběny až po zvládnutí technologie výroby metodou práškové metalurgie. [11]

Průmyslovou výrobu slinutého karbidu rozvinula německá firma Krupp v roce 1926. V prvních aplikacích byl nový řezný nástroj vytvořen tak, že destičky ze slinutých karbidů byly pájeny do ocelových držáků.

V současnosti má již drtivá většina nástrojů mechanicky upínanou, vyměnitelnou břitovou destičku. Vývoj nástrojů s vyměnitelnými destičkami měl výrazný vliv nejen na rozvoj geometrie nástroje a utvařeče třísky, ale i na rozvoj nástrojových materiálů a rozšíření jejich sortimentu. Proto je přechod od pájených destiček k vyměnitelným, právem považován za "revoluci" v novodobých dějinách vývoje řezných nástrojů. [2]

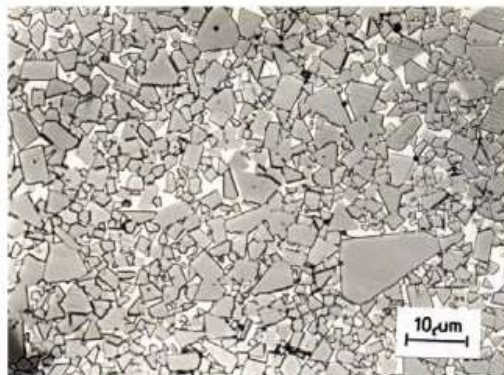


Obr. 18. Nepovlakované slinuté karbidy [7]

Slinuté karbidy jsou tvořeny částicemi tvrdých karbidů některých kovů, jako W, Ti a Ta, které jsou navzájem spojeny, zpravidla kobaltem. Poměrné množství jednotlivých druhů karbidů a kobaltu určuje pak vlastnosti slinutého karbidu. [7]

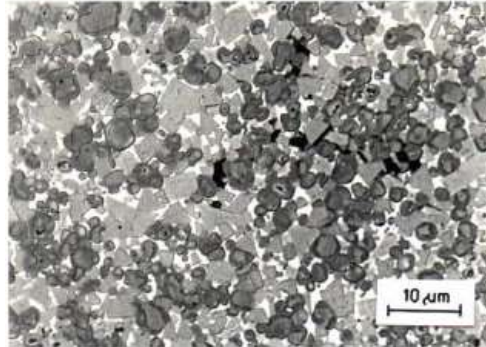
Současné standardní slinuté karbidy pro řezné aplikace jsou rozdělovány na základě jejich užití do třech skupin.

**Skupina K** – WC + Co + (TaC NbC). Určena pro obrábění materiálů, které vytvářejí krátkou, drobnou třísku.



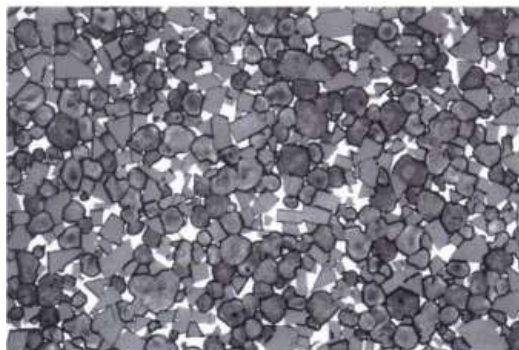
Obr. 19. Slinutý karbid skupiny K [2]

**Skupina P** – WC + TiC + Co + (TaC.NbC). Určena pro obrábění materiálů, které tvoří dlouhou třísku, jako jsou uhlíkové oceli, slitinové oceli, feritické a korozivzdorné oceli. [7]



*Obr. 20. Slinutý karbid skupiny P [2]*

**Skupina M** – WC + TiC + TaC.NbC + Co. Univerzální použití. Je určena pro obrábění materiálů, které tvoří dlouhou a střední třísku, jako jsou lité oceli, austenitické korozivzdorné oceli a tvárné litiny. Vzhledem k relativně vysoké houževnatosti se SK této skupiny též často používají pro těžké, hrubovací a přerušované řezy. [7]



*Obr. 21. Slinutý karbid skupiny M [2]*

Výroba slinutých karbidů představuje typickou metodu oboru, nazývaného prášková metalurgie. Zabývá se přípravou prášků odpovídajících karbidů a pojících kovů, jejich mícháním v patřičných poměrech, lisováním směsi a slinováním výlisků. Podstatou procesu výroby slinutých karbidů je lisování směsi prášku tvrdých karbidických částic s práškem pojícího kovu, nejčastěji kobaltu a následné slinování při teplotě blízké bodu tavení pojiva. Tím vzniká kompaktní materiál, jehož tvrdost se blíží tvrdosti výchozích karbidů. Vyniká poměrně vysokou pevností (zejména v tlaku, současné produkty předních výrobců i pevností v ohybu), protože jeho struktura je tvořena pevnou kostrou pojícího kovu, která obklopuje zrna relativně křehkých karbidů. [2]

### 2.1.3 Povlakované slinuté karbidy

První povlakované břitové destičky ze slinutého karbidu pro obrábění vyrobila firma Sandvik Coromant v roce 1969.



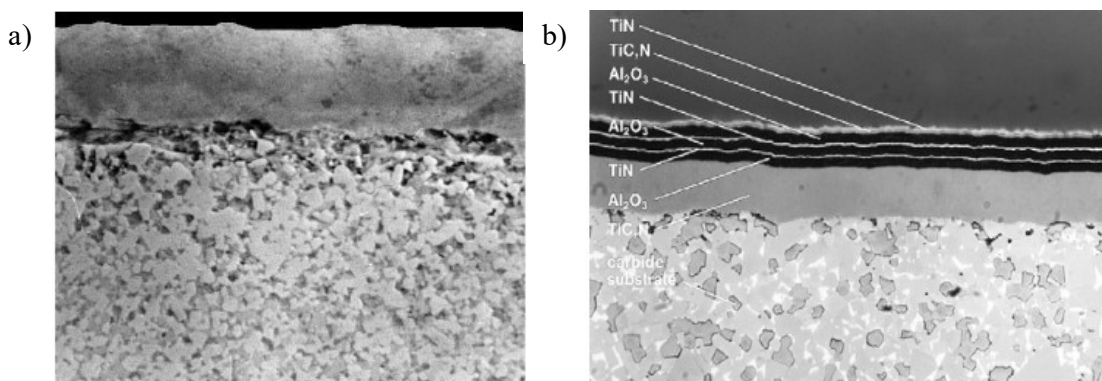
Obr. 22. Povlakované slinuté karbidy [7]



Obr. 23. Logo firmy Sandvik Coromant [7]

**Povlak 1. generace** – jednovrstvý povlak, téměř výhradně TiC, s tloušťkou asi  $7\mu\text{m}$  a špatnou soudržností podkladu a povlaku.

**Povlak 2. generace** – jednovrstvý povlak (TiC, TiCN, TiN). Zdokonalení technologie výroby umožnilo vytvořit vrstvy povlaků o větší tloušťce, bez nebezpečí jejich odlupování při funkci nástroje.



Obr. 24. a) povlak druhé generace b) povlak třetí generace [2]

**Povlak 3. generace** – vícevrstvý povlak s ostře ohraničenými přechody mezi jednotlivými vrstvami. Řazení vrstev odpovídá jejich vlastnostem tak, že jako první jsou na podklad obvykle nanášeny vrstvy s lepší přilnavostí k podkladu, které mají relativně nižší odolnost proti opotřebení. Jako poslední jsou nanášeny vrstvy, které nemusí mít dobrou přilnavost k podkladu. [20]

**Povlak 4. generace** – speciální vícevrstvý povlak. Výroba takového povlaku je umožněna cíleným řízením atmosféry ve výrobním zařízení, podle potřeb. [21]



*Obr. 25. Povlak 4. generace [5]*

Povlakované slinuté karbidy jsou vyráběny tak, že na podkladový materiál se nanáší tenká vrstva materiálu s vysokou tvrdostí a vynikající odolností proti opotřebení. Povlak ve formě tenké vrstvy má vyšší tvrdost i pevnost, než stejný homogenní materiál v jakékoli jiné formě.

Tyto výhodné vlastnosti vyplývají zejména z toho, že povlakový materiál neobsahuje žádné pojivo, má o jeden i více řádů jemnější zrnitost a méně strukturních defektů. Tvoří bariéru proti difúznímu mechanismu opotřebení nástroje.

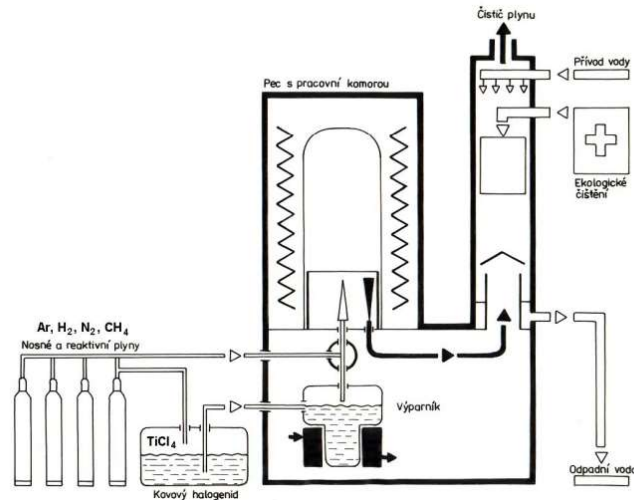
Podle principu se metody povlakování dělí do dvou základních skupin, CVD a PVD. [2]

### ***Metoda CVD***

Metoda CVD (Chemical Vapour Deposition) neboli chemické napařování z plynné fáze. Probíhá za vysokých teplot. Chemický proces povlakování je založen na reakci plynných, chemických sloučenin v bezprostřední blízkosti povrchu podkladového slinutého karbidu a následném uložení produktů reakce na tomto povrchu. [2]

**Výhody CVD** – adheze mezi podkladem a povlakem, možnost nanesení vrstev o větší tloušťce (10-13  $\mu\text{m}$ ), povlakování předmětů složitějších tvarů.

**Nevýhody CVD** – nemožnost napovlakovat ostré hrany a tahová zbytková napětí v povlaku.



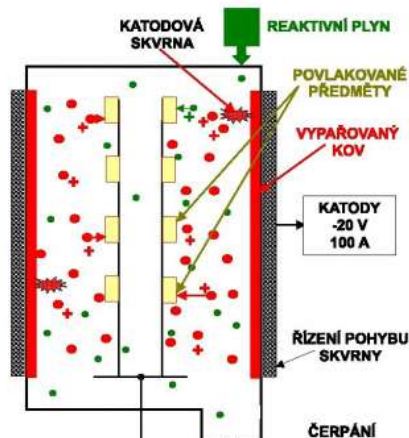
Obr. 26. Princip metody CVD [2]

### Metoda PVD

Metoda PVD (Physical Vapour Deposition) neboli fyzikální napařování je charakteristická nízkými pracovními teplotami. V současné době se používá u břitových destiček z SK, určených pro přerušovaný řez. Fyzikální proces povlakování probíhá ve středním až vysokém vakuu. [2]

**Nevýhody PVD** – vyžaduje mnohem důkladnější přípravu povrchu vzorku před povlakováním, tenčí vrstva povlaku a menší možnosti výběru typu povlaku.

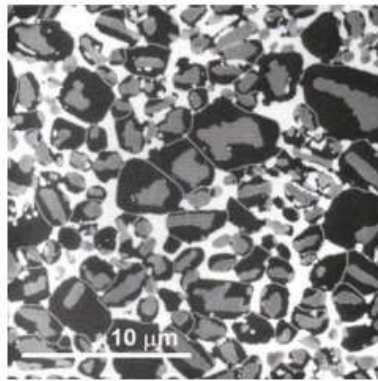
**Výhody PVD** – povlakování ostrých hran.



Obr. 27. Princip metody CVD [2]

### 2.1.4 Cermety

Materiál, jehož mechanické vlastnosti mají kombinaci vysoké tvrdosti a vysoké houževnatosti. Základní složení cermetů: TiC + TiN + Ni, Mo. Charakteristickou vlastností cermetů je nízká měrná hmotnost. Ve srovnání se slinutými karbidy jsou tyto hodnoty zhruba poloviční a jsou dány zejména tím, že cermety v drtivé většině neobsahují těžký karbid wolframu. Tvrdé částice cermetu vytvářejí zvláštní zrna, která obsahují jádro Ti, obalené lemy z komplexních karbonitridů. [2]



Obr. 28. Cermet na bázi TiCN [2]

Hlavní výhodou cermetů je jejich vysoká tvrdost, která zůstává zachována i při použití za zvýšených teplot. Lépe si udržují svůj tvar než slinuté karbidy. Jsou levnější než SK, mají vyšší chemickou stabilitu, odolnost proti oxidaci a tvorbě nárůstku. Většina, v současné době používaných cermetů je vyráběna na bázi TiC-TiN. [7]

Hlavní nevýhodou je nízká houževnatost, která je sice neustále zvyšována, ale přesto nedosahuje hodnot obvyklých u slinutých karbidů.



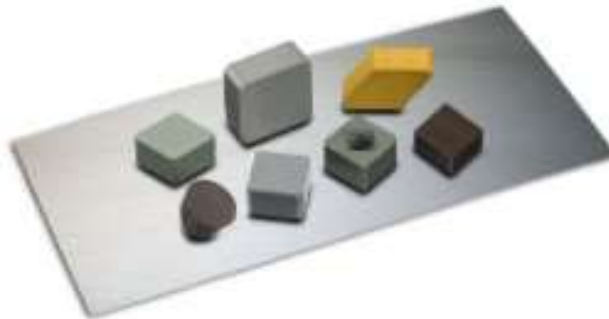
Obr. 29. Cermety [7]

Cermety jsou velmi rozšířenými reznými materiály pro dokončovací obrábění ocelí. Jsou schopny vytvořit plochy s velmi nízkou drsností povrchu. S výhodou je lze použít i pro obrábění korozivzdorných ocelí, kde vykazují vyšší trvanlivost než nepovlakované slinuté karbidy. Nemohou být používány pro obrábění žáruvzdorných slitin s vysokým obsahem niklu. Většina, v současné době používaných cermetů je vyráběna na bázi TiC-TiN. [18]

### 2.1.5 Keramické řezné materiály

Keramika je obecně charakterizována jako převážně krystalický materiál, jehož hlavní složkou jsou anorganické sloučeniny nekovového charakteru.

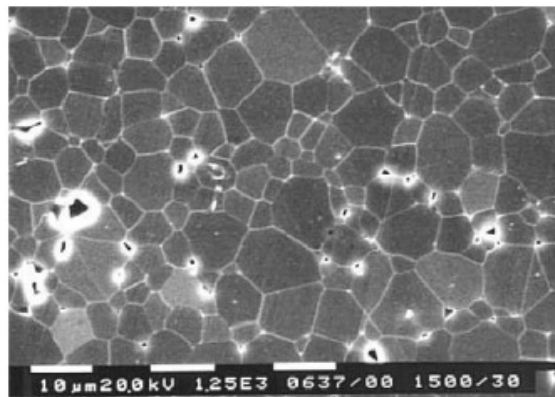
Keramiku je možné použít pro široký okruh aplikací, nejčastěji jsou využívány pro vysokorychlostní soustružnické operace, ale také pro zapichování a frézování. Při jejich správném použití umožňují specifické vlastnosti jednotlivých keramických tříd dosažení vysoké produktivity. Pro dosažení úspěšných výsledků jsou velice důležité znalosti o tom, kdy a jak keramické třídy používat. [7]



Obr. 30. Řezná keramika [7]

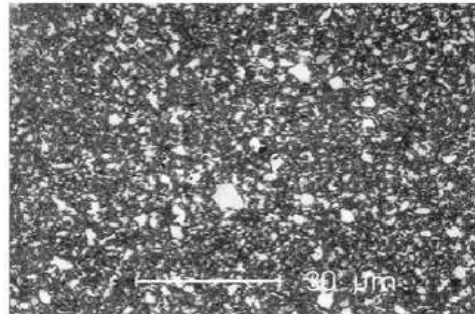
Keramické materiály se dělí následovně.

**Oxidová keramika** – skládá se z oxidu hlinitého ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), s přísadou oxidu zirkoničitého ( $\text{ZrO}_2$ ), která brání vzniku a šíření trhlin. Takto vytvořený materiál je chemicky velice stabilní, ale postrádá odolnost proti tepelným šokům. [2]



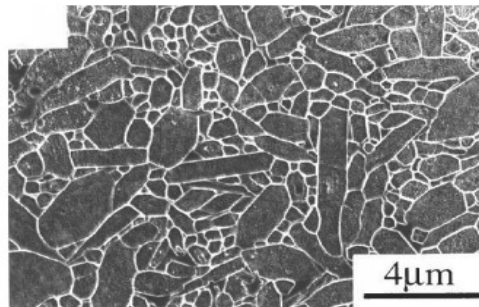
Obr. 31. Oxidační keramika [2]

**Smíšená keramika** – je vyztužená částicemi, konkrétně přísadou kubických karbidů nebo karbonitridů. Tím je dosaženo zvýšení houževnatosti a zlepšení tepelné vodivosti. [2]



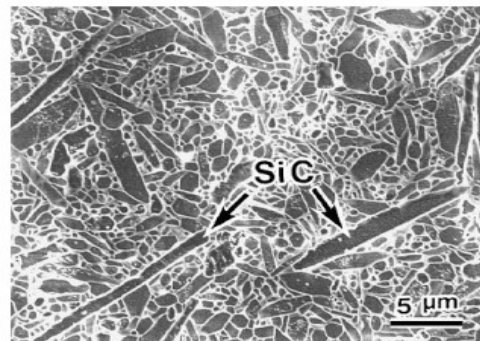
Obr. 32. Smíšená keramika [2]

**Keramika z nitridu křemíku** – ( $\text{Si}_3\text{N}_4$ ) představuje další skupinu keramických materiálů. Krystaly podlouhlého tvaru tvoří materiál se schopností “samo vyztužení”, s vysokou houževnatostí. Třídy na bázi nitridu křemíku jsou velmi vhodné pro obrábění šedé litiny, ale nedostatečná chemická stabilita limituje jejich použití pro ostatní typy materiálů. [2]



Obr. 33. Keramika z nitridu křemíku [2]

**Keramika vyztužená whiskery** – vyznačuje se razantním nárůstem houževnatosti a umožňuje použití řezné kapaliny. Řezná keramika vyztužená whiskery je ideální pro obrábění slitin niklu. [2]



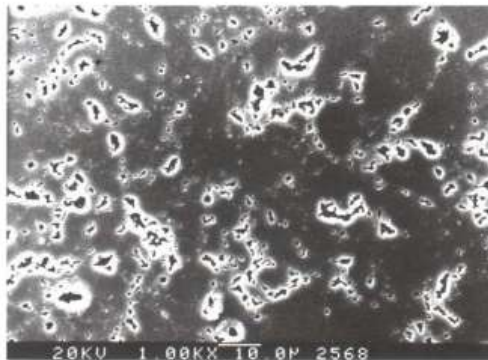
Obr. 34. Vyztužená keramika [2]

### 2.1.6 Super tvrdé řezné materiály

Super tvrdé materiály lze rozdělit na dvě podskupiny materiálů, a to polykrystalický diamant a polykrystalický kubický nitrid boru. Vzhledem k vynikajícím mechanickým vlastnostem lze PD i PKNB s výhodou použít jako řezné nástrojové materiály pro speciální aplikace. [2]

#### *Polykrystalický diamant*

Polykrystalický diamant má poměrně nízkou teplotní stálost, při dosažení teplot nad 800 °C se mění na grafit. Nesmí být používán pro obrábění materiálů na bázi železa, kde by při nadměrném ohřevu docházelo k silné difúzi mezi nástrojem a obráběným materiálem, tím i k velmi rychlému opotřebení v důsledku probíhajících chemických reakcí, hlavně na čele nástroje. [2]



Obr. 35. Polykrystalický diamant [2]

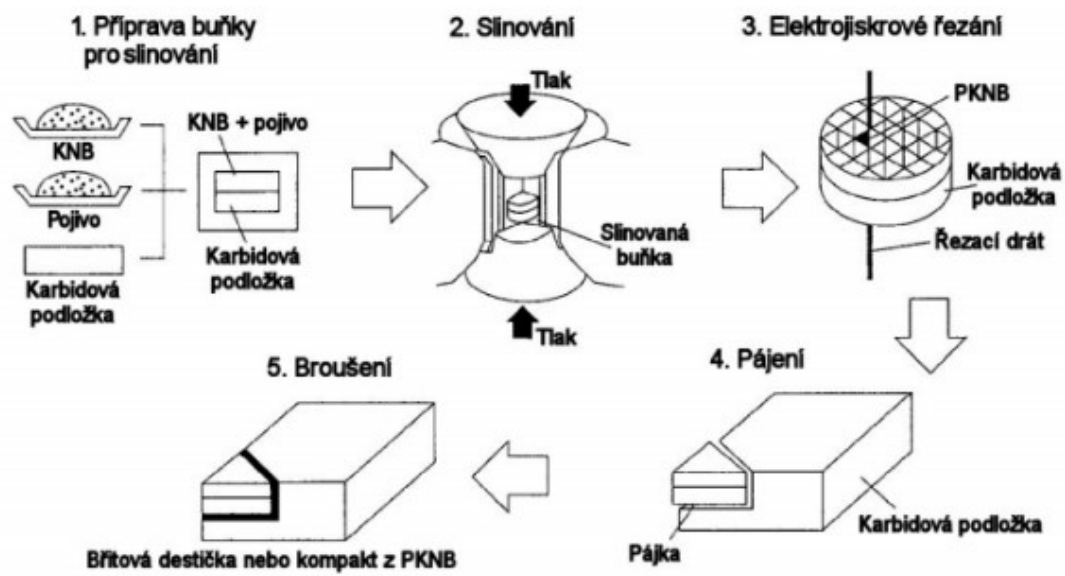
Aplikační možnosti PD při obrábění neželezných materiálů jsou velmi široké: hliníkové slitiny, zejména s vysokým obsahem křemíku, který působí na nástroj velmi silným abrazivním účinkem, bronzy, mosazi, kompozity vyztužené různými druhy vláken, titan a jeho slitiny, keramika, grafit, tvrdé přírodní materiály. [2]

Pro obrábění diamantovými nástroji je doporučováno chlazení běžnými řeznými kapalinami, na které nejsou kladeny žádné speciální požadavky. Nástroje z PD pracují obvykle za vysokých řezných rychlostí. Použitý obráběcí stroj musí mít vysoký výkon a tuhost.



Obr. 36. Polykrystalický diamant [7]

Průmyslově je diamant vyráběn z velmi čistého grafitu, kubický nitrid boru z nitridu boru. Postup výroby břitových destiček z PKNB je schematicky uveden na obrázku. Postup výroby břitových destiček z PD je analogický, rozdíl je pouze v tom, že diamantové destičky nejsou vyráběny ve formě kompaktních celků. [2]



Obr. 37. Postup výroby vyměnitelné břitové destičky [2]



Obr. 38. Tvarová rozmanitost PD plátek

## 2.2 Opotřebení břitu nástroje

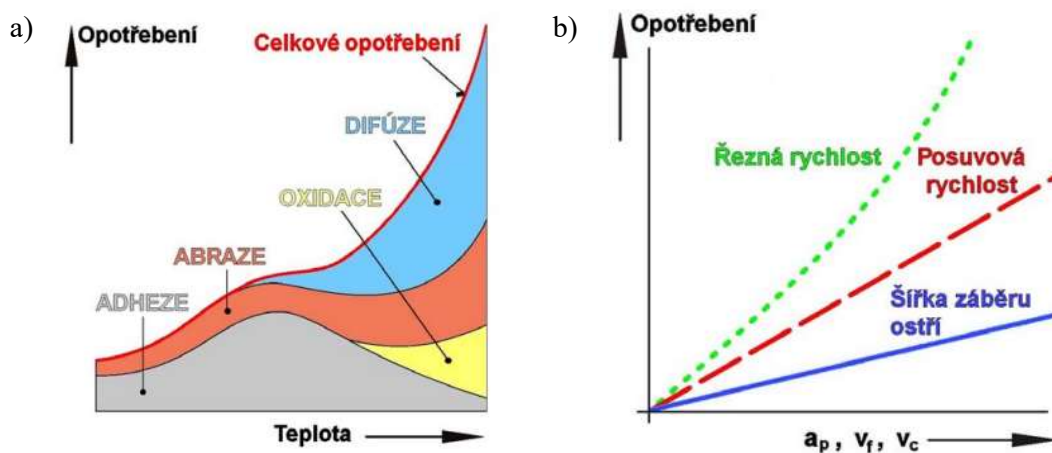
Při obrábění vzniká velké množství tepla, které se vyvíjí na ploše čela a hřbetu nástroje. Materiál břitu nástroje je tak tepelně namáhán. [1]

Procesem utváření třísky se kontinuálně vytváří, při vysokém tlaku a teplotě, kokový povrch, který podléhá chemickým reakcím. Většina materiálů obsahuje tvrdé částice různého druhu, které se svou tvrdostí neliší od materiálu břitu nástroje. Tyto částice vyvolávají u nástroje brousící, případně abrazivní efekt. [1]

Skloubením mechanických, tepelných, chemických a abrazivních faktorů dochází ke složitému zatěžování břitu nástroje, které se projevuje jeho opotřebením. [1]

### 2.2.1 Mechanismus opotřebení

Na základě analýzy zatěžujících faktorů břitu nástroje je možné identifikovat základní mechanizmy opotřebení. [1]



Obr. 39. a) vliv teploty na opotřebení b) vliv řezných podmínek na opotřebení [1]

### 2.2.2 Kvantifikace opotřebení

Opotřebení břitu je významný parametr řezného procesu. Kvantifikuje se rozměrovými charakteristikami, vztaženými k postupnému opotřebování břitu řezného nástroje. Kvantifikace parametrů opotřebení břitu se provádí měřením na různých mikroskopických přístrojích s následným vyhodnocením. [2]

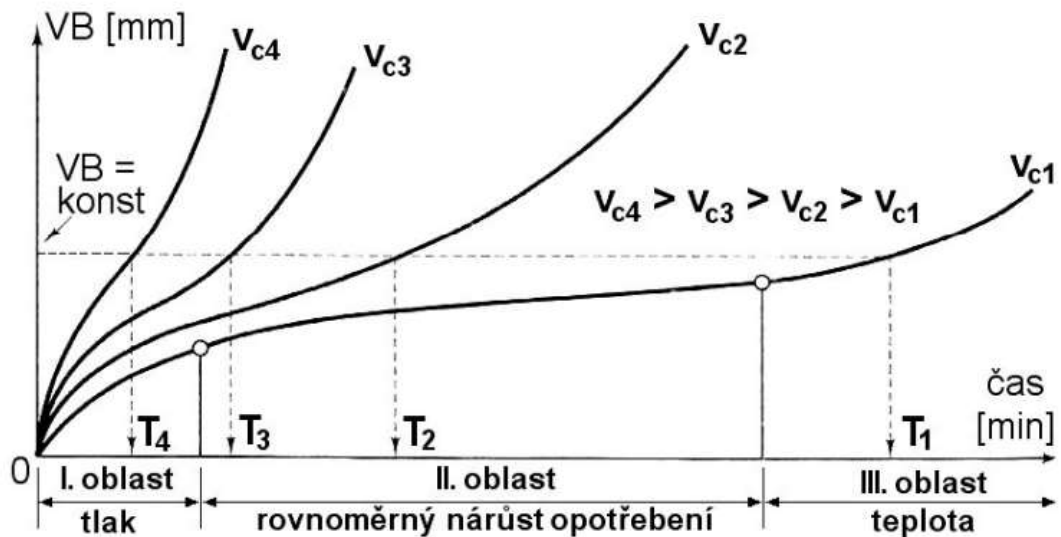
#### Časový průběh opotřebení

Po použití nového nástroje dochází k jeho postupnému opotřebení. Jednotlivé etapy opotřebení řezného nástroje lze rozdělit na jednotlivé časové oblasti. [1]

**Oblast zrychleného záběhového opotřebení** – souvisí se záběhem nástroje a je způsobeno vysokým měrným tlakem na vrcholcích nerovností nástroje.

**Oblast lineárního opotřebení** – dochází k lineárnímu nárůstu opotřebení a intenzita je konstantní.

**Oblast zrychleného nadměrného opotřebení** – spojena s limitní teplotou řezání a poklesem tvrdosti nástroje. Nastává velmi rychle, většinou lavinovité opotřebení. [1]

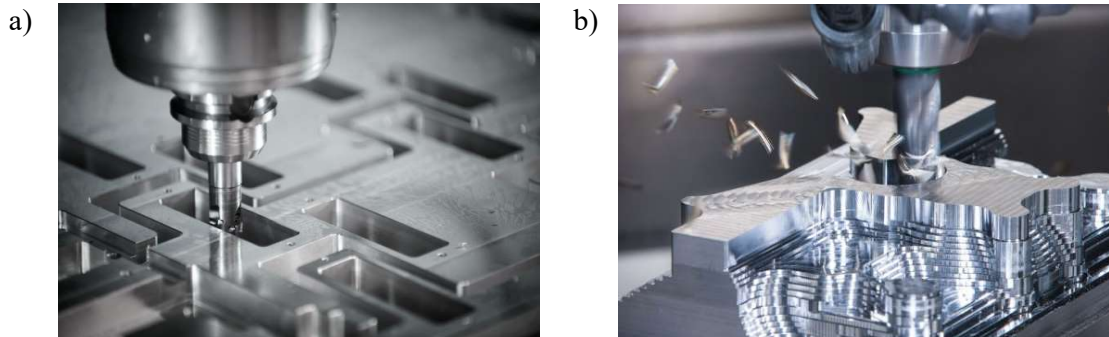


Obr. 40. Časová závislost opotřebení pro různé řezné rychlosti [1]

## 2.3 Typy frézovacích operací

Pojmy frézovací nástroj a frézovací operace spolu úzce souvisí. Pod pojmem frézovací nástroj rozumíme řezný nástroj používaný v procesu obrábění, tedy fréza. [17]

Pod pojmem frézovací operace, je rozuměn úkon konaný frézovacím nástrojem. Avšak ne každým frézovacím nástrojem je možno provádět všechny frézovací operace. Každý frézovací nástroj má své specifika a lze jím provádět pouze určitou část frézovacích operací. [18]



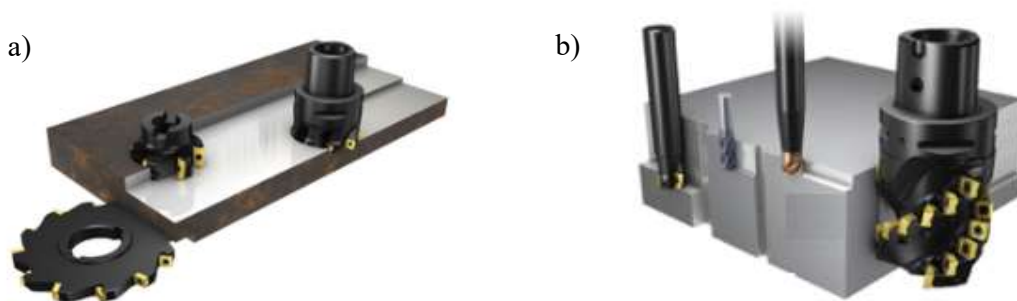
Obr. 41. a) frézování drážky b) frézování tvaru [18]

### 2.3.1 Frézovací operace

Frézovací operace jsou rozděleny do několika variant. Představují nám možné způsoby odělování materiálu z obrobku, pomocí frézovacího nástroje. [18]

#### *Frézování do rohu*

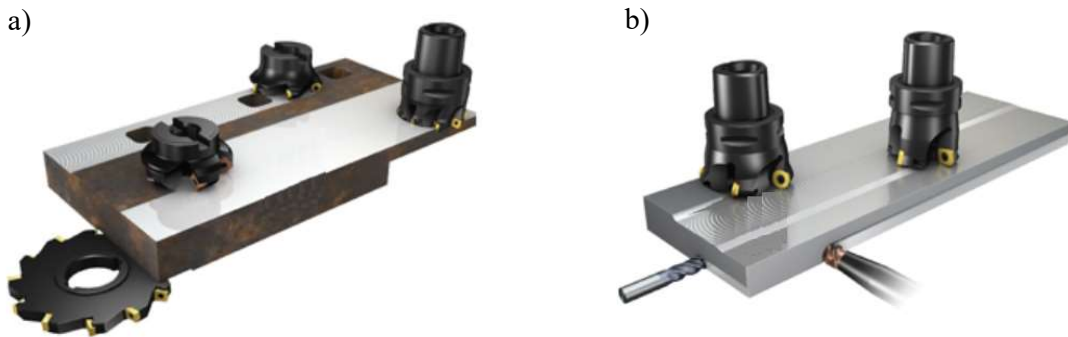
Při frézování do rohu vznikají současně dvě plochy, tudíž je zapotřebí frézování obvodem v kombinaci s čelním frézováním. Dosažení skutečně přesného úhlu devadesát stupňů je jednou z nejdůležitějších podmínek. Frézování do rohu lze provádět pomocí obvyklých pravoúhlých fréz do rohu a také pomocí stopkových fréz, fréz s dlouhými břity a kotoučových fréz. Vzhledem k velkému množství alternativ je velice důležité pečlivě zhodnotit všechny požadavky na danou operaci, aby bylo možné provést optimální volbu. [18]



Obr. 42. a) čelní frézování b) frézování stěn do rohu [17]

### Čelní frézování

Čelní frézování je nejrozšířenější frézovací operace a lze ji provádět s využitím velkého množství různých nástrojů. Nejčastěji se používají frézy s úhlem nastavení  $45^\circ$ , ale za určitých podmínek se také používají frézy s kruhovými břitovými destičkami, frézy pro frézování do rohu nebo kotoučové frézy. [18]

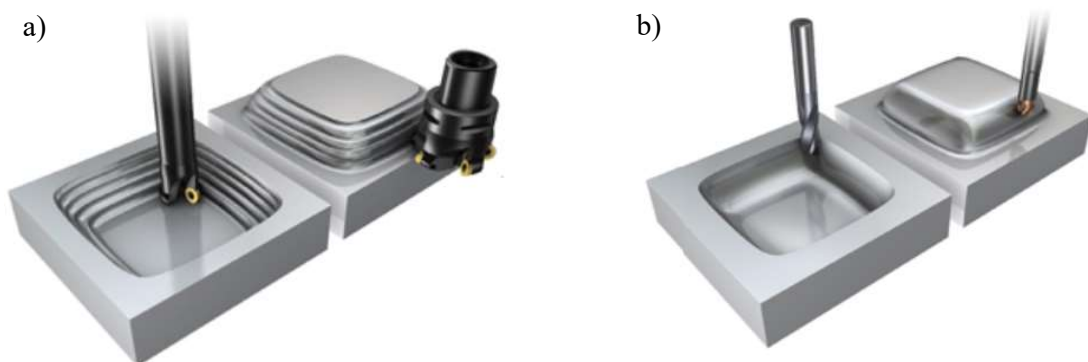


Obr. 43. a) čelní frézování b) vysoko posuvové frézování [17]

### Tvarové frézování

Tvarové frézování zahrnuje víceosé frézování konvexních nebo konkávních tvarů ve dvou nebo třech dimenzích. Čím větší je součást a čím komplikovanější je obráběný tvar, tím důležitější se stává přípravný proces. Celý obráběcí proces by měl být rozdělen nejméně na 3 typy operací: hrubování/lehké hrubování, polo dokončování, dokončování. [10]

Někdy je nutné použít také superfinišování, které se často provádí s využitím technik vysokorychlostního obrábění. Z důvodu dosažení nejvyšší přesnosti a produktivity je doporučeno provádět hrubování a dokončování na samostatných strojích a používat specializované obráběcí nástroje pro každou operaci. [10]



Obr. 44. a) tvarové frézování s VBD b) tvarové frézování s monolitem [17]

### *Rotační frézování*

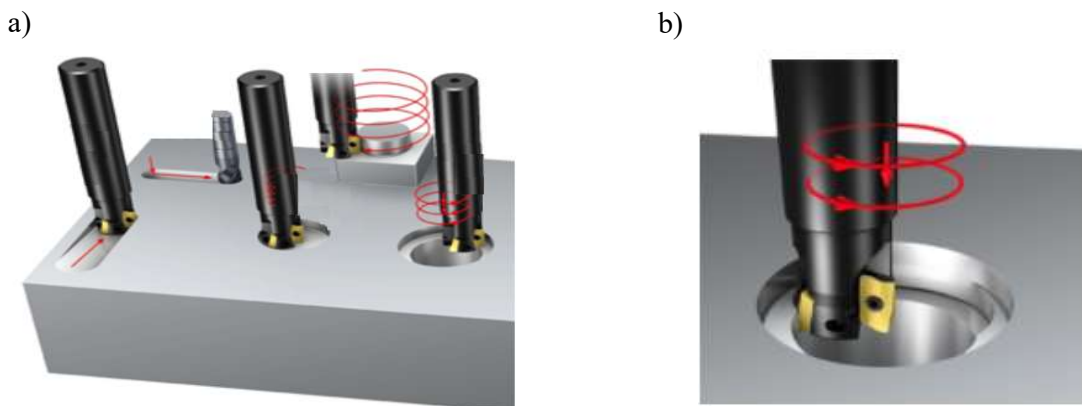
Rotační frézování je definováno jako frézování zakřivených povrchů, zatímco obrobek se otáčí kolem své osy. Rotační frézování je možné použít také pro obrábění excentrických tvarů a profilů, které se značně liší od těch, které lze vytvářet pomocí konvenčních metod frézování. Metoda umožňuje velké rychlosti úběru kovu a skvělou kontrolu utváření třísky.



*Obr. 45. a) rotační frézování tvaru b) nesymetrické frézování [17]*

### *Frézování otvoru*

Zvětšení stávající díry je možné provést jak zahlubováním pomocí šroubovicové interpolace, tak i frézováním pomocí kruhové interpolace. Frézování pomocí kruhové interpolace je alternativní metoda k tradičně používaným vyvrtávacím nástrojům. Frézování kruhovou interpolací se většinou provádí pomocí fréz s úhlem nastavení 90 stupňů pohybem nástroje po kruhové dráze. [17]

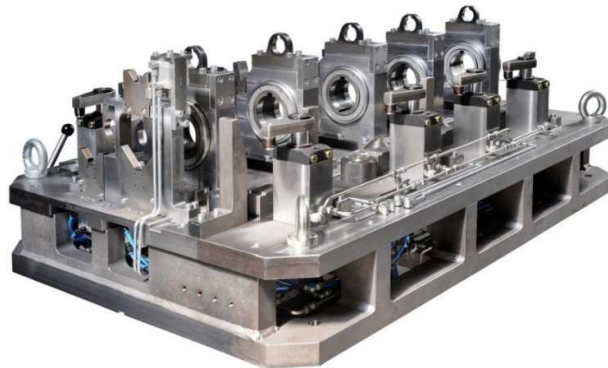


*Obr. 46. a) kruhová interpolace a drážka b) frézování otvoru [17]*

### 3 ZÁKLADY UPÍNÁNÍ PŘI FRÉZOVÁNÍ

#### 3.1 Upnutí obrobku

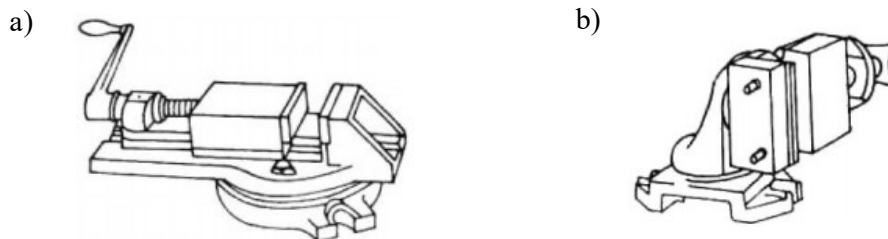
Při frézování vznikají vlivem současného záběru několika zuby frézy velké řezné síly, proto se musí obrobek pevně a spolehlivě upnout ve správné poloze. Musí se také volit takové upínací zařízení, u kterého řezné síly od nástroje působí proti pevným částem upínacího prostředku. Při upínání nesmí být obrobek vlivem upínacích sil upínače deformován. Dále se musí hledět na to, aby upínací a obráběná plocha byly co nejbližše vřetenu stroje samotné obráběcí operaci působí vysoké odstředivé síly, proto je kladen větší požadavek na upínací sílu. Ta je regulována automatickým systémem. Z bezpečnostních důvodů je také kontrolována čidlem. [9]



Obr. 47. Moderní provedení upínacího přípravku [20]

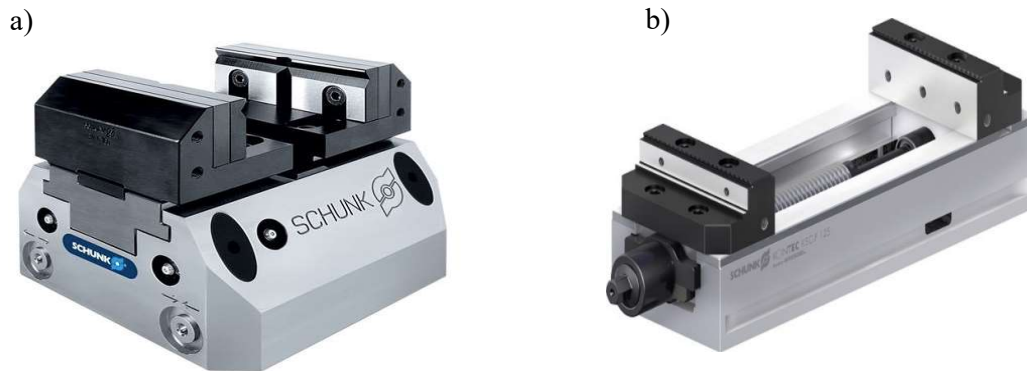
##### 3.1.1 Strojní svěrák

Pro upnutí menších a tvarově jednoduchých obrobků se volí strojní svěráky. Obrobek se ve svěráku ustavuje pomocí kovových podložek. Aby obrobek ve svěráku lépe sedl, klepe se do těchto podložek kladivem. Tím je zajištěna jeho pevná poloha. Svěráky mohou být pevné, otočné, prizmatické středící a sklopné. Ovládají se buď ručně, pneumaticky nebo také hydraulicky. [3]



Obr. 48. a) pevný strojní svěrák b) sklopný svěrák [6]

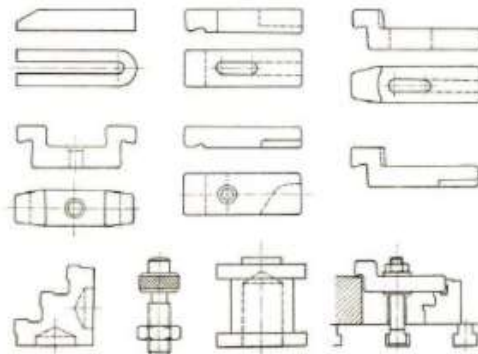
Pevný svěrák se skládá z tělesa, jehož součástí je i pevná čelist. K sevření obrobku dochází pohybem druhé čelisti, která se pohybuje v radiálním směru proti pevné čelisti. Hlavní částí otočného svěráku je spodní deska se stupňovým dělením, která má kruhový tvar. Pomocí tohoto dělení lze se svěrákem otáčet kolem jeho svislé osy do té polohy, která je pro dané frézování nejlepší. Pevného zajištění se dosáhne utažením matic upínacích šroubů. Strojní svěrák se připevňuje na pracovní stůl frézky. Jeho poloha se zajistí upínacími šrouby se čtyřhrannými hlavami, které se zasouvají do T drážek stolu. Svěrák je umístěn tak, aby upínací čelisti byly rovnoběžné nebo kolmé k drážkám stolu. [3]



Obr. 49. a) hydraulicky upínaný svěrák b) mechanicky upínaný svěrák [18]

### 3.1.2 Upínací pomůcky

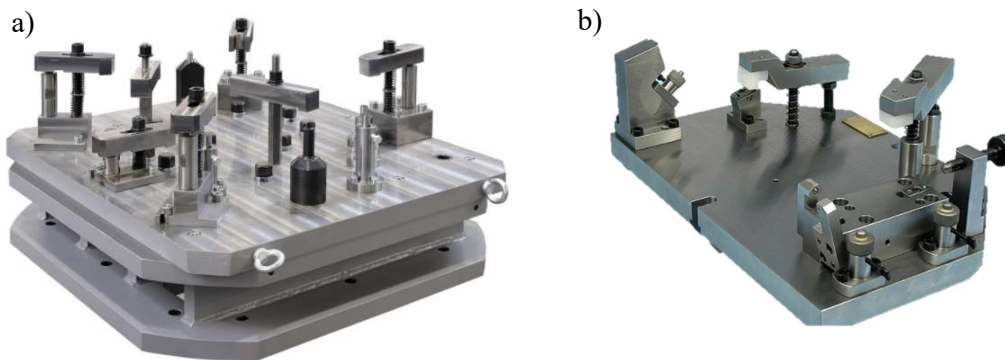
Obrobky větších rozměrů se při frézování upínají přímo na pracovní stůl frézy. Jejich ustavení se provádí upínacími pomůckami různého typu. Ke stolu frézy se upevní do T-drážek pomocí šroubů se čtvercovou hlavou. Upínacími pomůckami mohou například být upínky, opěrky, podpěry, atd. [3]



Obr. 50. Klasické provedení upínek [18]

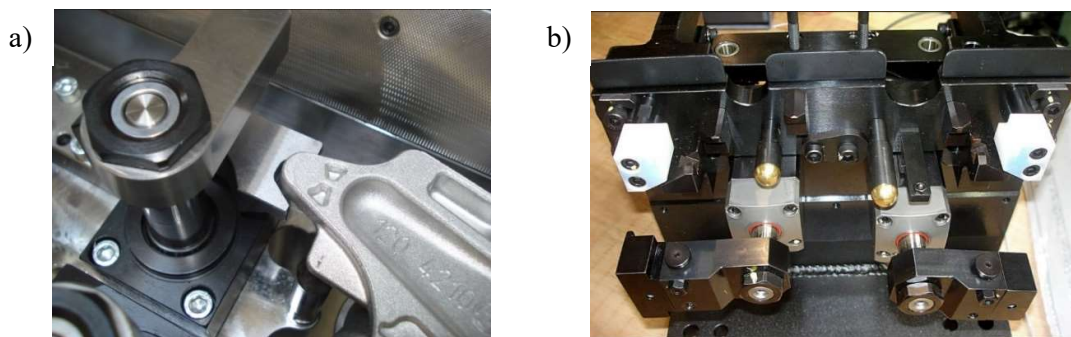
### 3.1.3 Upínací přípravky

Upínací přípravky jsou výrobní pomůcky, které slouží k upínání daného obrobku většinou složitějšího tvaru a rozměru. Obrobky se do nich upínají rychle s velkou přesností, čímž nám usnadňují práci při ustavení obrobku do správné polohy. Zkracují tak i celkový strojní čas. Upínací přípravky musí splňovat několik konstrukčních požadavků, jsou to například bezpečný odvod vznikajících řezných sil působících při obrábění, tlumení případného chvění, nižší hmotnost (usnadňuje tak samotnou manipulaci s přípravkem). [17]



Obr. 51. a) mechanický přípravek b) upínání upínkami [11]

Upínací přípravky mohou být buď jednoúčelové (používané spíše v sériové výrobě pro upínání součástí stejného tvaru a rozměru), anebo víceúčelové (sloužící k upínání součástí různých tvarů, převážně používaných v kusové výrobě). Podle zdroje upínací síly se dělí na mechanické, pneumatické a hydraulické. [17]



Obr. 52. a) hydraulická upínka b) hydraulický přípravek [12]

### 3.2 Upnutí nástroje

Upínání nástrojů na CNC fréz je realizováno za pomoci různých typů držáku. Tyto držáky si jsou charakteristické svou schopností upnout různé nástroje. Držáky společně s nástroji jsou dále upínány do zásobníku stroje, kde jsou ustaveny, seřízeny a připraveny pro použití při výrobě. [10]

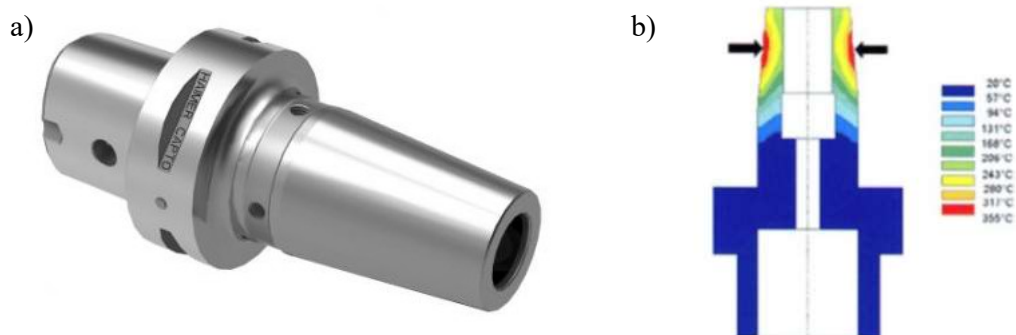


Obr. 53. Upnutí frézy v upínači [16]

#### 3.2.1 Tepelné upínání

Další možností upínání nástrojů je využití systému tepelného upínání nástrojů. Tato nová koncepce umožňuje upínání nástrojů zejména pro vysokorychlostní obrábění. Princip upínání spočívá v teplotní roztažnosti materiálů. Nástrojové držáky jsou vyrobeny ze speciálního materiálu, jehož ohřevem dojde ke zvětšení otvoru pro upnutí nástroje. Obsluha pouze vloží nástroj do držáku. Ochlazením dojde ke smrštění držáku, a tím k upnutí nástroje. [6]

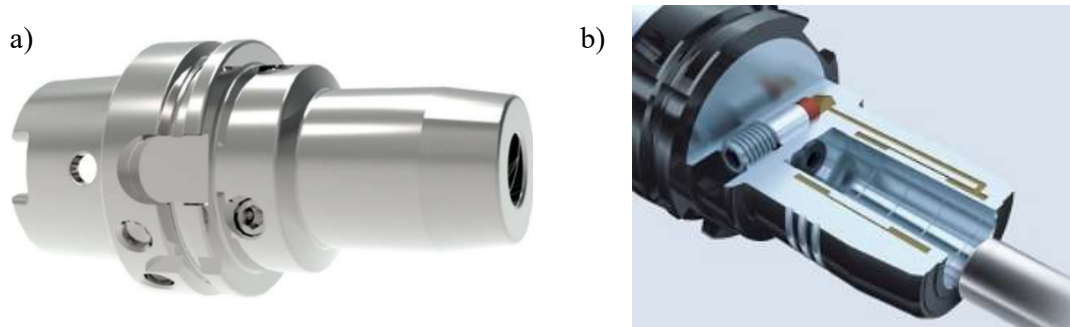
K ohřátí nástrojového držáku je nutné zařízení, které v krátkém čase dokáže upnout nástroj (nejrychlejší ohřev se dosáhne využitím principu elektrické indukce – doba ohřevu se pohybuje přibližně kolem 5 sekund). Důležitá je také velká rychlost ochlazení nástrojového držáku. Upínací přístroje bývají konstruovány univerzálně, tzn., že lze upínat a chladit držáky různých velikostí od různých dodavatelů. Lze upínat tvrdokovové i HSS nástroje od průměru 3 mm. Pro malé průměry se využívají velice přesné kleštiny. [10]



Obr. 54. a) tepelný upínač b) teplotní pole [13]

### 3.2.2 Hydraulické upínání

Otáčením upínacího šroubu se vytváří rovnoměrný tlak hydraulické kapaliny uvnitř upínače. Tento tlak působí na upínací pouzdro, které pevně a přesně upne vložený nástroj. Pro upnutí menších nástrojů lze použít redukční pouzdra. [10]



Obr. 55. a) hydraulický upínač b) řez hydraulickým upínačem [13]

### 3.2.3 Hydraulické upínání

Upínací kleština je strojní prvek, sloužící k upnutí nástrojů s válcovou stopkou o daném jednotném průměru. Kleština (neboli „kleštinové pouzdro“) je těleso s vnější kuželovou plochou, které je podélně rozříznuté tak, aby při zasouvání do vnitřní kuželové plochy stejné kuželovitosti se svíralo a upnulo tak upínané těleso. Výhodou je podstatně jednodušší a tužší konstrukce. [10]



Obr. 56. a) kleštinový upínač b) kleština [15]

## 4 ZÁKLADNÍ TYPY STROJŮ PRO FRÉZOVÁNÍ

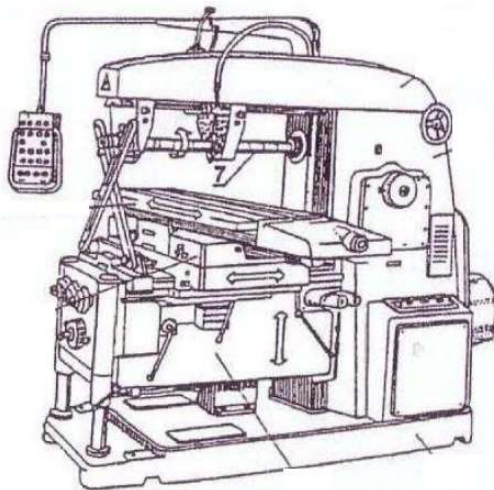
Frézka je obráběcí stroj určený k obrábění, které se nazývá frézování. Pomocí frézky se obrábí rovinné, tvarové a při použití zvláštního příslušenství i rotační plochy a závity. Hlavním rotačním nástrojem, který používá frézka je fréza. Frézek existuje mnoho druhů. Nejčastěji je můžeme zařadit do jedné z těchto dvou skupin konzolové, rovinné a speciální.

### 4.1 Konzolové frézky

Konzolové frézky se vyskytují nejčastěji. Jejich název je odvozen od konzoly, která je posuvná po stojanu. Na ni 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. Konzolové frézky dále rozlišujeme na vodorovné, svislé a univerzální. [6]

#### 4.1.1 Vodorovná konzolová frézka

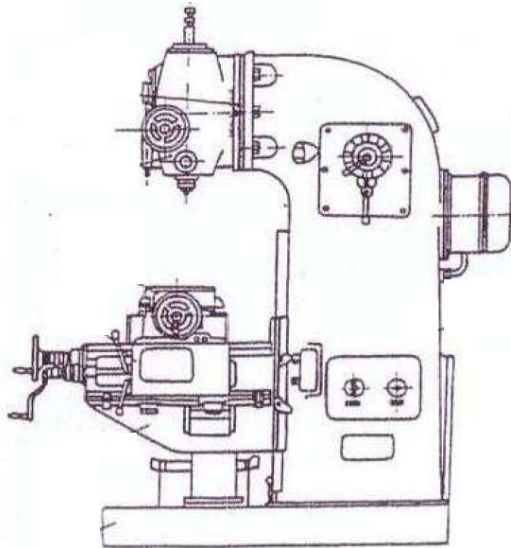
Charakteristickým znakem je vřeteno uložené horizontálně, rovnoběžně s rovinou pracovního stolu. Obvykle se na nich obrábí drážky pomocí fréz kotoučových, tvarových, skládaných (pro složitější tvary). Do vřetene je možné upnout stopkové frézy, či frézovací hlavy pro obrábění rovinných ploch i drážek. [6]



Obr. 57. Vodorovná konzolová frézka [21]

#### 4.1.2 Svislá konzolová frézka

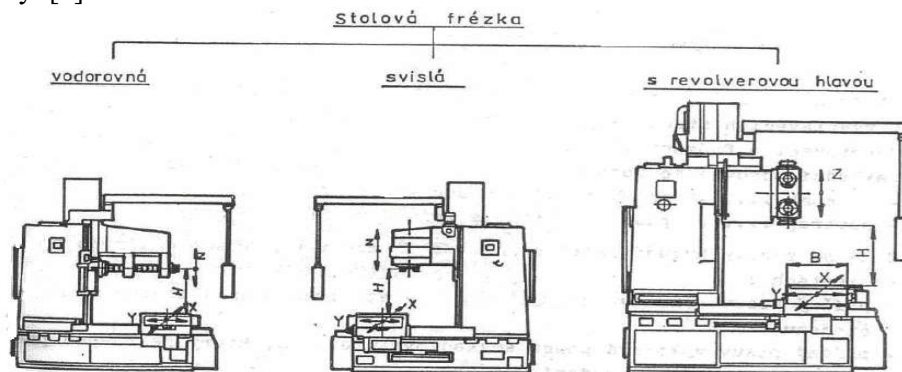
Rozlišovacím prvkem je vertikální vřeteno s osou kolmou na plochu pracovního stolu frézky. Vřeteno je uloženo ve svislé hlavě, která může být otočná kolem vodorovné osy a lze ji natočit většinou o úhel  $45^\circ$ . Obvykle se užívají k obrábění rovinných ploch a drážek pomocí čelní frézy, frézovací hlavy, či stopkových fréz. [6]



Obr. 58. Svislá konzolová frézka [21]

#### 4.2 Stolové frézky

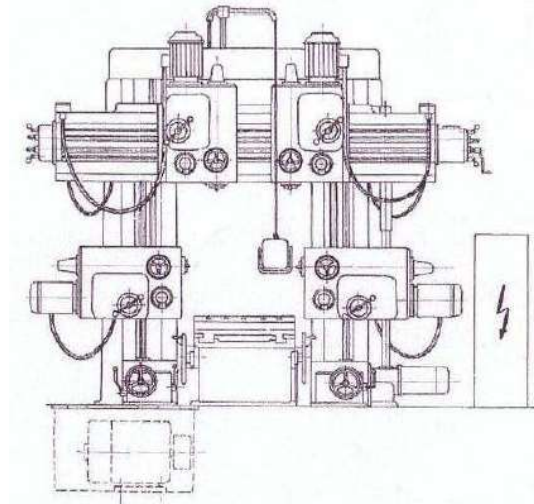
Jejich hlavním poznávacím znakem je příčný a podélný stůl. Nemají konzolu. Jejich výhodou je přesně definovaná a neměnná výška stolu. Pohyb ve svislém směru pro nastavení nástroje vzhledem k obrobku je zajištěn přemísťováním frézovacího vřetene po vedení stroje. Obvykle jsou tužší a přesnější než konzolové frézky. Většinou se používají pro výrobu rozměrnějších a těžších součástí. Jednotlivé typy jsou vodorovné, svislé a revolverové stolové frézky. [6]



Obr. 59. Přehled stolových frézek [21]

### 4.3 Rovinné portálové frézky

Používají se pro výrobu velkých a těžkých součástí. Tato frézka má oba stojany spojeny příčnickem se svislým posuvem. Na něm jsou umístěny dva samostatné vřeteníky. Obrobek se upíná na pracovní stůl s podélným posuvem. Nástrojem je většinou frézovací hlava. Portálové frézky se řadí mezi nejvýkonnější frézky. [6]



Obr. 60. Rovinná portálová frézka [21]

### 4.4 Speciální frézky

Do této skupiny se řadí frézky pro různé speciální operace, např. frézky na ozubení, na závity, na drážky, na vačky, pantografické frézky. [6]

#### 4.4.1 Frézky na závity

Závity se frézují pomocí tvarové kotoučové, válcové (hřebenové), či okružovací frézy. Kotoučové frézy se používají na výrobu lichoběžníkových závitů. [7]

#### 4.4.2 Frézky na ozubení

Používají se tvarové stopkové a kotoučové frézy pro dělicí způsob frézování, odvalovacích fréz pro frézování odvalovacím způsobem. [7]

#### 4.4.3 Frézky na vačky

Frézují tvary vaček, nebo drážek v křivkových bubnech podle šablon, nebo modelů. [7]

## 5 POČÍTAČOVÁ PODPORA OBRÁBĚNÍ

Počítačová podpora je v současnosti využívána ve všech oblastech výroby. Od vývoje a návrhu součástí, plánování výroby, až po samotnou výrobu a montáž i expedici. Používá se dle požadavků a potřeb v různých odvětvích průmyslu. Umožňuje urychlit a zjednodušit především tzv. inženýrské činnosti jako jsou tvorba 3D modelů a výkresů, dimenzování, provádění analýz, projektování. [17]

Obecně se počítačová podpora označuje jako CAx. Zkratka CA (Computer Aided) naznačuje, že činnost, metoda, technik, nebo systém je počítačem podporován.

Význam CAx systémů roste, zejména pokud jsou v podniku tyto počítače navzájem datově propojené a vytvářejí integrované celky počítačových systémů s možností sdílet data, ať už na úrovni file-systému, databáze, nebo řešení pro zprávu životního cyklu výrobku tzv. PLM.

Vzájemné propojení různých automatizovaných systémů ve výrobě spolu s CAx systémy získává výrobní podnik vysoký stupeň flexibility. Souhrnný název pro výrobu kompletně podporovanou výrobu je výroba integrovaná počítačem – CAM [17]



Obr. 61. Logo CAD/CAM systému NX [14]

## 5.1 Popis základních CAx systémů

CAD, CAM, CAE a další, jsou anglické zkratky různých počítačových systémů patřících do výroby integrované počítačem – označované jako CIM. Tyto systémy vychází z počítačové grafiky. Zabývají se kompletním návrhem nových produktů a jejich realizací.

Softwarový CAD/CAM/CAE systém obsahující aplikace pro 3D modelování, tvorbu sestav, mechanismů, tvorbu výkresové dokumentace, výpočty metodou konečných prvků, programování pro NC stroje, testování a správu celého systému. [15]

## 5.2 CAD/CAM SYSTÉMY

V současné době jsou CAD (Computer Aided Design) a CAM (Computer Aided Manufacturing) systémy nepostradatelným nástrojem pro strojírenství stejně jako výrobní stroje. Při správném nasazení těchto programů a jejich pravidelné aktualizaci tak, aby nedocházelo k morálnímu zastarávání, jsou přínosy nezanedbatelné. Při splnění výše uvedených podmínek je možno snadno docílit velmi přehledného průběhu zakázky a zpřístupnění potřebných dat jako jsou výkresy, kusovníky, seřizovací listy, modely atd. oprávněným osobám.

K dalším výhodám patří snadné předávání a archivování dat. K neopomenutelným přednostem patří také personální nezávislost a ochrana firemního know-how. Práce pro tým konstruktérů a technologů je díky provázanosti CAD/CAM mnohem snazší. Již nemusí být projekt, relativně malý např. vstřikovaci forma, vázán na jednu osobu. Díky tomu je možno provádět práce souběžně a výrazně tak zkrátit předvýrobní etapu zakázky.

## 5.3 CAD systém

CAD (Computer Aided Design) = počítačem podporovaný návrh

Jedná se o konstrukční návrh nové součásti, kdy celá geometrie je interaktivním způsobem modelována a zobrazována ve skutečné reálné formě. Je to tedy souhrn prostředků pro vytváření geometrických modelů. Informace reprezentující geometrický model jsou uloženy v aplikačně sestavené databázi, která je základem pro další kroky v komplexním inženýrském řešení problému návrhu nového modelu.

Počítačová podpora návrhu a tvorby konstrukční dokumentace je interaktivní způsob geometrického modelování tvaru a rozměru navrhovaného produktu v uživatelsky přehledném prostředí. Geometrické modelování vyjadřuje počítačově matematický popis objektu, který se v prostředí CAD zhotovuje v rovině 2D způsobem modelování, jehož charakteristickým rysem je uzavřená lomená čára, tvořící postupný profil modelu, nebo modelováním v 3D prostoru, při kterém má model identický tvar se zadáním. [16]

Počítačová podpora designu, lépe podpora konstrukce 2D a 3D návrhu součástí. Je možné rozdělit do 4 základních skupin:

- neparаметrické
- parametrické
- asociativní
- CAD systémy se synchronní technologií

### 5.3.1 Neparаметrické CAD systémy

Jedná se o nejstarší způsob práce. V jejím průběhu práce nevznikají žádné záznamy o historii modelů a ostatních entit. Takto vytvořená data mají nejmenší objem dat. Největší nevýhodou je velmi obtížná editace již vytvořených prvků. Pokud například vytvoříme úsečku pomocí jejího počátečního bodu, délky a úhlu od osy „X“, v budoucnu již nelze tyto hodnoty znovu nalézt a upravit.

### 5.3.2 Parametrické CAD systémy

Oproti předešlé metodě jsou ukládány i parametry popisující prvek. Úpravy na takto vytvořených objektech jsou potom mnohem snazší.

### 5.3.3 Asociativní CAD systémy

V současnosti nejrozšířenější metoda používaná drtivou většinou kvalitních CAD systémů. Průběh modelování se nejvíce blíží reálné výrobě dílu. Vznikají zde provázanosti mezi jednotlivými částmi modelu. Pokud např. vytvoříte díru na dno kapsy a zadáte polohu do jejího obvodu, je tato poloha vůči dutině dodržena i při změně její pozice. V průběhu práce mohou vznikat záznamy o jednotlivých krocích do tzv. „stromu historie“. V tomto stromě je velmi dobře patrné, jak daný prvek, nejčastěji model, vznikl. Tuto vlastnost mohou mít i parametrické CAD systémy. [13]

### 5.3.4 CAD systémy se synchronní technologie

V současnosti je obsažena pouze u produktů vyvíjených společností SIEMENS PLM SOFTWARE. Díky prodeji této patentované technologie konkurenci se v blízké budoucnosti jistě dočkáme rozšíření i do ostatních významných CAD řešení. [13]

Metoda spojuje výhody všech předešlých a dává konstruktérovi svobodnou volbu v přístupu k modelování. Taktéž odstraňuje nesnáze při výměně a následné editaci dat mezi různými CAD systémy, kdy jsou přeneseny pouze geometrické vlastnosti objektů nikoliv jejich parametry a stromy historie. [13]

## 5.4 CAM systém

CAM (Computer Aided Manufacturing) = počítačem podporovaná výroba

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. [12]

Produkty tohoto charakteru umožňují simulovat sled technologických operací při vlastní výrobě součástí. Simulují práci jednotlivých nástrojů v nejrůznějších technologiích obrábění např. frézování, soustružení, vrtání, elektroerosivní obrábění, obrábění laserem, vodním paprskem atd. Po prověření a odzkoušení bezpečného chodu výroby součásti je vygenerován program pro řízení NC, CNC strojů. [12]

CAM do oblasti zájmu se vývoj těchto systémů dostal s nástupem NC strojů. Tyto systémy velmi úzce navazují na oblast CAD, proto je spousta softwarů řešena jako CAD/CAM. Základním úkolem CAMu je popis geometrie pomocí NC-kódu. [12]

## 5.5 Uplatnění CAD/CAM systémů v obrábění

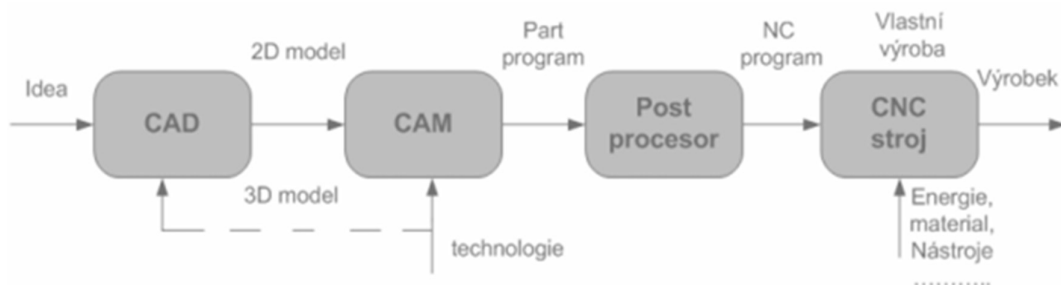
Mnoho velkých i malých firem, ale také i soukromníků se snaží v současné době zavést do výrobního procesu počítačem řízené obráběcí stroje. Nutnost tohoto kroku vysvětluje konkurenční prostředí. Produktivita, efektivnost, přesnost a rychlost výroby jsou rozhodující existenční faktory firmy. [11]

Hlavní uplatnění CAD/CAM systémů je v oblasti výroby forem, zápusťek a jiných tvarově složitých součástek v různých odvětvích strojního průmyslu. [11]

Výrobci CAD/CAM softwarů se také zaměřují a specializují na různé oblasti strojírenské výroby, např. na obrábění elektrod, obrábění v oblasti uměleckého řemesla a tvorby reliéfů, softwary pro řemeslníky pracující se dřevem, rytce, výrobce nábytku, zakázkovou výrobu, výrobce prstenů a šperků a dalších. [14]

## 5.6 Struktura postupu výroby součásti v CAD/CAM systémech

Strukturu výroby součásti v CAD/CAM systémech lze chápat jako souhrn činností probíhající na jednotlivých rozhraních, které provázejí zhotovení výrobku od počáteční fáze návrhu až po konečnou fázi výroby, jejímž výsledkem je konkrétní výrobek. Sled těchto činností je schematicky znázorněn na následujícím obrázku. [15]



Obr. 62. Postup výroby součásti pomocí CAD/CAM systémů [17]

### 5.6.1 Od myšlenky k vymodelování součásti

Myšlenka budoucího výrobku se přenesse do počítače (tzv. vymodelování součásti), k tomu se využije některý ze softwarů, tzv. CAD programy. Nejrozšířenějším a nejznámějším softwarem je AutoCAD od společnosti Autodesk. Tvorba modelů se uskutečňuje pomocí různých konstrukčních prvků (bod, přímka, kružnice atd.). Jednotlivým hranám je možné přiřadit různé atributy, např. barvu, typ čár, text, kóty. [15]

Prostorové modely mohou být reprezentovány jako drátové, plošné, nebo objemové.

- Drátový model – je tvořen body, které jsou spojené v křivky.
- Plošný geometrický model – je určen vrcholy, hranami a stěnami.
- Objemový (solid) model – se skládá z geometrických těles, zabírající určitý objem v prostoru.

### 5.6.2 Od vymodelované součásti k její výrobě

CAM je modul pro počítačovou podporu výroby, pracuje s 2D a 3D modely součásti. Výsledkem činnosti CAM modulu je part program. Part program je program součásti, který vypracovává CAM modul. Je tvořen sledem příslušných adres obsahujících kódový zápis geometrie a technologie součásti. Tento sled adres jednoznačně popisuje obráběcí postup, který se pomocí postprocesoru upravuje pro konkrétní obráběcí stroj. Při tvoření part programu je třeba vycházet z těchto údajů: [17]

- geometrie stroje (souřadný systém, orientace os, nulové body)
- geometrie polotovaru (možnost kolize, umístění obrobku v souřadné soustavě stroje)
- geometrie nástroje (rozměry, tvar, korekce dráhy nástroje a tvar obrobku)
- geometrie výsledného obrobku (daná výkresem-modelem součásti)
- technologické a řezné podmínky (řezná rychlost, posuv, hloubka řezu apod.)
- ostatní podmínky důležité pro činnost obráběcího stroje (použití procesní kapaliny, velikost
- posuvů, otáček, pozice nástrojů, korekcí atd.) [15]

### 5.6.3 Postprocessor

Postprocesor zpracovává informace z geometrického a technologického procesoru již s ohledem na konkrétní NC stroj a použitý řídicí systém. Přihlíží k pracovním možnostem stroje, určuje rozmístění zásobníku nebo revolverových hlav. Dráhy nástrojů se transformují do souřadného systému stroje. Dále jsou určovány konečné otáčky vřetene, rychlosti posuvu, je prováděn výstup řídicího programu na některém nositeli informací v kódu a formátu bloku, ve kterém pracuje řídicí systém CNC stroje. [15]

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

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

### 5.6.4 Jak se dobrat kvalitního postprocesoru

Po zakoupení multifunkčního obráběcího stroje a vyspělého řídicího systému má uživatel na výběr ze tří možností:

- objednat si postprocesor na míru. Dodací doba bývá mnohdy až 6 měsíců;
- prohledat databázi existujících zákaznických postprocesorů CAM systému svého prodejce a porovnávat, který z nich v jeho podmínkách bude pracovat dostatečně dobře;
- vytvořit si vlastní postprocesor sám. Zdánlivě se jedná o nejtěžší a komplikovanou volbu, ale ve skutečnosti je to právě naopak. Ty nejlepší postprocesory si vytvářejí sami uživatelé.

### 5.6.5 NC program

NC program je soubor číselných informací odděleně popisujících činnost stroje. Program se skládá z bloků (vět) zapsaných v jednom řádku. Každý blok obsahuje:

- geometrické informace – výsledkem jsou pohyby ve směru jednotlivých os
- technologické informace – např. nastavení otáček, spuštění chlazení atd.

Každý blok (věta) se skládá ze slov. Slovo popisuje jeden příkaz a je složeno z adresy a číselného kódu. Adresa určuje, kam bude informace směřována. Číselný kód určuje konkrétní hodnotu. Slovo může být:

- rozměrové – má významovou část tvořenou fyzikální veličinou např. polohu
- v příslušné ose, velikost otáček vřetena, velikost posuvu atd.
- bezrozměrové – podle významu je rozlišujeme na přípravné funkce, sdělují, jakým způsobem bude prováděn pohyb, a na pomocné funkce, které vyvolávají u určité činnosti stroje např. spuštění otáček.

Vygenerovaný NC program se odešle na příslušný obráběcí stroj. Přenos na obráběcí stroj může být uskutečněn například:

- pomocí sítí
- bezdrátovým přenosem
- fyzickým přenosem dat pomocí CD, flash disků apod. (dříve děrné štítky)
- děrné pásky, magnetofonové pásky, diskety.

NC program lze v řídicím systému stroje ještě znovu simulovat a odladit.

Operátor NC stroje upne do příslušných nástrojových pozic nástroje, provede seřízení nástrojů a do tabulky korekcí zadá příslušné nástrojové korekce, připraví a upne polotovar. Dále pak následuje samotné obrábění. [15]

## 6 SHRNU TÍ TEORETICKÉ ČÁSTI PRÁCE

Teoretická část přibližuje technologii frézování. Zaobírá se základy řezného procesu. Definiuje pojmy v technologii frézování jako je nástroj, polotovar, základní pohyby nástroje a obrobek.

Je zde hovořeno zejména o fyzikálních, energetických a kinematických souvislostech při frézování. Od teorie tvoření a vzniku třísky při řezném procesu, plastické deformace v oblasti tvoření třísky, typy třísky až po tepelnou bilanci procesu řezání nebo teplotu řezání. Představuje poohlédnutí za základními charakteristikami řezného procesu. Kinematika přibližuje jednotlivé kinematické veličiny související s frézováním.

Další část se zaobírá nástroji a stroji, které se využívají v technologii frézování. Nalezneme zde rozdělení hlavních frézovacích operací. Hlavní roli hraje též opotřebení nástroje. Nástroje jsou rozděleny podle typu materiálu, ze kterých jsou vyrobeny.

V poslední řadě se teoretická část zaměřuje na upínání frézovacích nástrojů. Definiuje jednotlivé možnosti upínání obrobku při frézování. Představuje typy frézovacích strojů. Rozdělení strojů podle potřeby a představení jejich základních vlastností a charakteristik.

## II PRAKTICKÁ ČÁST

## 7 STANOVENÍ CÍLŮ DIPLOMOVÉ PRÁCE

V diplomové práci byly stanoveny tyto cíle:

- Vypracovat rešerši na téma technologie frézování, nástroje pro frézování, základní typy upínání, typy strojů a počítačová podpora obrábění.
- Připravit modely obrobků a strategii obrábění.
- Vytvořit modely reálných strojů pro simulace.
- Využít knihovnu nástrojů s využitím implementovaných modelů nástrojů (návaznost na bakalářskou práci).
- Naprogramovat postprocesory pro dané obráběcí stroje.
- Realizovat dané simulace a porovnat s reálným obráběním.

Praktická část bude rozdělena do dvou rovin. V první rovině bude hlavní jmenovatel frézování a ve druhé soustružení.

Frézování bude pojato jako výroba nerotační součásti. Bude připraven model reálného polotovaru, v tomto případě výkovku. Dále model obrobku a model přípravku. Do knihovny nástrojů jsou přidány nástroje použité během výroby. Bude připraven model stroje, vytvořen kinematický strom a stroj uložen do knihovny. Strategie obrábění bude od simulována a použity prvky detekce kolize. Nakonec vytvořen postprocesor, vygenerován NC kód a na reálném stroji daná součást vyrobena.

Soustružení zde nebude pojato jako výroba rotačního dílu, ale jako varianta frézování drážky tvaru vačky pomocí poháněno nástroje soustruhu. Bude připraven model reálného polotovaru, v tomto případě normalizovaného polotovaru. Dále model obrobku, model sklíčidla a čelistí. Do knihovny nástrojů je přidán nástroj použitý během výroby. Bude připraven model stroje, vytvořen kinematický strom a stroj uložen do knihovny. Strategie obrábění bude od simulována a použity prvky detekce kolize. Nakonec vytvořen postprocesor, vygenerován NC kód a na reálném stroji daná součást vyrobena.

## 8 PŘEDSTAVENÍ SPOLEČNOSTI

KOVÁRNA VIVA a.s. je přední českou průmyslovou kovárnou. Specializuje se na výrobu zápusťkových výkovků z legovaných, mikrolegovaných, uhlíkových a konstrukčních ocelí. Hmotnostní rozmezí výrobků se pohybuje mezi 0,10-20,00 kg.

Svým zákazníkům, předním výrobcům z EU, poskytuje komplexní výrobní program pro zápusťkové výkovky, a to od návrhu konstrukce výkovku až po jeho finalizaci, tj. chemicko-tepelné zpracování, obrábění výkovků, povrchové úpravy – barvení, zinkování, niklování a logistické služby. Vyrábí široký sortiment zápusťkových výkovků v dobrém poměru ceny a kvality.

Díly jsou vyráběny s vysokou přesností, složité geometrie, v malých i velkých sériích, ze standardních i speciálních materiálů. Nacházejí použití např. v automobilech (převodovky, podvozkové díly), hydraulice a zemědělství.

KOVÁRNA VIVA a.s. vyrábí také tzv. bezpečnostní díly. Celý proces výroby je důkladně kontrolován dle požadavků TS 16949 a ISO 14001.

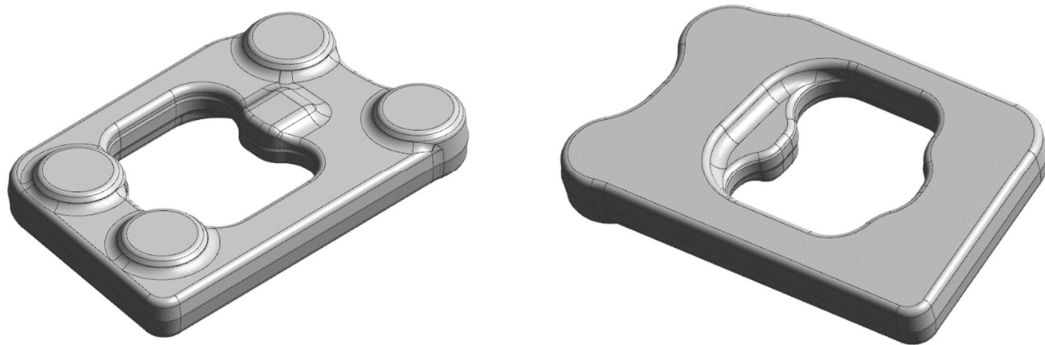


*Obr. 63. Logo Kovárna VIVA a.s.*

## 9 FRÉZOVÁNÍ

### 9.1 Výkovek

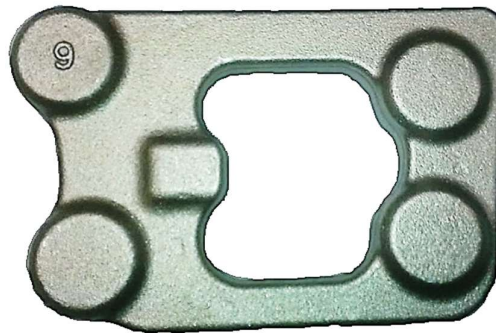
Obráběná součást v praktické části bude představovat výkovek. Výkovek vzniká zápusťkovým kováním a podstupuje několik dalších operací. Zejména mezi ně patří dělení materiálu, tryskání, výstupní kontrola a případné kalibrování výkovku. Nakonec jsou výkovky expedovány na obrábění.



Obr. 64. Výchozí výkovek 175x120x24 mm

Výkovek představuje zrcadlový díl. Jedná se o dva stejné výkovky zrcadlově obrácené. Výkovek se vyznačuje neurčitým tvarem. Jedná se o nerotační díl. Výška výkovku nepřesahuje jeho další rozměry, má spíše plochý, podélný tvar.

Tvar je významný především svými přídávky na obrábění. Přídavek na obrábění je pouze minimální možné množství nutné k opracování. Nedochází tak ke ztrátám na materiálu a zbytečnému prodlužování obráběcího procesu.

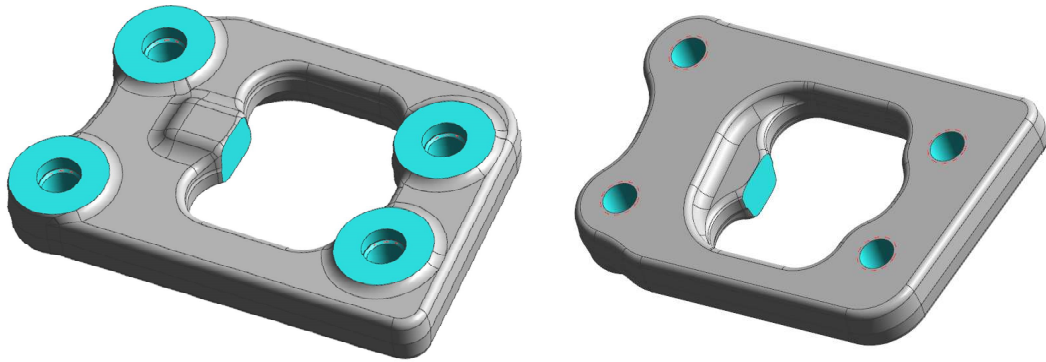


Obr. 65. Reálný výkovek

## 9.2 Obrobek

Cílem je zpracování reálné úlohy, s využitím postprocesoru a modelů použitých při simulacích. Obrobek představuje základní jmenovatele celé úlohy, na kterou je příslušná práce navázána. Obrobek může představovat tvarově různorodě koncipovanou součást. Obrábění vychází z polotovaru výkovku. Na výkovku je po celém tvaru, a to zejména plochách určených k obrábění, přidán materiál navíc. Setkáváme se tak s takzvaným přídavkem na obrábění.

Přídavek nesmí být ani příliš malý a ani příliš velký. Příliš malý přídavek znamená jisté riziko možnosti neobrobení dané plochy. Příliš velký přídavek představuje zbytečně vynaložené náklady, jednak do použitého objemu materiálu, zejména pak k nutnosti vynaložení zbytečných prostředků na obrobení tohoto přídavku.



*Obr. 66. Výchozí obrobek*

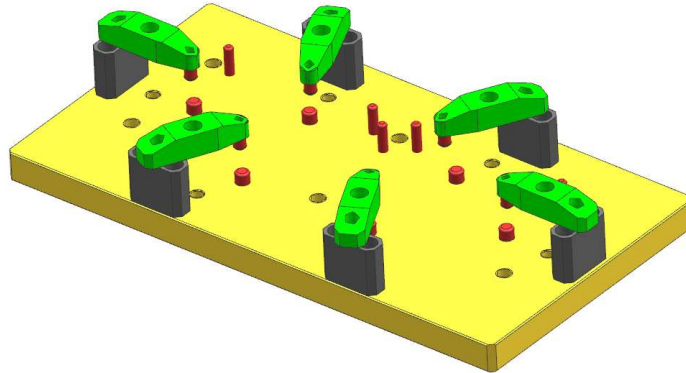
Plochy určené k obrábění jsou na modelu vyznačeny odlišnou barvou, což usnadňuje práci technologa. Dokáže si jasně představit místa určená na obrobení. Odlišují se tak místa, kde se nástroj při obrábění bude pohybovat.

Další výhoda označení plyne rovněž pro konstruktéra přípravků. Je zde jasně vidět kam můžou být usazeny upínky, naopak kam nelze, aby v samotném důsledku nedošlo ke kolizi při obrábění nástroje s přípravkem.

Obrobek je namodelován a odpovídá výkresové dokumentaci. Nadřazenost má však vždy okótovaná výkresová dokumentace nad modelem obrobku.

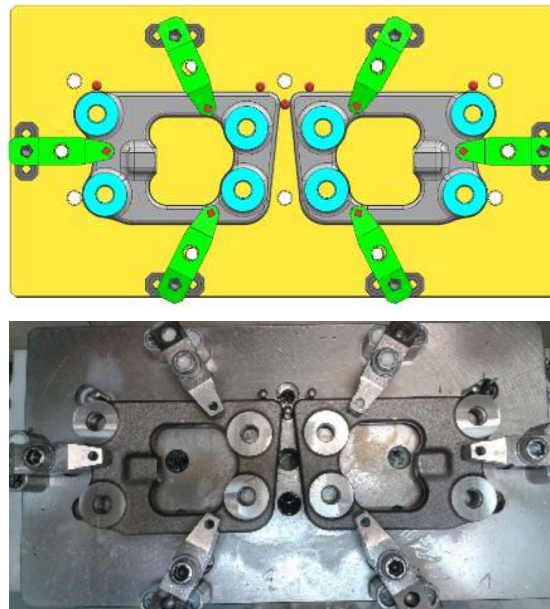
### 9.3 Přípravek

Přípravek představuje soubor součástek zabraňující v pohybu daného polotovaru při obrábění. Bývá konstruován na zakázku nebo konstruktérem přípravků dané firmy. Správně navržený přípravek se vyznačuje tuhým upnutím obrobku v průběhu obrábění a nízkou pořizovací cenou. Přípravky se dělí na mechanické, hydraulické a pneumatické.



Obr. 67. Navržený model přípravku

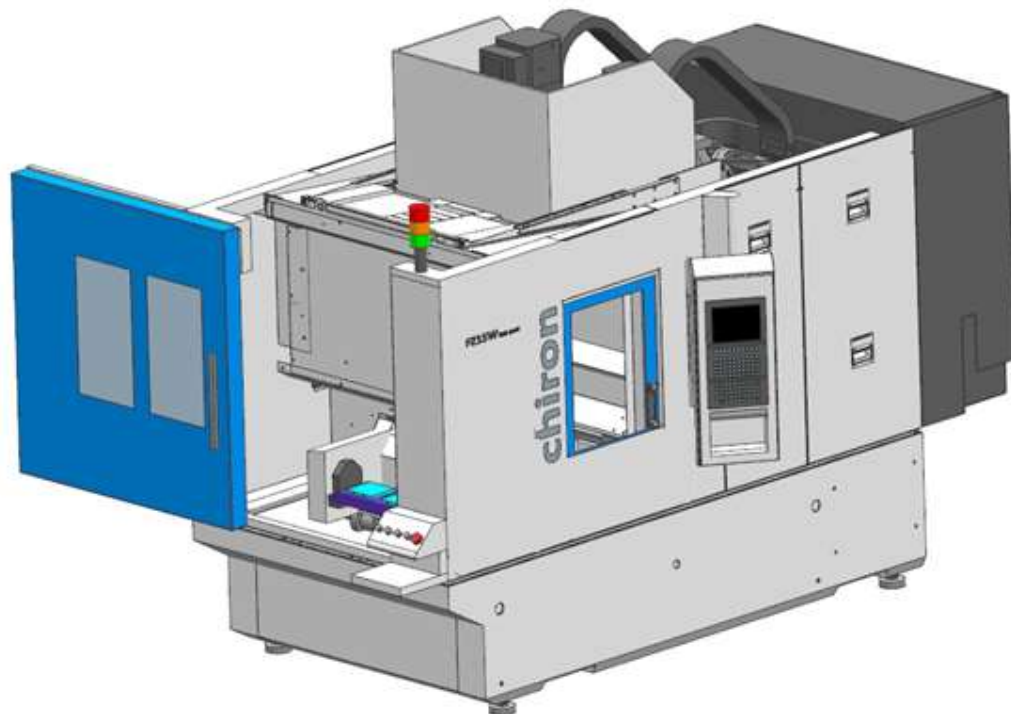
Správné upnutí nerotačního dílu je založeno na rovině, přímce a bodu. Rovinu představují tři spodní dorazy. Přímku tvoří dva kolíky na přímce. Poslední dorazový bod tvoří kolík. Tímto jsou odebrány všechny stupně volnosti v prostoru a zabráněno tak pohybu obrobku.



Obr. 68. Srovnání modelu přípravku a reality

## 9.4 Obráběcí zařízení

Pro úlohu bude představeno standartní, čtyřosé frézovací centrum. Fréza se skládá ze vřetene, které zajišťuje pohánění nástrojů. Vřeteno se pohybuje ve třech na sebe kolmých osách. Dále stroj obsahuje dva otočné stoly. Každý stůl má možnost naklápění o 360°. Výhoda tohoto stroje spočívá v možnosti práce operátora na jednom stole, ve chvíli, kdy na druhém stole probíhá obrábění. Šetří se tak prostoje a stroj je využit na maximum.

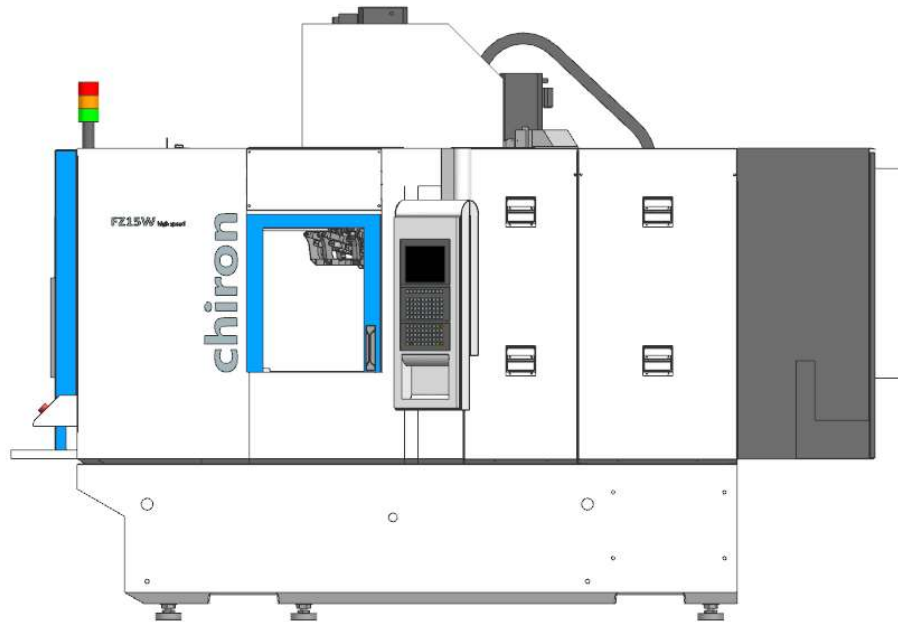


*Obr. 69. Model stroje Chiron FZ15W*

Stroj je opatřen externím hydraulickým obvodem. To umožňuje využití hydraulického upínání v případě použití hydraulických přípravků. Útrobami stroje jsou vedeny vysokotlaké hadice až k samotným stolům.

Stroj dále obsahuje externí dopravník třísky. Dopravník slouží k odvodu odebrané třísky, která je chladicí kapalinou splavována v průběhu obrábění a dopravována do přepravního kontejneru.

Chladicí kapalina je dopravována dvěma způsoby. Hlavní doprava kapaliny plyne přes samotné vřeteno stroje přímo do nástroje, kterým proudí pod tlakem při obrábění z nástroje ven. Jedná se o vysokotlaký okruh. Čerpadlo pro okruh je umístěno mimo stroj u filtrační nádrže stroje. Další okruh představuje nízkotlaká doprava kapaliny do obráběcího prostoru.



*Obr. 70. Boční pohled na model stroje*

Pohyb nástroje se uskutečňuje ve třech osách. Každý tento pohyb v ose zajišťuje příslušný kuličkový šroub a elektromotor. Hlavní pohyb tvoří nástroj. Ten je upevněn ve vřetenu. Všechny jmenované součásti, tedy vřeteno a jednotlivé osy jsou umístěny pod plechovým obalem stroje spolu s dalšími, elektronickými, pneumatickými a hydraulickými prvky.



*Obr. 71. Porovnání modelu a reálného stroje*

### 9.4.1 Tvorba kinematického modelu stroje

Samotná tvorba kinematiky stroje začíná výběrem daného reálného stroje. V úloze je použit reálný stroj z výroby, dle kterého byl vytvořen jemu odpovídající model. Tento model by se měl rozměrově přibližovat tomu reálnému co nejvíce. Pokud budou odpovídající dané rozměry, budou i výsledky z následných simulací objektivní. Takto vytvořený model stroje můžeme pak aplikovat pro simulaci obrábění i jiných dílů.

Cílem je vytvořit funkční model v prostředí NX, který bude využití pro simulace obrábění. Daný stroj se pak uloží do knihovny mezi ostatní, připravené stroje a lze ho kdykoliv nahrát při spuštění simulace.



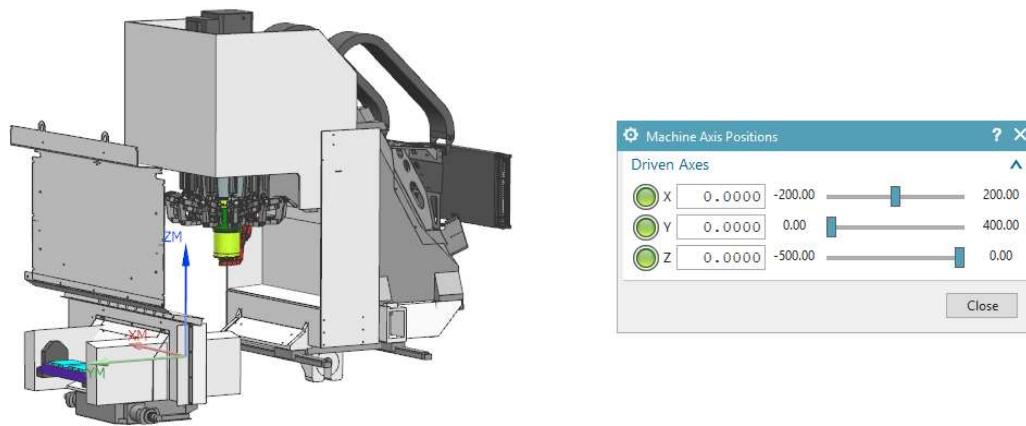
Obr. 72. Nástroj pro kinematický model stroje v NX

V prostředí Machine Tool builder je možno nahraný model sestavy rozčlenit na jednotlivé komponent stroje. Lze označit jednotlivé osy. Vybrat kde bude vřeteno. Je možné označit nulu stroje a místo pro nástroj ve vřetenu. Zásobník na nástroje má výhodu vyznačení všech jeho možných volných míst. Vytváří se jakýsi kinematický model stroje. Jsou zde jasně definovány všechny důležité pohybové prvky.

Name	Classification	Ax...	NC Axis
CHIRON_FZ			
[-] MACHINE_BASE	_MACHINE_BASE		
[-] SETUP			
[+] PART	_PART, _SETUP_ELEMENT		
[+] BLANK	_WORKPIECE, _SETUP_EL...		
[+] FIXTURE	_SETUP_ELEMENT		
[-] X_AXIS		X	✓
[-] Y_AXIS		Y	✓
[-] Z_AXIS		Z	✓
[+] SPINDLE	_DYNAMIC HOLDER		
[-] ZASOBNIK			
[+] POCKET_1	_DYNAMIC HOLDER		
[+] POCKET_2	_DYNAMIC HOLDER		

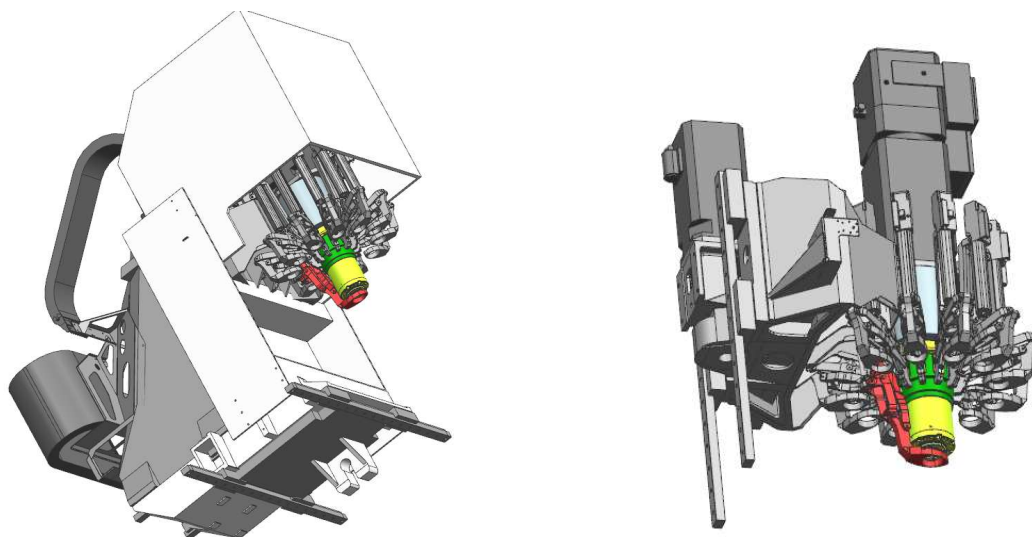
Obr. 73. Strom kinematického modelu Chiron FZ15W

Vytvořený strom znázorňuje postupnou posloupnost a návaznost jednotlivých celků na sebe. Je možno pro další typy strojů připravit jejich kinematické modely a je tak možno i rozšířit knihovnu o nové stroje.



Obr. 74. Testování rozsahu pohybu jednotlivých os

Knihovna je důležitým prvkem každého technologa. Ve výrobě může existovat velká spousta strojů, které se od sebe liší. Kvalitní příprava modelu poskytuje bezprostředně přesné informace nejen o možnostech, rozměrech a velikosti pracovního prostoru, stejně tak informace o různých roztečích děr na desce stolu stroje.



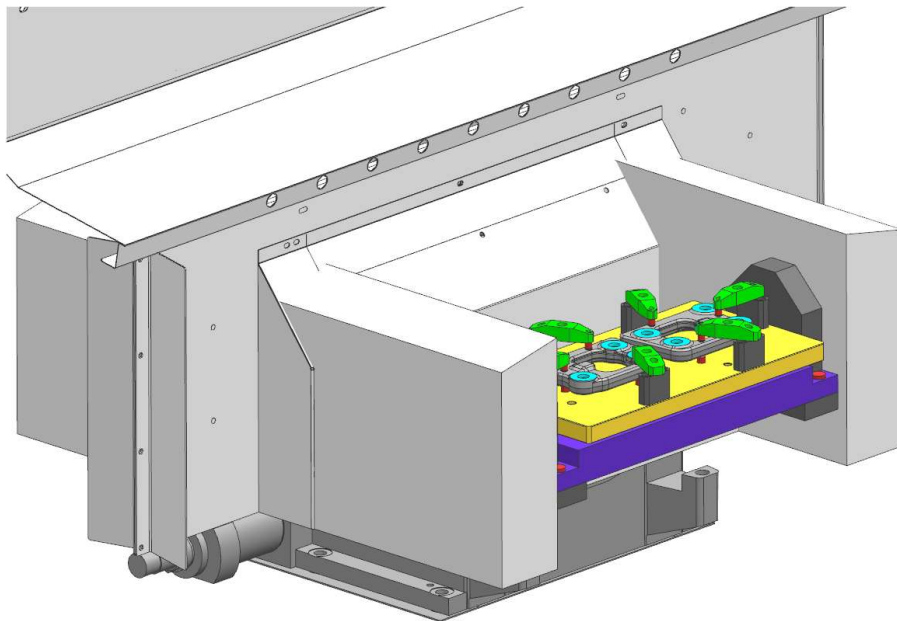
Obr. 75. Jednotlivé osy stroje

Velkou výhodou je možnost přípravy technologie obrábění, ještě před tím, než daný stroj bude vůbec zakoupen. S použitým modelem stroje od výrobce a vlastní implementací tohoto modelu do knihovny i s vytvořenou kinematikou, představuje tento způsob velmi profesionální přístup, založený na jasně daných podkladech přípravy technologie.



*Obr. 76. Nástroj pro nahrání stroje v NX*

Způsob implementování obráběcího stroje vhodného pro simulaci je velmi snadný. Nahraje se z připravené knihovny, do které však musí být nejprve nadefinován, aby v daném seznamu strojů byl vždy k nalezení.

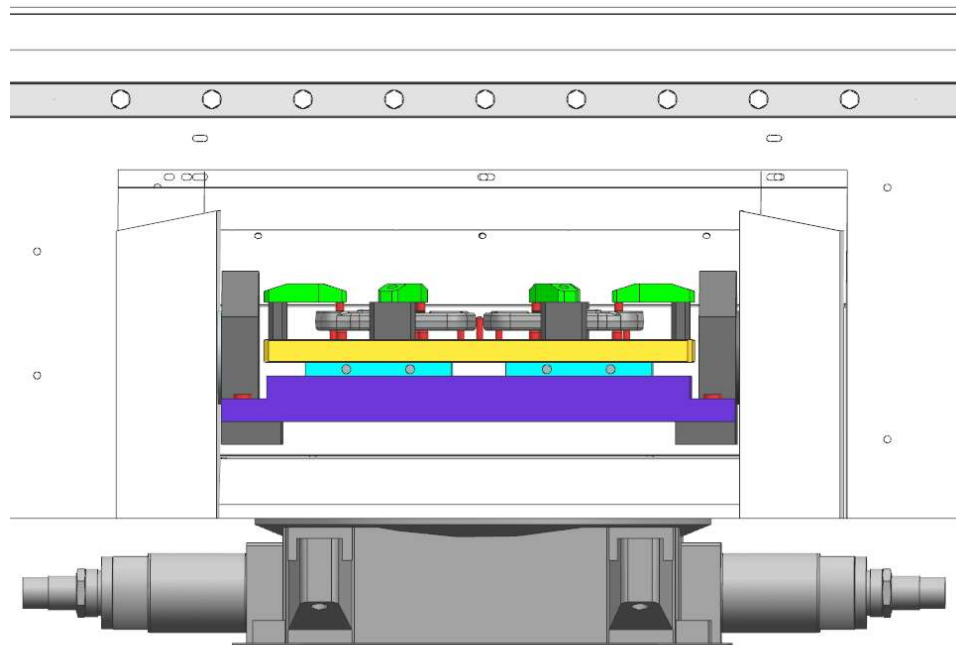


*Obr. 77. Přípravek na stole stroje*

Stroj se pak umístí do stejného obráběcího souřadného systému, který je použit pro obrábění příslušného dílce. Tento souřadný systém bývá umístěn na stole obráběcího stroje.

Dochází tak vytvoření reálné situace, kdy lícuje stůl obráběcího stroje, přípravek a na něm daný obrobek.

Na takto vytvořené sestavě je možno nejen zkoumat jednotlivé dráhy obráběcích nástrojů, hlídat případné nesrovnalosti přípravku se strojem a podobně. Ne každý přípravek lze na daný stůl stroje upevnit. Zejména tehdy, pokud konstruktér nemá správné informace například o rozteči děr nebo rozměrech stolu, případných možných posuvech vřetene s nástrojem v jednotlivých osách.



Obr. 78. Přední pohled na model obrobku, přípravku a stolu



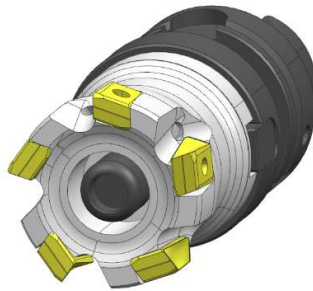
Obr. 79. Přední pohled na reálný obrobek, přípravek a stůl

## 9.5 Nástroje

Nástroje pro práci byly vybrány na základě jejich efektivity ve výrobě, požadavků na životnost a geometrii. Na ukázkou byla vybrána plátková fréza a vrták. Byly vytvořeny modely reálných nástrojů. Modely rozměrově odpovídají reálným nástrojům. Jedná se o návaznost na bakalářskou práci, kde je možno nalézt detailnější pojednání o dané problematice.

### 9.5.1 Čelní fréza

Jedná se o frézu určenou pro čelní a boční úběr materiálu. Fréza má lichý počet zubů, tedy pět. Jedná se o nástroj, pro který se používá držák se šroubem. Dosedací plocha frézy a čelo držáku jsou broušeny, a tak na sebe přesně zapadají.



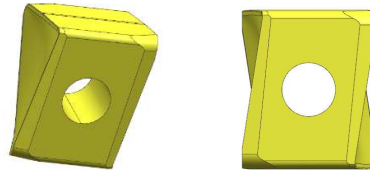
Obr. 80. Sestava čelní frézy a držáku

Držák je ještě opatřen dvěma kolíky, aby byla zajištěna eliminace frézy proti pootočení. Takováto sestava tvoří tuhý koncept. Vyměnitelné břitové destičky se vyznačují svou výbornou životností a možností čtyř použitelných rezných hran.



Obr. 81. Srovnání modelu a reálného nástroje

Vyměnitelné břitové destičky jsou použity přesně dle doporučení výrobce. Svým správným a přesným rozměrem důkladně zapadají do lůžka těla frézy. Tak je zajištěn nežádoucí pohyb nebo vibrace při obrábění, čímž je dosaženo kvalitně obroběného povrchu na konci obráběcí operace.



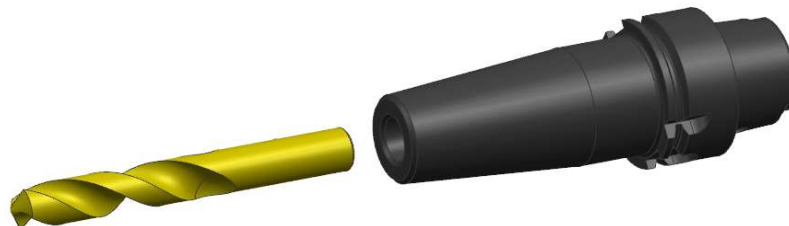
*Obr. 82. VBD destička*

### 9.5.2 Vrták

Po vytvoření otvoru je použit klasický tvrdo-kovový vrták s povlakem. Díky aplikovanému povlaku se tento nástroj vyznačuje vysokou životností. Pokud dojde k jeho otupení, je vrták standardně několikrát broušen.



*Obr. 83. Model a reálný TK vrták průměr 15,08*



*Obr. 84. sestava tepelného upínače a vrtáku*

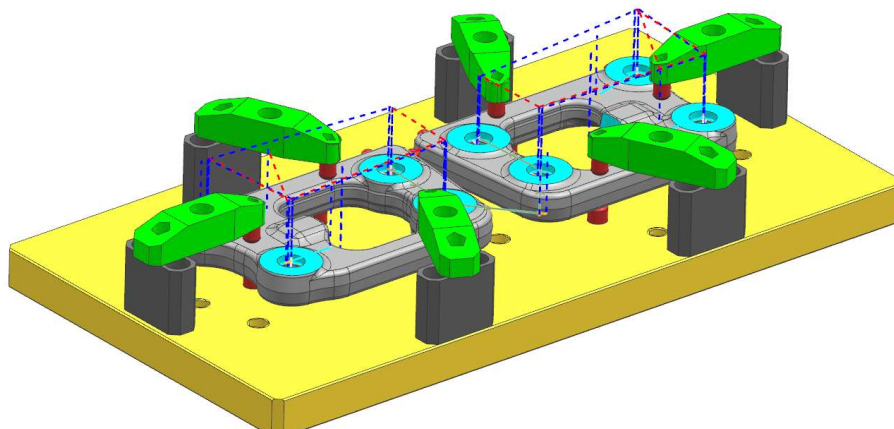
## 9.6 CAM

Technologie obrábění byla navržena tak, aby v možném, nejkratším čase vznikl z výkovku požadovaný obrobek. Hlavním kritériem bylo použití co nejmenšího počtu nástrojů. Ohled byl také kladen na řezné podmínky. Optimální rovnováha mezi životností nástroje a velikostí posuvu.

Name	P...	Tool	Geometry
NC_PROGRAM			
! CELNI_PLOCHA_1_00846_1	✓	FREZA_D40	G521
! CELNI_PLOCHA_2_00846_1	✓	FREZA_D40	G521
! CELNI_PLOCHA_1_00847_1	✓	FREZA_D40	G520
! CELNI_PLOCHA_2_00847_1	✓	FREZA_D40	G520
! VRTANI_00846_1	✓	VRTAK_D15	G521
! VRTANI_00847_1	✓	VRTAK_D15	G520
! KAPSA_00846_1	✓	FR_D12_TK	G521
! KAPSA_00847_1	✓	FR_D12_TK	G520
! PLOSKA_HRUB_00846_1	✓	FR_D12_TK	G521
! PLOSKA_SLICHT_00846_1	✓	FR_D12_TK	G521
! PLOSKA_HRUB_00847_1	✓	FR_D12_TK	G520
! PLOSKA_SLICHT_00847_1	✓	FR_D12_TK	G520
! SRAZENI_DOLNI_1_00847_1	✓	SRAZEC_D10_45ST	G521
! SRAZENI_HORNI_1_00847_1	✓	SRAZEC_D10_45ST	G521
! SRAZENI_DOLNI_2_00847_1	✓	SRAZEC_D10_45ST	G520
! SRAZENI_HORNI_2_00847_1	✓	SRAZEC_D10_45ST	G520

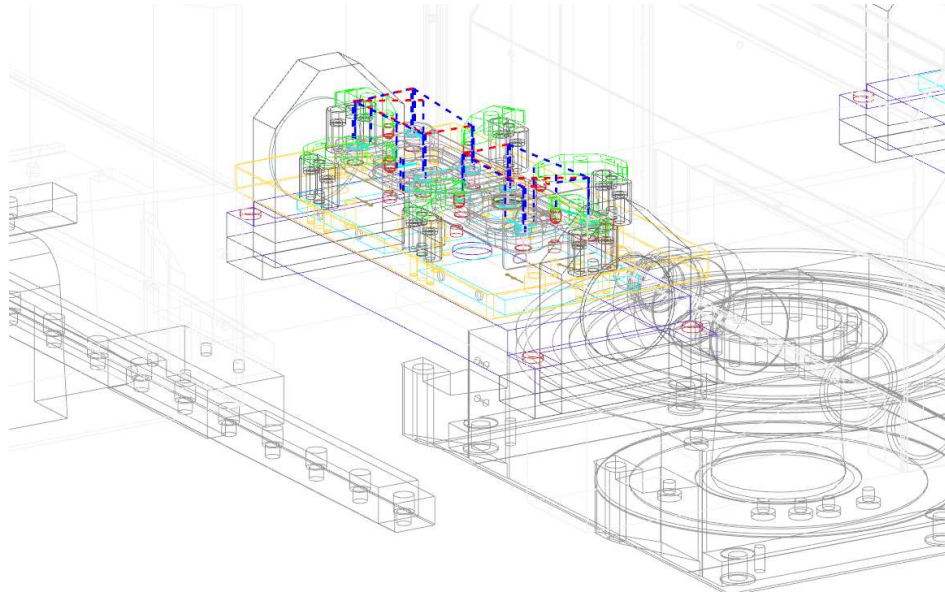
Obr. 85. Strom jednotlivých obráběcích operací

Operace byly postupně seřazeny podle toho, jak budou jednotlivé nástroje obrábět ve skutečnosti. Jedná se o frézování čela, vrtání otvoru, frézování zahloubení, frézování boční plochy a tváření závitu.



Obr. 86. Dráhy nástrojů před konečnou simulací

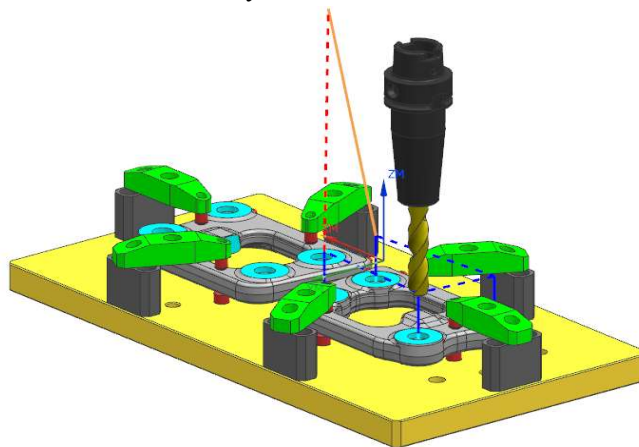
Operace je třeba kontrolovat z hlediska bezpečné dráhy nástroje, správně zvolených rezných podmínek a správného pořadí. Efektivita spočívá v minimalizování nadbytečné pohybové dráhy nástroje a maximalizování rezných podmínek.



Obr. 87. Dráhy nástrojů vyobrazeny v síťovém modelu

## 9.7 Simulace dráhy nástroje v NX

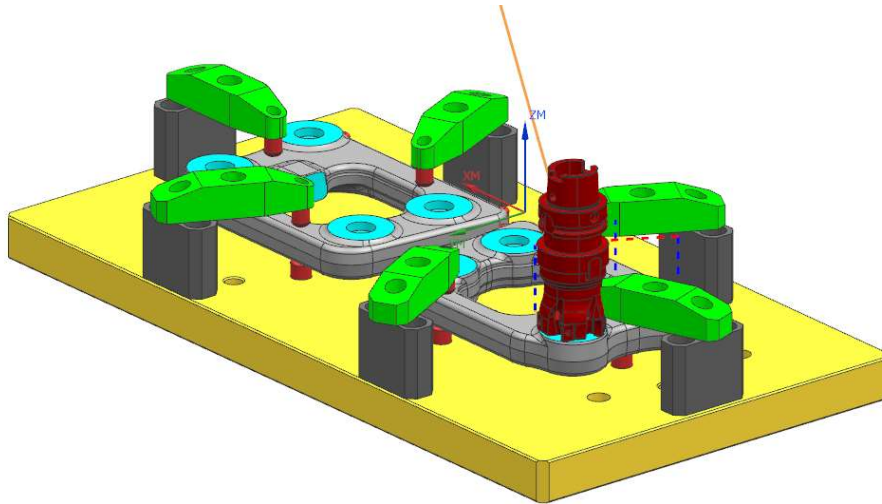
Pokud jsou dokončeny všechny předchozí kroky týkající se přípravy obrábění, je možno ještě před samotným vygenerováním NC kódu pomocí postprocesoru, postupně si celé obrábění projít krok po kroku a zkontrolovat tak případné nesrovnalosti nebo nepříjemnosti, které by v důsledku reálného obrábění vznikly.



Obr. 88. Klasická simulace dráhy nástroje v NX

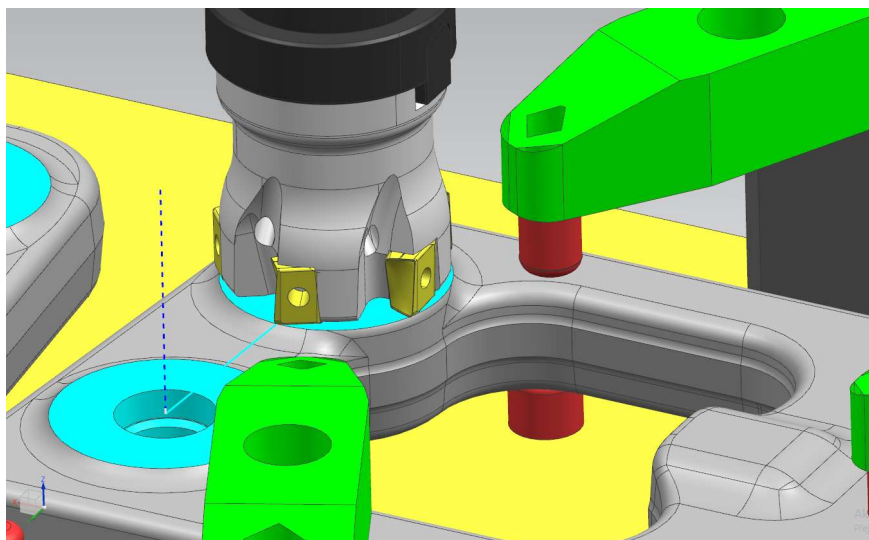
### 9.7.1 Kontrola kolize nástroje v klasické simulaci

Pokud danou simulaci hodláme doplnit o kontrolu kolize, stačí v průběhu simulace daný požadavek potvrdit. Jedná se o důležitou věc, zejména pro konstruktéra přípravků. Správného projetí nástroje je dosaženo pouze, pokud je zabráněno špatnému návrhu konstrukce přípravku. V tomto případě vymezením možnosti nežádoucího pootočení upínky.



*Obr. 89. Ukázka kontroly kolize při špatně polohované upínce*

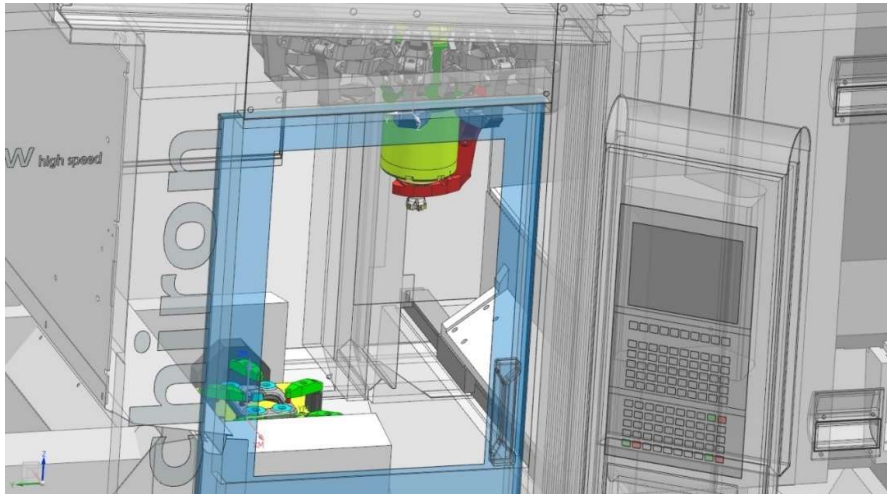
Návrh je v pořádku z hlediska konstrukčního a z hlediska obráběcího pouze tehdy pokud při projetí všech nástrojů v daném pořadí nedochází ke kolizi nástroje s jakoukoliv částí přípravku. Výsledkem musí být bezpečné upnutí jednak obroku, ale také bezpečné dráhy bez překážky pro nástroje. Důležitá komunikace mezi konstruktérem přípravků a technologem.



*Obr. 90. Bezpečný průjezd nástroje kolem dobře polohované upínky*

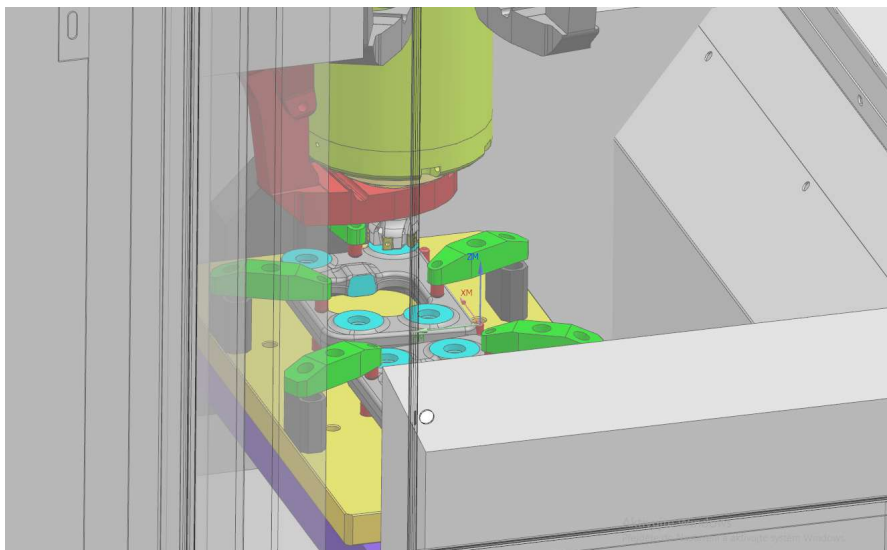
## 9.8 Simulace dráhy nástroje a stroje v NX

Dalším možným typem simulace obrábění v NX je možnost využití jednak modelů nástrojů, ale také možnost využít model obráběcího stroje. Simulace ukazuje, jak obrábění bude probíhat v reálném prostředí se všemi náležitostmi. Je zde podobnost s klasickou simulací. Tato simulace je však doplněna o daný stroj, který lze určit podle toho, na kterém stroji je daná výroby plánována.



Obr. 91. Simulace obrábění s modely nástrojů i strojem

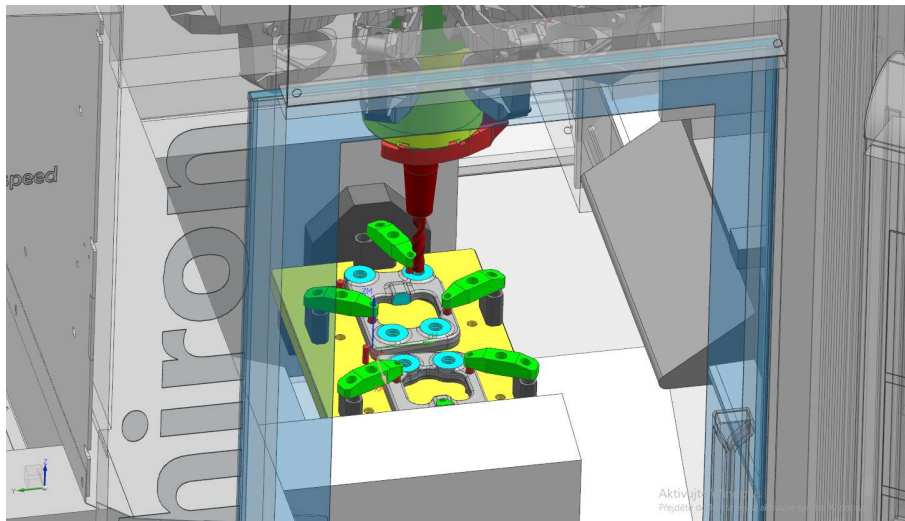
Simulace poskytuje detailní pohled do pracovního prostoru, rovněž tak na celý proces obrábění. Umožňuje kontrolu celého procesu i se stroji, které jsou v plánu teprve koupit, případně tak odhalit jejich nevýhody pro daný obrobek, či přípravek.



Obr. 92. Pohled do obráběcího prostoru

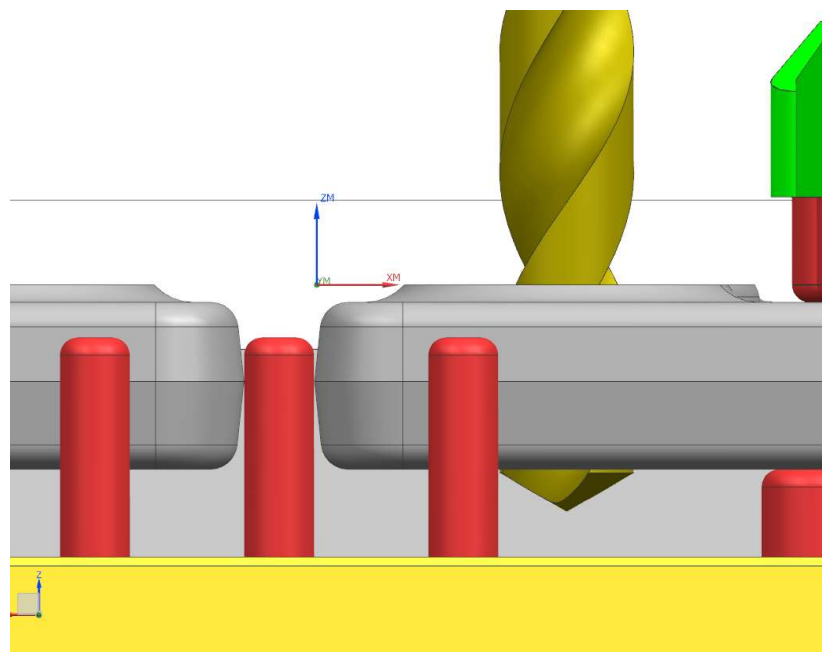
### 9.8.1 Kontrola kolize nástroje v simulaci stroje

Při klasické simulaci je možno kontrolovat kolizi nástroje například s přípravkem. V tomto případě je spuštění kontroly možné též.



Obr. 93. Kontrola kolize nástroje a chybně polohované upínky

Kromě kolize nástroje s přípravkem je zde další ukázka využití kontroly. Jedná se o hloubku vrtání, kdy je možné předem určit, zda vrtaná hloubka díry je dostatečně velká. Příklad průchozí díry a minimální dráhy k tomu určené je důležité optimalizační hledisko i s rezervou ponechanou v případě chybně naměřeného nástroje od obsluhy.



Obr. 94. Kontrola hloubky vrtání

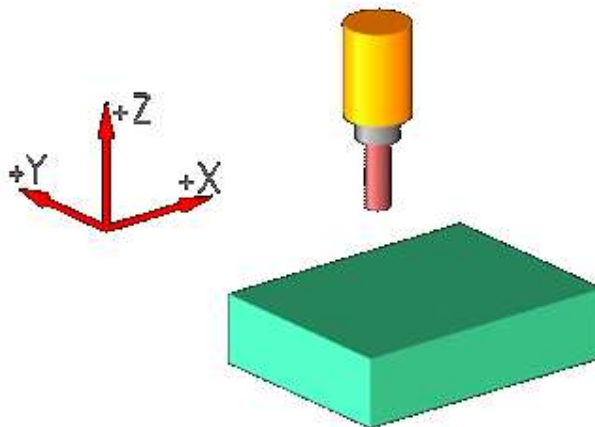
## 9.9 Postprocessor

Kompletní simulace, odladěné dráhy nástrojů, správně definované řezné podmínky a správně navrhnutý přípravek, to jsou nezbytné kroky před samotnou výrobou daného obrobku. Důležitá věc však ještě stále chybí. Jedná se o postprocessor. Cesta, jak získat postprocessor je snadná a nevyžaduje, pokud se nejedná o nákladné postprocesory dělány na zakázku, ani příliš námahy. Prostředí programu NX nabízí vlastní generátor samotných postprocesorů, které je možno si upravit pro konkrétní stroje až do nejmenšího detailu.



Obr. 95. Post Builder

V Post Buildru nalezneme přehledné prostředí. Využívá příjemnou strukturu parametrických polí, která jsou vzájemně provázána. Vzniká tak přehledná struktura o požadavcích daného postprocesoru. Základní definice stroje požaduje definování počtu os a jejich rozsah. V Post buildru se nachází i základní od výrobce definované postprocesory. Tato práce se ale vyznačuje značnými nedostatky pro reálné využití v praxi. Nejlepší cesta, jak dosáhnout plně funkčního postprocesoru bezpečného pro stroj, je vytvořit si svůj vlastní postprocessor zcela od základu.

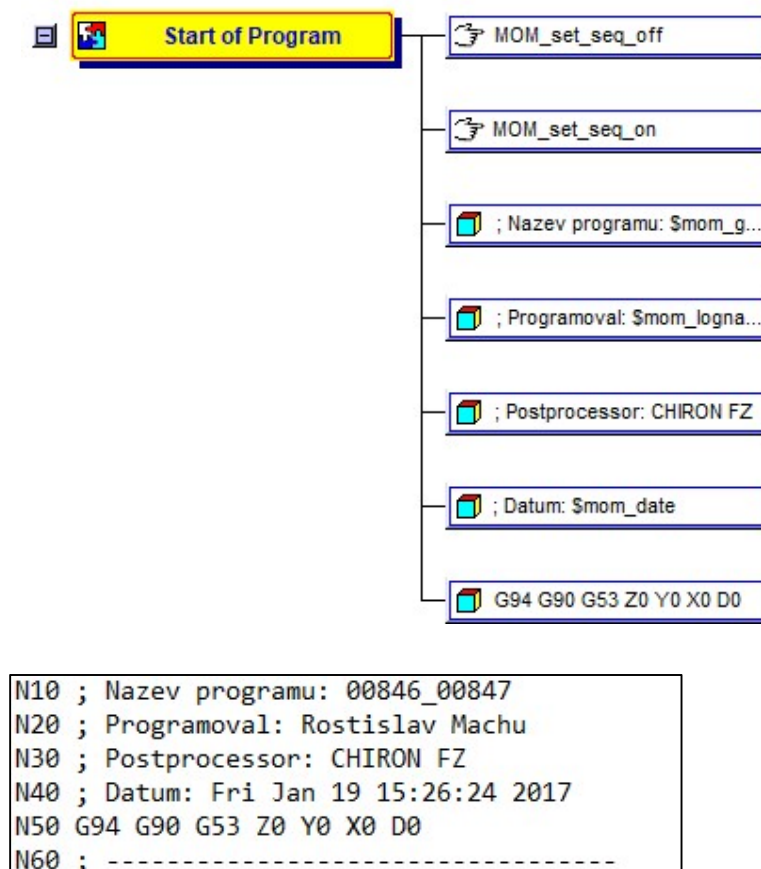


Obr. 96. Definování kinematických parametrů stroje

Kinematické charakteristiky stroje jsou vybrány. Případně parametry týkající se rozsahu délky jednotlivých os nebo jestli má být výstup souřadnic v milimetrech či placech.

Každý program se skládá z hlavičky, těla a patičky. V každé této části je nutno vědět, co pro správnou funkci daný stroj potřebuje a také je potřeba znát, co od výstupu NC kódu očekává technolog a CAM specialista.

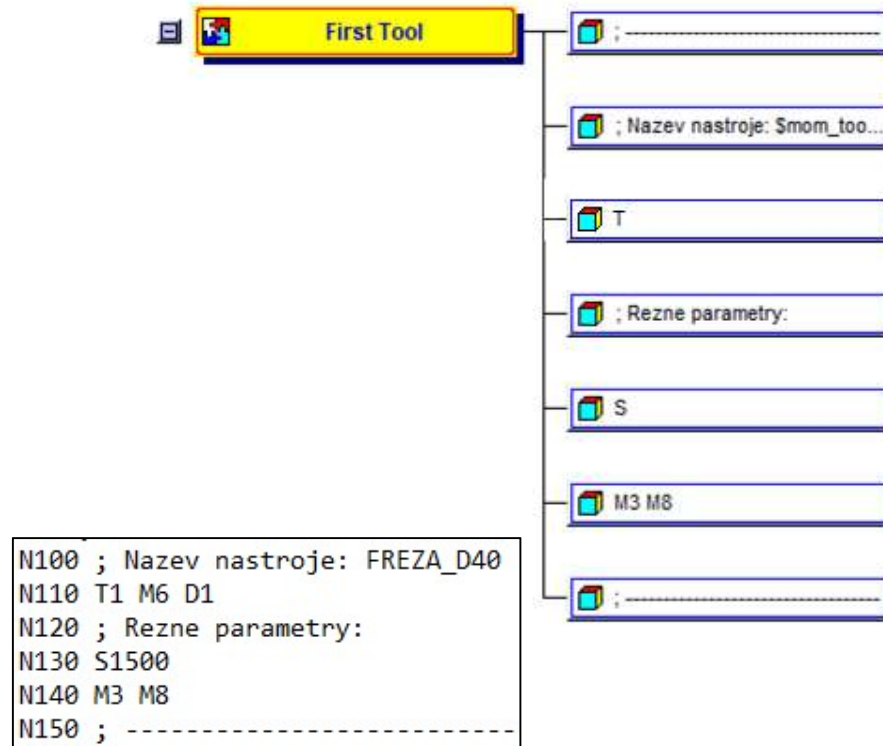
Pokud se jedná o hlavičku uvádí se zde základní informace o programu. Může tady být uveden název programu, jméno programátora, název součásti. Je vhodné uvažovat i příležitosti, že daný program bude používat externí firma, kde obsluha bude zvyklá na jiný tvar výstupu NC kódu a každý detail je důležitý pro správné pochopení programu.



Obr. 97. Definice základních prvků v hlavičce programu a výstup NC kódu

Postprocesor byl navrhnut jako klasické tříosé frézovací centrum bez ohledu na typ stroje, výrobce. Byla zde využita znalost struktury NC kódu pro systém Sinumerik. Postprocesor byl navrhnut tak, aby byl v maximální míře variabilní a jednoduchý.

Neobsahuje složité definice ani makra a je sestaven tak, aby bylo možné tento jeden postprocesor použít na více strojích. Pokud by byl postprocesor vyladěn do detailu, což by nebyl problém, mohla by pak následovat situace, kdy ne všechny stroje by generovaný NC kód byly schopny zpracovat.



Obr. 98. Definice základních prvků nástroje a výstup NC kódu

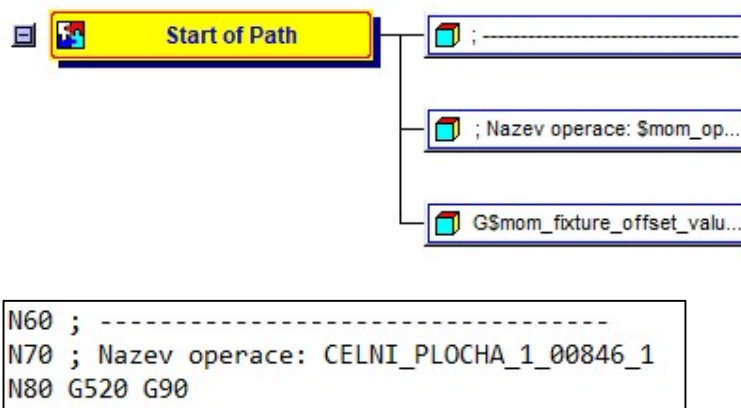
Je zde ukázka několika struktur postavených v Post Builderu, zajišťující správnou funkci konečného stroje. Ukázka definování základních parametrů v hlavičce, definice nástroje, rezní rychlosti, oddělování jednotlivých bloků v NC kódu, konec programu a jiné. Pohyby v lineárním směru jsou odděleny od pohybů radiálních a je možnost pro ně definovat různé kombinace a výstupy.

Ne vždy odpovídá název jednotlivých os na výstupu s těmi v NC kódu, proto je možnost v Post Builderu upravit postprocesor tak, aby generoval předem definované názvy os. Jednotlivé osy lze také zakázat. Lze použít například programování s převodem na dvojnásobnou hodnotu souřadnice, což se používá například u postprocesorů, určených pro soustružnické operace.

Pro případy, které byly využity i při tvorbě postprocesoru pro frézování patří bezpochyby uvedení názvů operace při každém startu nové operace. Přesné oddělení jednotlivých bloků operací v NC kódu odpovídá rozdělení jednotlivých operací v NX.

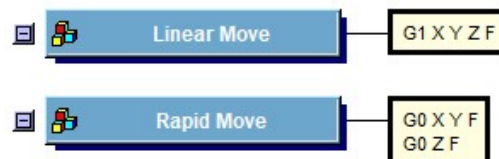
Jedná se o přehledné dělení výstupního NX kódu, kdy je pak přesně vidět i v realitě na displeji obráběcího stroje, která operace právě probíhá. Pro znázornění dělení je možno využít několik variant, zde je uvedena dělicí metoda prostými pomlčkami.

Nulové body jsou základním prvkem každého programu, jejich přehlednost v každém programu je prioritou. Jedná se o hlavní stavební kameny každého programu. Při jejich špatném přepsání, či dokonce přehlédnutí, může být pro obsluhu, která se v programu neorientovala fatální.



Obr. 99. Definice každé nové operace, nulového bodu a výstup NC kódu

Lineární pohyb lze upravit dle představ až do podoby, kdy pohyb je rozdělen na pohyb nástroje v řezu (G1) a na rychloposuv (G0). Oba tyto pohyby lze řádkově oddělit.



```

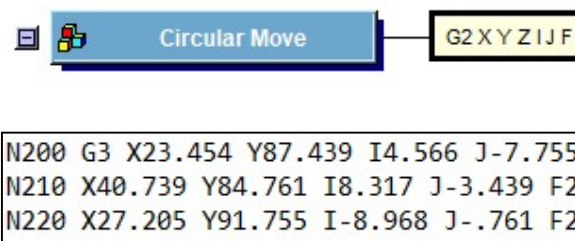
N150 ; -----
N160 G0 X6.854 Y-129.708 F8000.
N170 Z40.000 F8000.
N180 Z1.000 F8000.
N190 G1 X6.854 Y-129.708 Z.000 F2500.

```

Obr. 100. Definice lineárního pohybu a výstup NC kódu

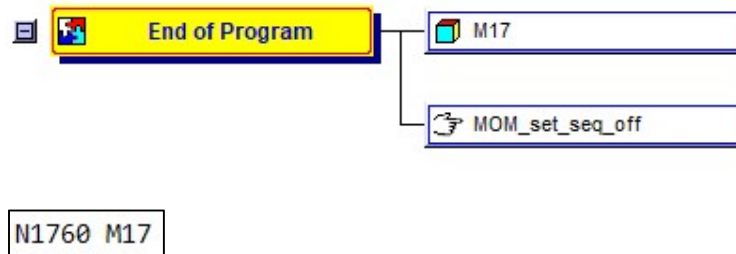
Definice posuvu pouze v ose Z na oddělených řádcích – to vnáší do celého výstupu značnou přehlednost. Definování posuvu pro každý řádek je samozřejmostí – možnost úprav. Přehlednost a jasně definovaná struktura je nejdůležitější charakteristika programu. Výstupní NC kód nemá obsahovat složité a zbytečné informace. Obsluha strojů pak většinou není schopna s programem dále pracovat, případně provádět úpravy. To by mohlo být krizové v případě programů, které jsou používány mimo mateřskou firmu.

Kromě lineárních pohybů je možno též definovat kruhový pohyb. Každý stroj používá různé výstupy kruhových pohybů.



Obr. 101. Definice kruhového pohybu a výstup NC kódu

Ukončení programu lze definovat též. Jedná se většinou o pár řádků. V této úloze případě se jedná o jeden příkaz uvedený na konci programu.



Obr. 102. Definice konce programu a výstup NC kódu

Lze také nastavit číslování jednotlivých řádků programu. Některé situace vyžadují číslování pouze celých bloků, některé pak číslování až na několik tisíc řádků, všechny tyto případy lze nastavit v tabulce.

Sequence Number	
Sequence Number Start	10
Sequence Number Increment	10
Sequence Number Frequency	1
Sequence Number Maximum	9999

Obr. 103. Nastavení číslování řádků

Postprocessor je uložen a je kdykoliv k dispozici jeho použití. Je možné ho nalézt v knihovně mezi ostatními postprocesory. Každý program je možno vygenerovat s příslušnou koncovkou. V tomto případě jsou programy generovány jako podprogramy pro jednotlivé nástroje. Podprogramy jsou pak volány hlavním programem.

Všechny podprogramy jsou nahrány do stroje prostřednictvím síťového propojení stroje a stolního počítače nebo jsou nahrány přes příslušné USB zařízení.

Každý podprogram musí být na stroji otestován pro příslušný nástroj. Pokud je postprocessor používán delší dobu a jsou tak vychtány všechny jeho nedostatky, je možné programy spustit i na první pokus.

```
N10 ; Nazev programu: M_00846_00847_SRAZENI
N20 ; Programoval: Rostislav Machu
N30 ; Postprocessor: CHIRON FZ
N40 ; Datum: Thu Jun 01 14:19:33 2017
N50 G94 G90 G53 G40 Z0 Y0 X0 D0
N60 ; -----
N70 ; Nazev nástroje: SRAZEC_D10_45ST
N80 T19 M6 D1
N90 ; Rezne parametry:
N100 S2700
N110 M3 M8
N120 ; -----
N130 ; Nazev operace: SRAZENI_HORNI_1_00846
N140 G521 G90 D1
N150 G0 Z20.000 F8000.
N160 G1 G41 X41.492 Y84.761 F2500.
N170 G3 X41.492 Y84.761 I-9.72 J-.761 F2500.
N180 G1 G40 X31.771 Y84.000 F2500.
N190 G0 Z21.000 F8000.
N200 Z61.000 F8000.
N210 ; -----
N220 ; Nazev operace: SRAZENI_DOLNI_2_00846
N230 G520 G90 D2
N240 G0 X149.771 Y88.000 F8000.
N250 Z-3.000 F8000.
N260 G1 G41 X140.805 Y87.216 F2500.
N270 G3 X158.739 Y88.761 I8.966 J.784 F2500.
N280 X141.454 Y91.439 I-8.968 J-.761 F2500.
N290 X140.805 Y87.216 I8.317 J-3.439 F2500.
N300 G1 G40 X149.771 Y88.000 F2500.
N310 G0 Z21.000 F8000.
N320 ; -----
N330 M17
```

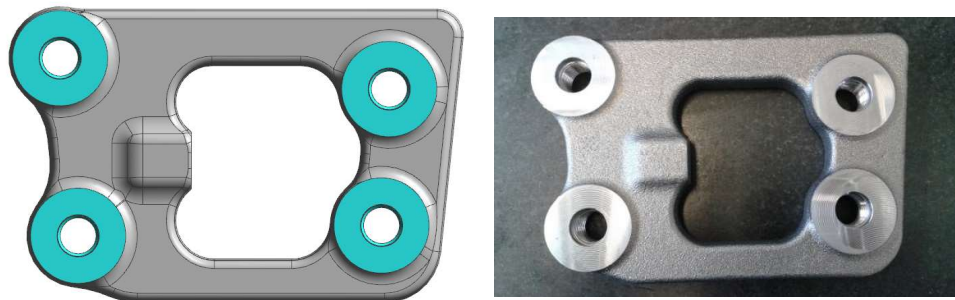
Obr. 104. Ukázka výstupu z postprocesoru pro jeden nástroj

## 9.10 Porovnání simulace a reálné výroby

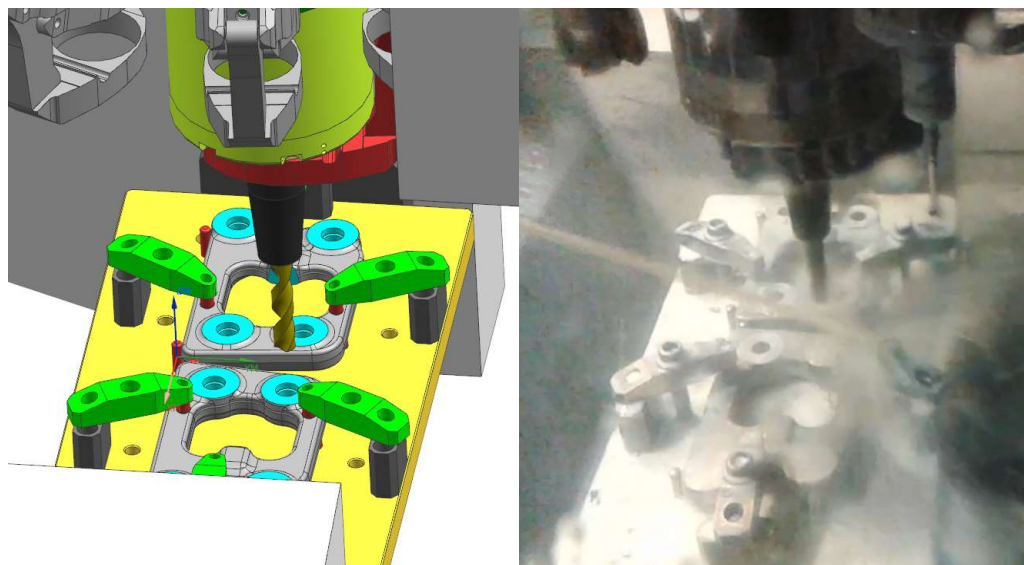
Model obrobku odpovídá reálně vyrobenému dílu. Vyrobený díl odpovídá svými rozměry, způsobem upnutí, opracování a aplikovanou technologií věrně simulaci v softwaru NX. Simulace potvrdila správnost připravené technologie. Stroj pracoval dle předem simulovaného procesu a kopíroval tak pohyby stroje v simulaci. Tříska byla plynulá a dobře se drolila, povrch opracování nejevil žádné vrypy a odpovídal požadované kvalitě. Tvar obrobenej plochy rozměrově odpovídal tvaru na modlu obrobku.

Během reálného obrábění nenastaly komplikace v NC kódu. Daný postprocesor se projevil jako plně funkční a lze ho tedy aplikovat na jiný druh práce vyráběné na tomto stroji.

U obrábění lze tedy konstatovat shodu mezi prostředím simulace a reálným obráběním.



Obr. 105. Srovnání modelu a reality

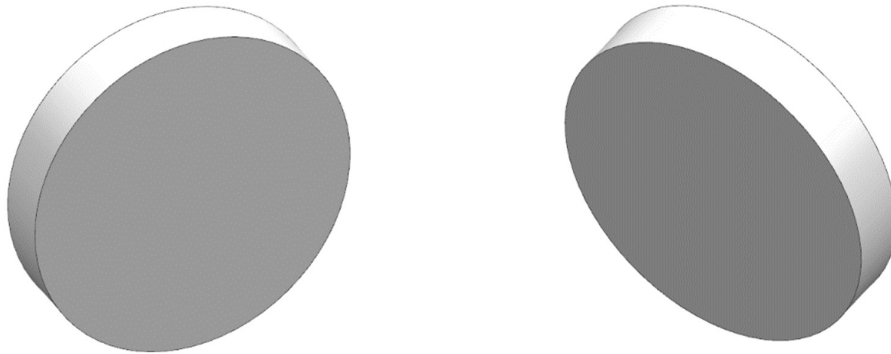


Obr. 106. Srovnání modelové simulace a reálného obrábění

## 10 SOUSTRUŽENÍ

### 10.1 Polotovar

Obráběná součást v praktické části bude představovat normalizovaný polotovar. Válcový polotovar vzniká válcováním za tepla na válcovacích stolicích a podstupuje několik dalších operací. Válcovaný materiál prochází postupně kalibry, které se zmenšují, aniž by se válce k sobě přiblížily. Polotovary jsou prodávány v délkách.



*Obr. 107. Nadělený normalizovaný polotovar válcového tvaru 205x42 mm*

Normalizovaný polotovar. Jedná se o nadělený polotovar na pásové pile. Síla naděleného polotovaru odpovídá požadavku v technologickém postupu. Jedná se o rotační díl. Výška polotovaru nepřesahuje jeho další rozměry, má spíše plochý rotační tvar.

Tvar je významný zejména svými přídávky na obrábění. Přídavek na obrábění je pouze minimální možné množství nutné k opracování. Nedochází tak ke ztrátám na materiálu a zbytečnému prodlužování obráběcího procesu.

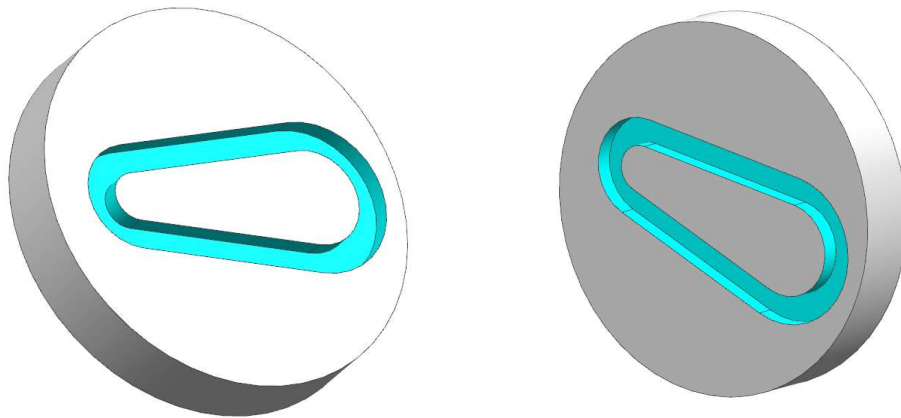


*Obr. 108. Reálný válcový polotovar*

## 10.2 Obrobek

Cílem je zpracování reálné úlohy s využitím postprocesoru a modelů použitých při simulacích. Obrobek představuje základní jmenovatele celé úlohy, na kterou je příslušná práce navázána. Obrobek může představovat tvarově různorodě koncipovanou součást. Obrábění vychází z normalizovaného polotovaru. Na polotovaru je po celém čele, a to zejména ploše určené k obrábění, přidán materiál navíc. Setkáváme se tak s takzvaným přídavkem na obrábění.

Přídavek nesmí být ani příliš malý a ani příliš velký. Příliš malý přídavek znamená jisté riziko možnosti neobrobení dané plochy. Příliš velký přídavek představuje zbytečně vynaložené náklady jednak do použitého objemu materiálu, ale zejména k nutnosti vynaložení zbytečných prostředků k obrobení tohoto přídavku.



*Obr. 109. Model obrobku 200x40 mm*

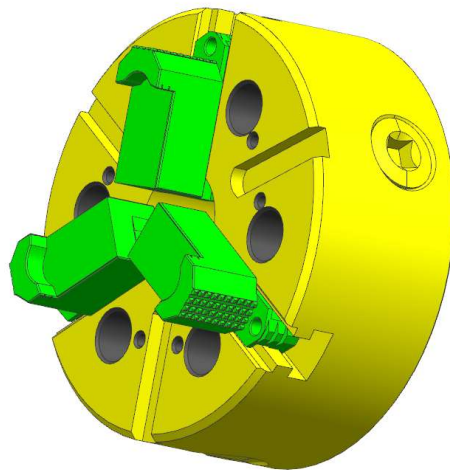
Plochy určené k obrábění jsou na modelu vyznačeny odlišnou barvou. Usnadňuje to tak práci technologa. Dokáže si jasně představit místa určená na obrobení. Odlišují se tak místa, kde se nástroj při obrábění bude pohybovat.

Další výhodou označení představuje pro konstruktéra přípravků. Je zde jasně vidět kam můžou být usazeny upínky a kam ne, aby nedošlo ke kolizi při obrábění nástroje s přípravkem.

Obrobek je namodelován a odpovídá výkresové dokumentaci. Nadřazenost má však vždy okótovaná výkresová dokumentace nad modelem obrobku.

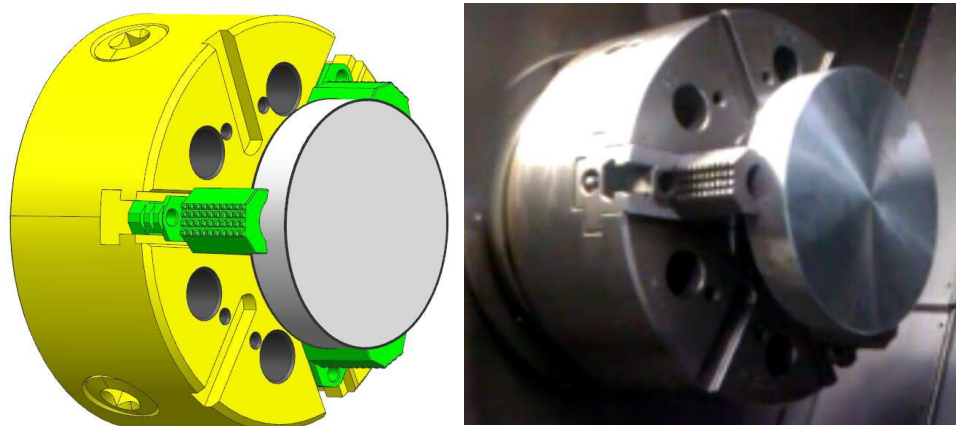
### 10.3 Přípravek

Přípravek představuje soubor součástek zabraňující v pohybu daného polotovaru při obrábění. Bývá konstruován na zakázku nebo konstruktérem přípravků dané firmy. Správně navržený přípravek se vyznačuje tuhým upnutím obrobku v průběhu obrábění a nízkou pořizovací cenou. V tomto případě se jedná o klasické tříčelistové sklíčidlo. Upnutí obrobku je tak koncipováno pomocí hydraulického mechanismu.



Obr. 110. Model sklíčidla

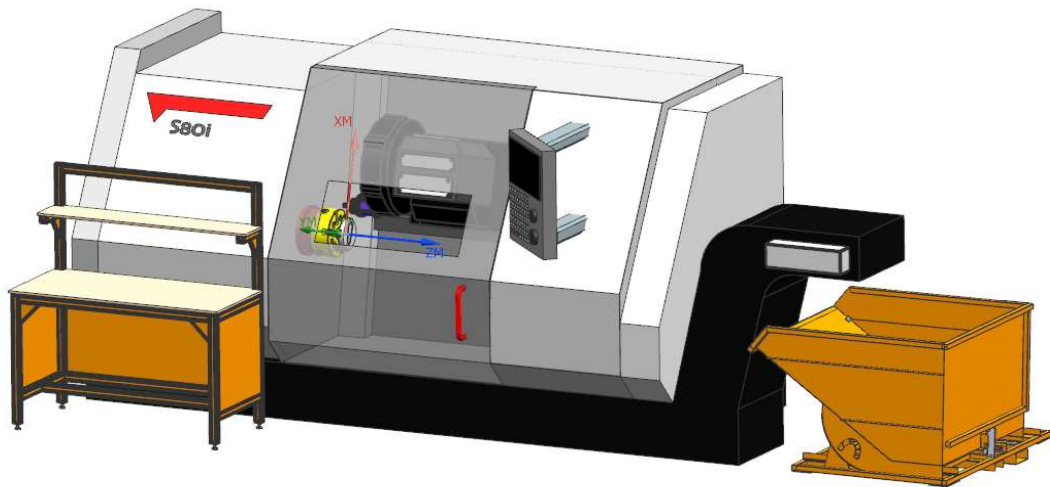
Čelisti ve sklíčidle jsou většinou kalené, opatřené několika stupni odsazení, vyměnitelné a otočné. Otočení čelistí nám umožní uchycení větších průměrů za venkovní průměr. S nekalenými čelistmi se dosahuje veliké souososti, nepoškozuje se povrch obráběného materiálu a značně se snižuje možnost deformace upínací silou.



Obr. 111. Model a reálné sklíčidlo s upnutým polotovarem

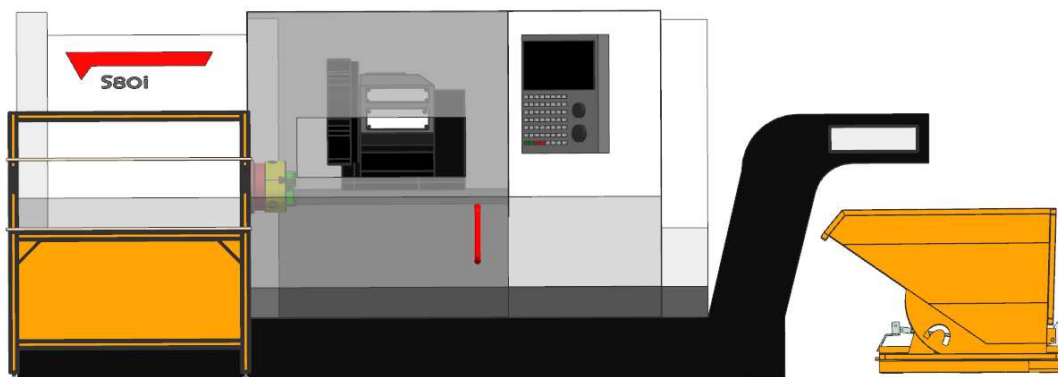
## 10.4 Obráběcí zařízení

Soustruh číslicově řízený neboli CNC soustruh, patří mezi základní vybavení každého závodu. Skládá se z několika základních částí. K zajištění dostatečné tuhosti rámu strojů slouží často svařence. Ty jsou plněné polymer betony, kovovými pěny apod. Dříve se u klasických strojů používala litina, která se nyní opět začíná používat k výrobě rámu. CNC soustruh je tvořen částmi základními a pomocnými. Jejich funkce jsou optimalizovány pro použití.



Obr. 112. Model stroje MAS S80i

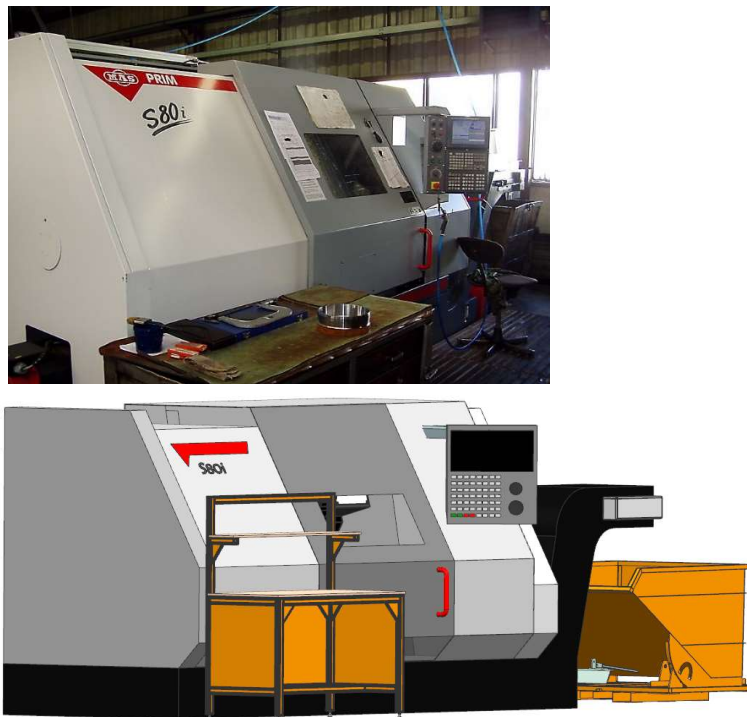
Soustruhy jsou stroje tvořené z hlavního korpusu, na němž jsou namontovány části a zařízení typu mechanického, elektromechanického, elektrického, pneumatického, olej dynamického či hydraulického. Jsou samostatně nebo kombinovaně koordinovány pro funkci úpravy materiálu.



Obr. 113. Přední pohled na model stroje

Lože, jedná se o valivé vedení (dříve kluzné), které má výhody i nevýhody. Mají nízké hodnoty tlumení rázů, citlivost na nečistoty, lože se musí chránit kryty proti nečistotám a s tím souvisí nutnost řešit jejich mazání. Lože jsou u soustruhů šikmé a suporty jsou umístěny za osou rotace.

Posuvné kuličkové šrouby jsou jednou z nejdůležitějších částí posunového mechanismu. Osy X a Z jsou vybavené kuličkovými šrouby o velkém průměru. Šrouby zajišťují rychlý, přesný pohyb bez vůle, s minimálním třením a vysokou opakovatelnost nájezdů. Šrouby osy X jsou zvenčí chráněny ložisky, jejichž konstrukce s dvojitým předpětím zajišťuje velmi nízkou závislost na teplotních změnách. Kuličkové šrouby jsou automaticky mazány a chráněny před poškozením a třískami. Kuličkové šrouby jsou téměř neopotřebitelné. Omezovač krouticího momentu chrání osy před přetížením. Osa X je opatřena brzdou. Toto zařízení zastaví nebo přeruší lineární pohyb osy, dojde-li k odpojení proudu.



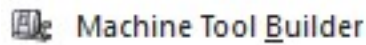
*Obr. 114. Porovnání modelu a reálného stroje*

Odměrování dráhy odměřuje dráhu a zajišťuje okamžitou polohu suportu nebo pracovního stolu. Každá osa CNC stroje má vlastní odměrovací zařízení. Používají se různé systémy odměrování dráhy, např. digitální odměrování, analogové odměrování, indukční odměrování. To se dělí na přímé a nepřímé, inkrementální a absolutní odměrování.

### 10.4.1 Tvorba kinematického modelu stroje

Tvorba kinematiky stroje začíná výběrem daného reálného stroje. V úloze je použit reálný stroj z výroby, dle kterého byl vytvořen jemu odpovídající model. Tento model by se měl rozměrově přibližovat tomu reálnému co nejvíce. Pokud budou dané rozměry odpovídající, budou i výsledky z následných simulací objektivní. Takto vytvořený model stroje můžeme pak aplikovat pro simulaci obrábění i jiných dílů.

Cílem je vytvořit funkční model v prostředí NX, který bude využit pro simulace obrábění. Daný stroje se pak uloží do knihovny mezi ostatní předpřipravené stroje a lze ho kdykoliv nahrát při spuštění simulace.



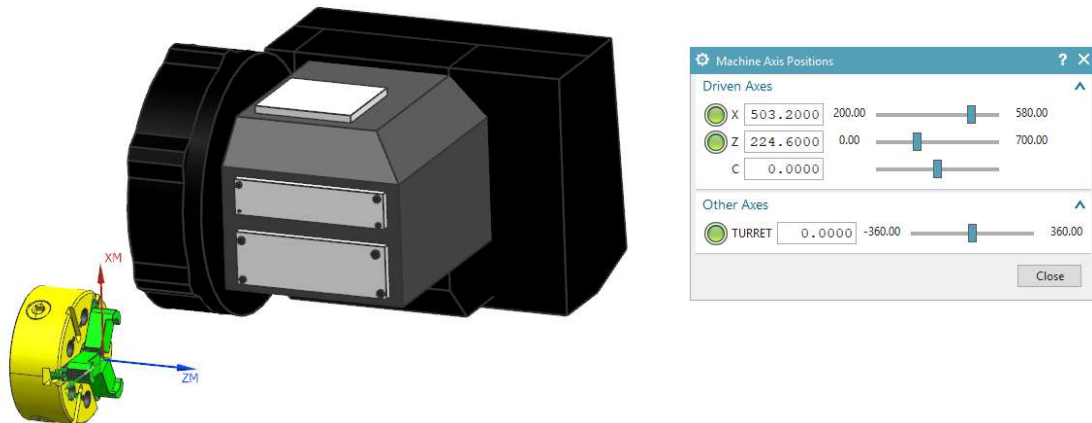
Obr. 115. Nástroj pro kinematický model stroje v NX

V prostředí Machine Tool builder je možno nahraný model sestavy rozčlenit na jednotlivé komponent stroje. Lze označit jednotlivé osy. Vybrat kde bude vřeteno. Je možné označit nulu stroje a místo pro nástroj v revolverové hlavě. Revolverová hlava má výhodu vyznačení všech jeho možných volných míst. Vytváří se kinematický model stroje. Jsou zde jasně definovány všechny důležité pohybové prvky.

Name	Classification	Axis N...	NC Axis
[-] MACHINE_BASE	_MACHINE_BASE		
[-] SPINDLE	_LATHE_SPINDLE	C	✓
[-] SETUP	_SETUP_ELEMENT		
[-] FIXTURE	_SETUP_ELEMENT		
[-] PART	_PART, _SETUP_ELEMENT		
[-] BLANK	_WORKPIECE, _SETUP_EL...		
[-] CHUCK HOLDER	_STATIC_HOLDER		
[-] Z_SLIDE		Z	✓
[-] X_SLIDE		X	✓
[-] TURRET	_DEVICE	TURRET	
+ POCKET_01	_STATIC_HOLDER		
+ POCKET_02	_STATIC_HOLDER		

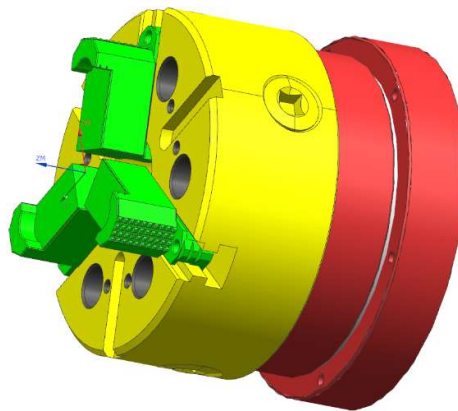
Obr. 116. Strom kinematického modelu stroje MAS S80i

Vytvořený strom znázorňuje postupně posloupnost a návaznost jednotlivých celků na sebe. Je možno pro další typy strojů připravit jejich kinematické modely a je možno tak rozšířit knihovnu o nové stroje.



Obr. 117. Testování rozsahu pohybu jednotlivých os

Knihovna je důležitým prvkem každého technologa. Ve výrobě může existovat velká spousta strojů, které se od sebe liší. Kvalitní příprava modelu bezprostředně poskytuje přesné informace nejen o možnostech a rozměrech pracovního prostoru, velikosti stolu, ale i informace o různých možnostech použití čelistí.



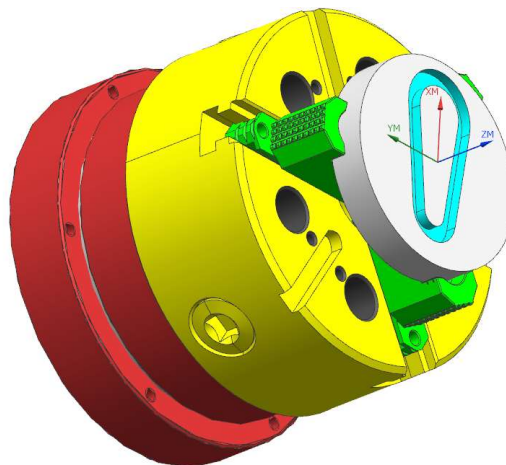
Obr. 118. Model sklíčidla a čelistí

Velkou výhodou je možnost přípravy technologie obrábění, ještě před tím, než daný stroj bude vůbec zakoupen. S použitým modelem stroje od výrobce a vlastní implementací tohoto modelu do knihovny i s vytvořenou kinematikou, představuje tento způsob velmi profesionální přístup založený na jasně daných podkladech přípravy technologie.



Obr. 119. Nástroj pro nahrání stroje v NX

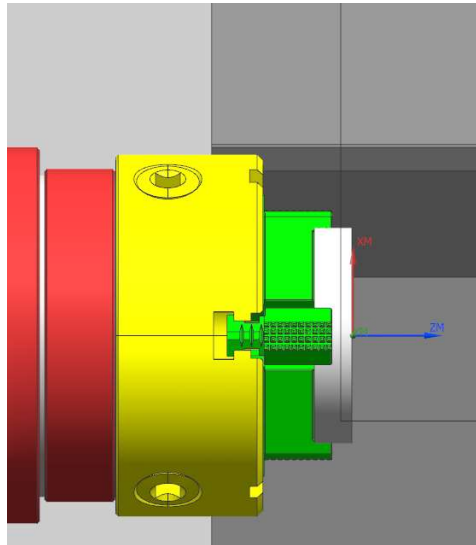
Způsob implementování obráběcího stroje vhodného pro simulaci je velmi snadný. Nahraje se z připravené knihovny, do které však daný stroj musí být nejprve nadefinován, aby v daném seznamu strojů byl vždy k nalezení.



Obr. 120. Model upnutého obrobku

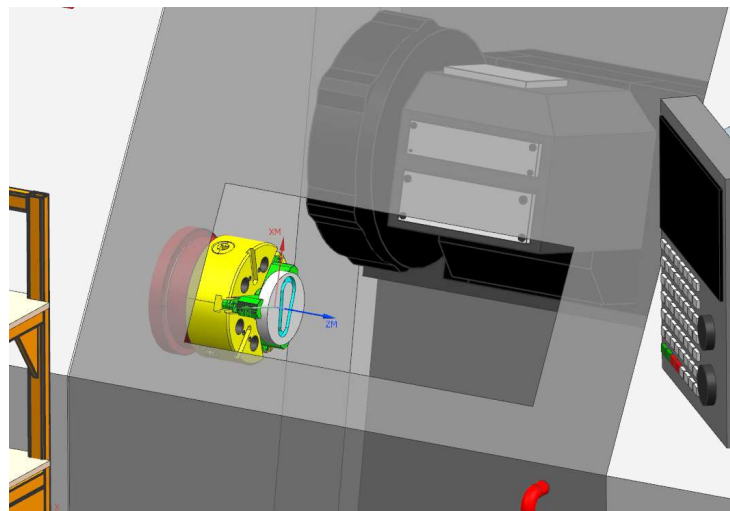
Stroj se pak umístí do stejného obráběcího souřadného systému jako je použit pro obrábění příslušného dílce. Tento souřadný systém bývá umístěn na čele obrobku. Dochází tak vytvoření reálné situace, kdy je vystředěno sklíčidlo stroje, čelisti a na něm obrobek. Souřadný systém pro obrábění je umístěn na čelo obrobku.

Na takto vytvořené sestavě je možno nejen zkoumat jednotlivé dráhy obráběcích nástrojů, ale i hlídat případné nesrovnalosti sklíčidla se strojem a podobně. Ne každé sklíčidlo lze na daný stroj upevnit. Zejména, pokud konstruktér nemá dobré informace například o rozteči děr, rozměrech sklíčidla nebo případných možných posuvech revolverové hlavy s nástroji v jednotlivých osách.



Obr. 121. Sestava sklíčidla a obrobku

Sestava odpovídá reálným podmínkám. Sklíčidlo může být též uloženo do knihovny. Jednotlivá sklíčidla mohou být navíc uložena s přichystanými čelistmi na jednotlivé průměry obrobků. To lze využít zejména při obrábění průměrově podobných dílců.



Obr. 122. Model stroje, revolverové hlavy a sklíčidla

## 10.5 Nástroje

Nástroj pro práci byl vybrán na základě jeho efektivity ve výrobě, požadavků na životnost a geometrii. Na ukázkou byla vybrána monolitní fréza. Byl vytvořen model reálného nástroje. Model rozměrově odpovídá reálnému nástroji. Jedná se o návaznost na bakalářskou práci, kde je možno nalézt detailnější pojednání o dané problematice.

### 10.5.1 Poháněný nástroj

Poháněné nástroje představují podstatné zvýšení technologických možností obráběcího stroje a významný příspěvek k možnosti zhotovit obrobek na jedno upnutí. Mohou představovat další řízenou osu. Jejich úzká vázanost na stroje konkrétního výrobce (zdroj pohybu, způsob upnutí a prostorová omezení), způsobuje omezenou přenositelnost z jednoho typu stroje na druhý a počet firem, které je mají ve výrobním programu, je podstatně menší než těch, kteří se věnují samotným rezným nástrojům.

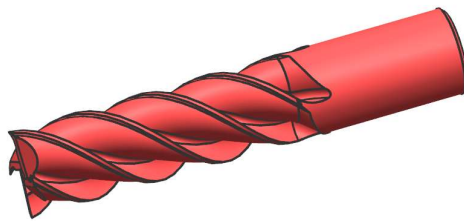


*Obr. 123. Model a reálný poháněný nástroj s frézou*

Jelikož se jedná o přídavné komponenty, které nejsou plně integrovány do struktury obráběcího stroje, je nutno počítat s některými omezeními, jako je např. omezená tuhost a podobně. Konstrukčním provedením se výrazně liší poháněné nástroje upínané do pracovního vřetena stroje a poháněné nástroje, které jsou upínány do revolverové hlavy.

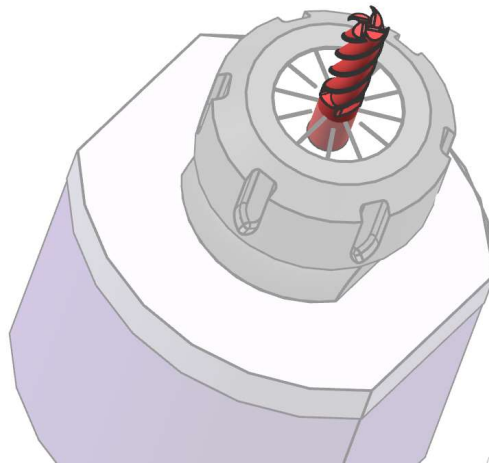
### 10.5.2 Fréza

Při frézování drážky byla použita klasická monolitní fréza. Fréza má čtyři břity a její délka je vybrána s ohledem na vyložení vzhledem k držáku. Pokud je brán v potaz, že samotný poháněný nástroj se vyznačuje nepříliš dokonalou tuhostí, je alespoň zkrácení vyložení nástroje tento nedostatek mírně kompenzován. Fréza je upnutá pomocí kleštiny. Kleština je vybrána na základě průměru stopky nástroje.



*Obr. 124. Monolitní fréza*

Model frézy a poháněného nástroje odpovídá reálnému provedení. Poháněný nástroj je upevněn v revolverové hlavě spolu s dalšími soustružnickými nástroji, určenými pro soustružení. Do poháněného nástroje je možno vložit vrták, frézu nebo závitník. Tímto způsobem lze vytvářet část operací, určených pro frézku i na soustruh. A to všechno například i na jedno upnutí obrobku.



*Obr. 125. Upnutí pomocí kleštiny*

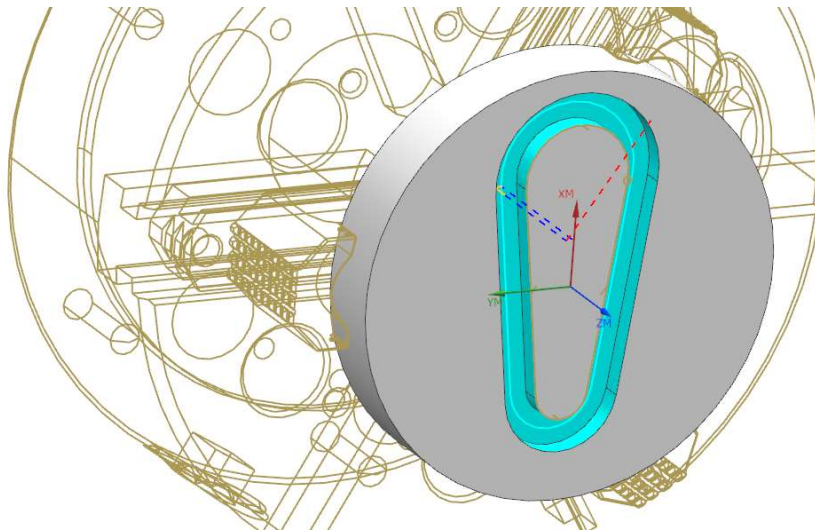
## 10.6 CAM

Technologie obrábění byla navržena tak, aby co v nejkratším čase z výkovku vznikl požadovaný obrobek. Hlavním kritériem bylo použití co nejnižšího počtu nástrojů. Ohled byl také kladen na řezné podmínky. Optimální rovnováha mezi životností nástroje a velikostí posuvu.

Name	P...	Tool	Geometry
NC_PROGRAM			
! DRAZKA_D15	✓	FREZA_D15	G54

Obr. 126. Strom jednotlivých obráběcích operací

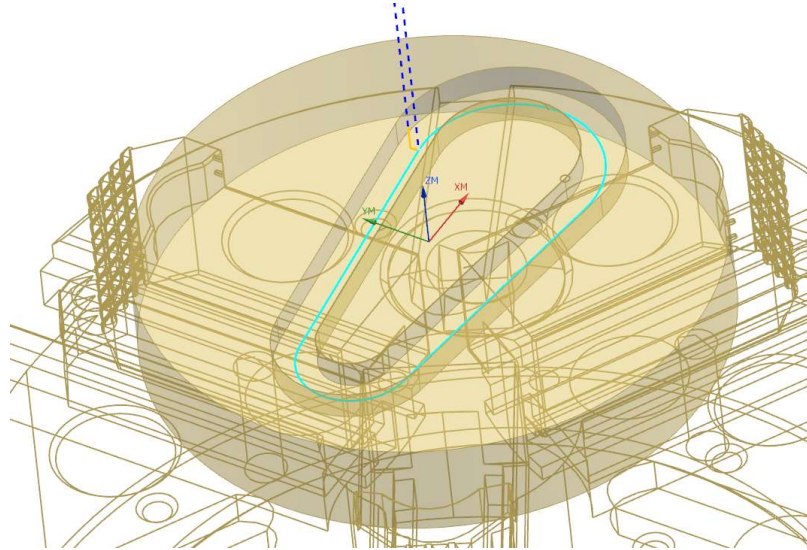
Nástroj byl do revolverové hlavy modelu stroje vložen podle toho, jak bude vložen i do revolverové hlavy reálného stroje. Jedná se o frézování drážky libovolného tvaru. V úloze tvar odpovídá tvaru vačky. Dalšími možnostmi frézování na soustruhu s poháněnými nástroji jsou tvaru volné křivky, různé mnohohrany nebo vrtané otvory v libovolném místě.



Obr. 127. Dráhy nástroje před konečnou simulací

Operace je třeba kontrolovat z hlediska bezpečné dráhy nástroje, správně zvolených řezných podmínek a správného pořadí. Efektivita spočívá v minimalizování nadbytečné pohybové dráhy nástroje a maximalizování řezných podmínek.

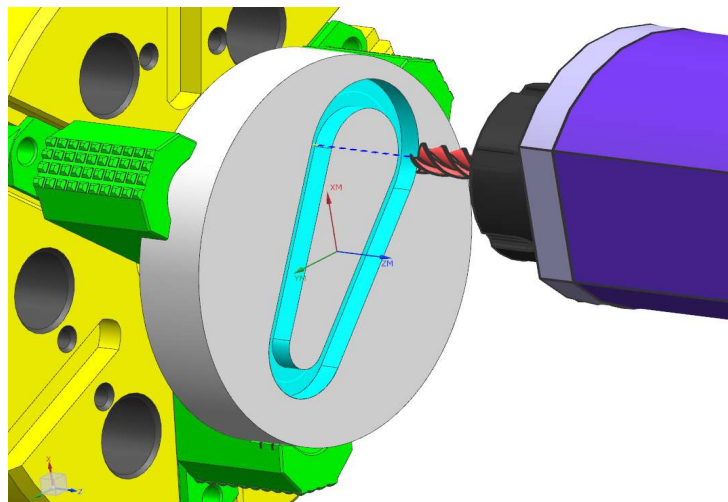
Důležité je si v náhledu projít všechna místa nájezdů a odjezdů nástroje. S modelem se dá pracovat v mnoha pohledech. Tím je vytvořena určitá výhoda a možnost promyšlení celé technologie bez zbytečných chyb.



Obr. 128. Dráhy nástroje vyobrazeny v modelu

### 10.7 Simulace dráhy nástroje v NX

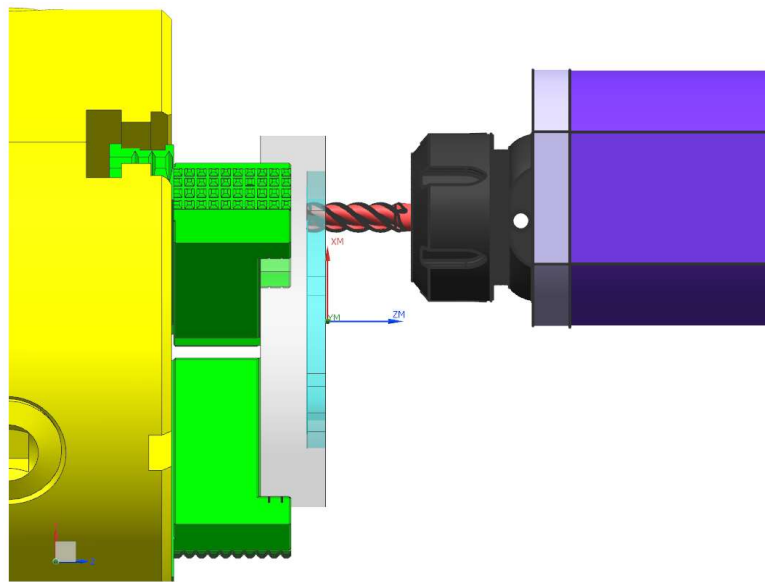
Pokud jsou dokončeny všechny předchozí kroky týkající se přípravy obrábění, je možnost ještě před samotným vygenerováním NC kódu pomocí postprocesoru, si v konečné fázi, postupně, celé obrábění projít krok po kroku a zkontrolovat tak případné nesrovnalosti nebo nepříjemnosti, které by vznikly při reálném obrábění.



Obr. 129. Klasická simulace dráhy nástroje v NX

### 10.7.1 Kontrola kolize nástroje v klasické simulaci

Pokud danou simulaci chceme doplnit o kontrolu kolize, stačí v průběhu simulace daný požadavek potvrdit. Jedná se o důležitou věc zejména pro konstruktéra přípravků. Správného projetí nástroje je dosaženo pouze tehdy, pokud je zabráněno špatnému návrhu konstrukce přípravku. V tomto případě vymezením možnosti nežádoucího zanoření nástroje. Hloubka drážky musí odpovídat rozměru z výkresové dokumentace.



Obr. 130. Ukázka kontroly správného zanoření nástroje

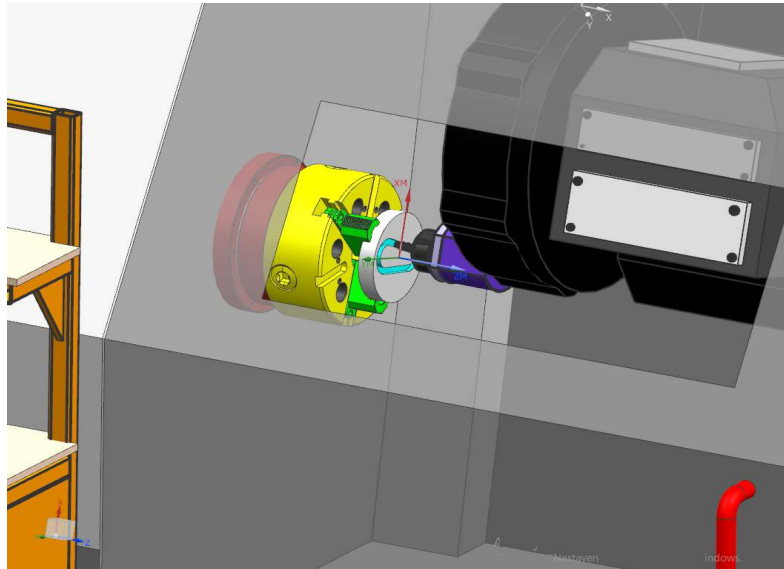
Návrh je v pořádku z hlediska konstrukčního a z hlediska obráběcího pouze tehdy, pokud při projetí všech nástrojů v daném pořadí nedochází ke kolizi nástroje s jakoukoliv částí přípravku. Výsledkem musí být bezpečné upnutí nejen obroku, ale také bezpečné dráhy bez překážky pro nástroje. Důležitá je komunikace mezi konstruktérem přípravků a technolo- gem.

Kontrolu simulace je nutno provádět po každém zásahu do technologie nebo úpravě dráhy. Jedině tak bude dosaženo správného výsledku na závěr a obrobený díl bude odpovídat požadavkům zákazníka.

Další kontrola, která by zde mohla být zavedena je kontrola kolize nástroje, případně držáku, a čelistí. V tomto případě je však situaci zabráněno správným vyložením nástroje.

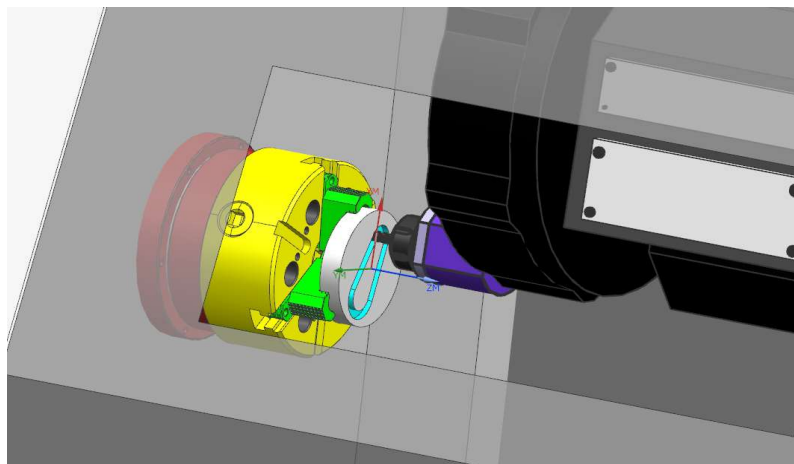
## 10.8 Simulace dráhy nástroje a stroje v NX

Dalším možným typem simulace obrábění v NX je možnost využití jednak modelů nástrojů, ale také možnost využít model obráběcího stroje. Simulace ukazuje, jak obrábění bude probíhat v reálném prostředí se všemi náležitostmi. Je zde podobnost s klasickou simulací. Tato simulace je však doplněna o daný stroj, který lze určit podle toho, na kterém stroji je daná výroba plánována.



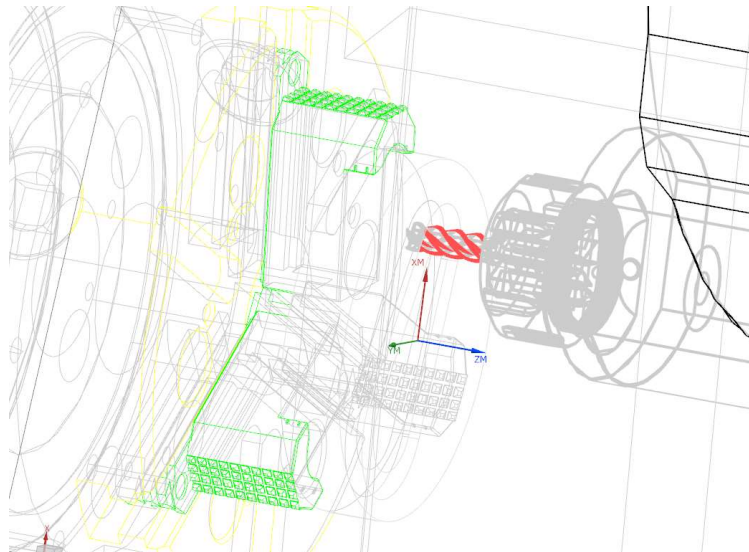
Obr. 131. Simulace obrábění s modely nástrojů i strojem

Simulace poskytuje detailní pohled do pracovního prostoru a na celý proces obrábění. Umožňuje kontrolu celého procesu i se stroji, které jsou v plánu teprve koupit, případně tak odhalit jejich nevýhody pro daný obrobek, či přípravek.



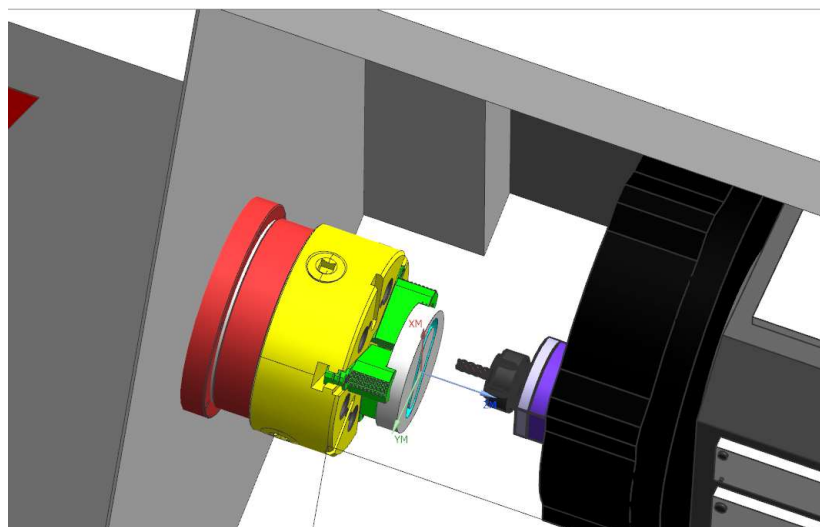
Obr. 132. Pohled do obráběcího prostoru stroje

Kontrola kolize je možná i v simulaci s využitím modelů strojů. Protože se jedná o úlohu, u které jsou již předem zabezpečeny průjezdy nástrojů z klasické simulace, nepředpokládá se, že by mělo dojít k něčemu neočekávanému při použití modelu stroje.



Obr. 133. Kontrola hloubky frézování nástroje

Kromě kolize nástroje se sklíčidlem je zde další možnosti využití kontroly. Jedná se o hloubku frézování, kdy je možné předem určit, zda frézovaná hloubka drážky je dostatečně velká. Případ kontroly nájezdů z mnoha směrů je jenom další výhodou. Simulace musí odpovídat reálnému obrábění.



Obr. 134. Kontrola nájezdů nástroje i stroje

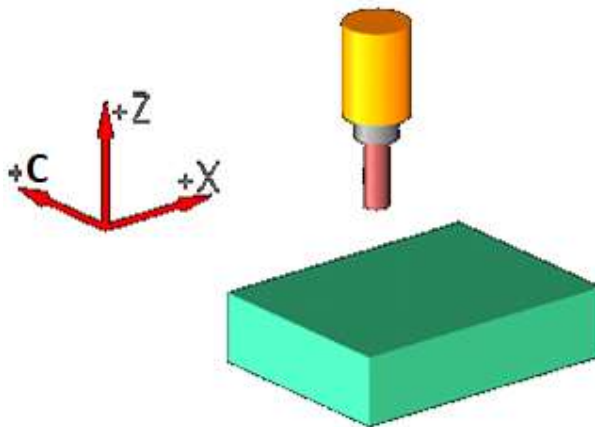
## 10.9 Postprocessor

Kompletní simulace, odladěné dráhy nástrojů, správně definované řezné podmínky a správně navrhnutý přípravek, to jsou důležité kroky před samotnou výrobou daného obrobku. Důležitá věc však ještě stále chybí. Jedná se o postprocessor. Cesta, jak získat postprocessor je snadná a nevyžaduje, pokud se nejedná o nákladné postprocesory dělány na zakázku, ani příliš námahy. Prostředí programu NX nabízí vlastní generátor samotných postprocesorů, které je možno si upravit pro konkrétní stroje až do nejmenšího detailu.



Obr. 135. Post Builder

V Post Buildru nalezneme přehledné prostředí. Využívá příjemnou strukturu parametrických polí, která jsou vzájemně provázána. Vzniká tak přehledná struktura o požadavcích daného postprocesoru. Základní definice stroje požaduje definování počtu os a jejich rozsah. V Post buildru se nachází i základní od výrobce definované postprocesory. Tato práce se vyznačuje značnými nedostatky pro reální využití v praxi. Nejlepší cesta, jak dosáhnout plně funkčního postprocesoru bezpečného pro stroj, je vytvořit si svůj vlastní postprocessor úplně od základu.

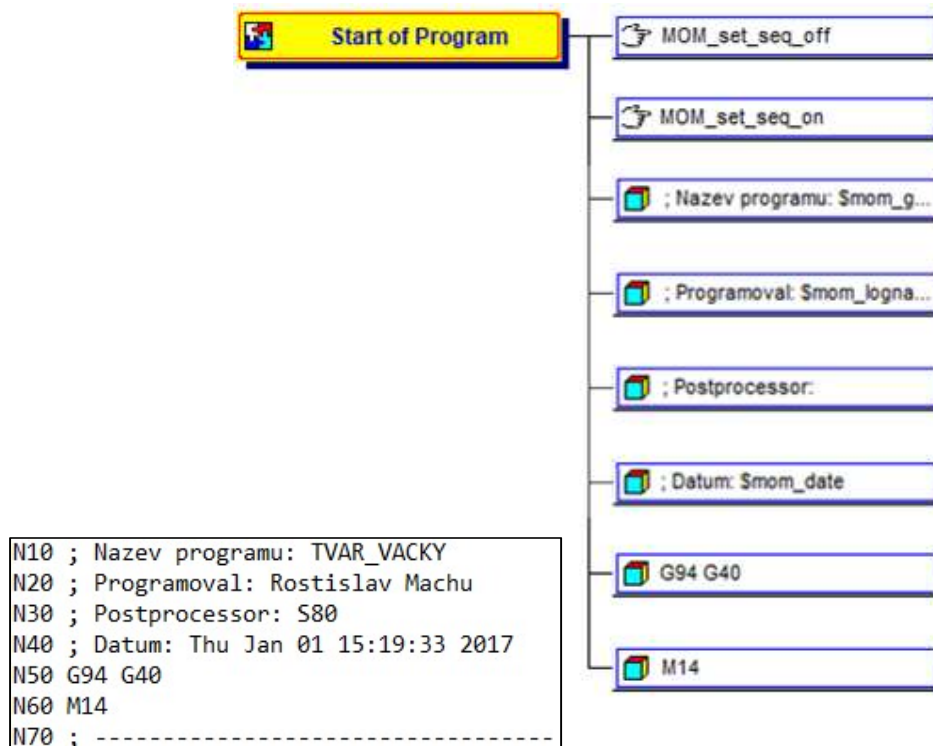


Obr. 136. Definování kinematických parametrů stroje

Kinematické charakteristiky stroje jsou vybrány. Případně parametry týkající se rozsahu délky jednotlivých os nebo jestli má být výstup souřadnic v milimetrech či placech.

Každý program se skládá z hlavičky, těla a patičky. V každé této části je nutno vědět co pro správnou funkci daný stroj potřebuje a také je potřeba vědět co od výstupu NC kódu očekává technolog a CAM specialista.

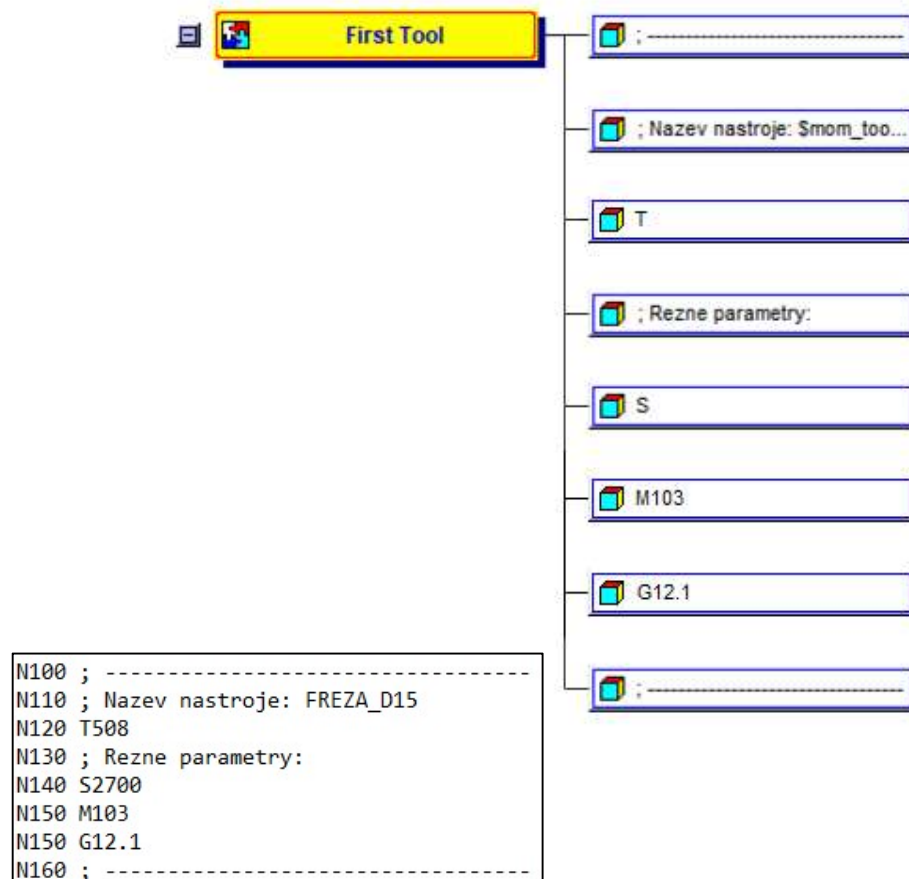
Pokud se jedná o hlavičku, uvádí se zde základní informace o programu. Může zde být uveden název programu, jméno programátora, název součásti. Je vhodné uvažovat i příležitosti, že daný program bude používat externí firma, kde obsluha bude zvyklá na jiný tvar výstupu NC kódu a každý detail je důležitý pro správné pochopení programu



Obr. 137. Definice základních prvků v hlavičce programu a výstup NC kódu

Postprocesor byl navrhnut pro klasický CNC soustruh bez ohledu na typ stroje nebo výrobce. Byla zde využita znalost struktury NC kódu pro systém Fanuc. Postprocesor byl navrhnut tak, aby byl v maximální míře variabilní a jednoduchý.

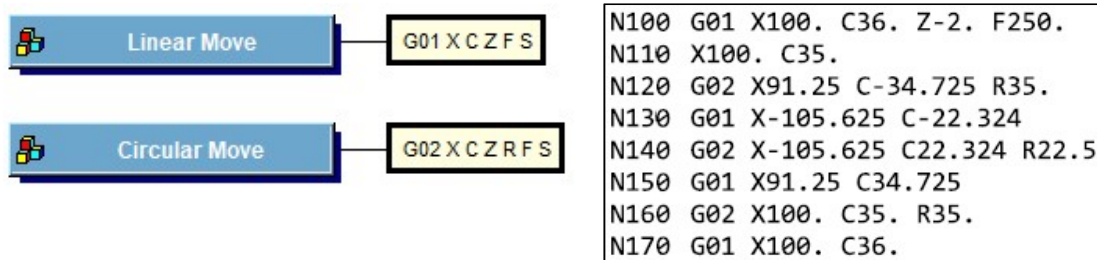
Neobsahuje složité definice ani makra a je navrhnut tak, aby bylo možné tento jeden postprocesor použít na více strojích. Pokud by byl postprocesor vyladěný do detailu, což by nebyl problém, mohla by pak následovat situace, kdy ne všechny stroje by generovaný NC kód byly schopny zpracovat.



Obr. 138. Definice základních prvků nástroje a výstupů NC kódu

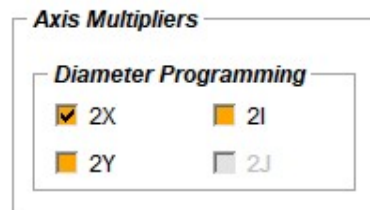
Je zde ukázka několika struktur postavených v Post Builderu, zajišťující správnou funkci konečného stroje. Ukázka definování základních parametrů v hlavičce, definice nástroje, řezné rychlosti, oddělování jednotlivých bloků v NC kódu, konec programu a jiné. Pohyby v lineárním směru jsou odděleny od pohybů radiálních a je možnost pro ně definovat různé kombinace a výstupy.

Ne vždy odpovídá název jednotlivých os na výstupu s těmi v NC kódu, proto je možnost v Post Builderu upravit postprocesor tak, aby generoval předem definované názvy os. Jednotlivé osy lze také zakázat.



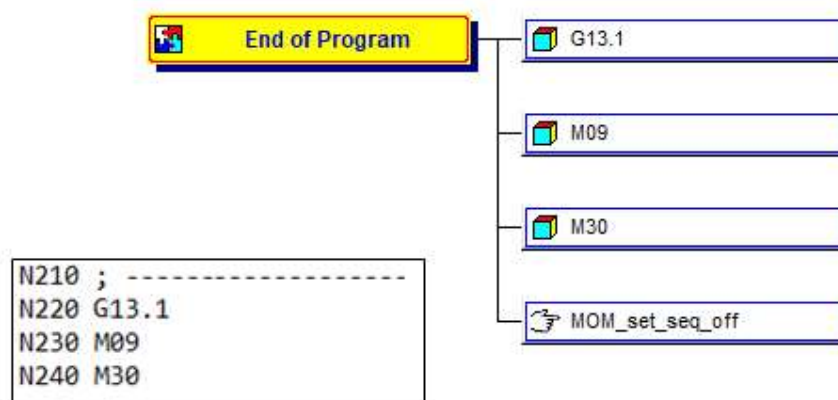
Obr. 139. Definice lineárního a kruhového pohybu a výstup NC kódu

Nastavení lineárních posuvů pro tento případ představuje úpravu pro novou osu rotace, a to osu C. Je potřeba i přednastavit podle daného stroje tak, aby byl tento stroj schopný daný požadavek spravovat. Další možností je úprava na přepočít hodnot průměru. Jedná se tedy o programování parametrů výstupu v NC kódu na průměrovou hodnotu.



Obr. 140. Nastavení souřadnic průměru

Ukončení programu lze definovat též. Jedná se většinou o pár řádků. V této úloze případě se jedná o jeden příkaz uvedený na konci programu.



Obr. 141. Definice konce programu a výstup NC kódu

Postprocesor je uložen a je kdykoliv k dispozici pro jeho použití. Je možné ho nalézt v knihovně mezi ostatními postprocesory. Každý program je možno vygenerovat s příslušnou koncovkou. V tomto případě jsou programy generovány jako podprogramy pro jednotlivé nástroje. Podprogramy jsou pak volány hlavním programem.

Všechny podprogramy jsou nahrány do stroje prostřednictvím síťového propojení stroje a stolního počítače nebo jsou nahrány přes příslušné USB zařízení.

Každý podprogram musí být na stroji otestován pro příslušný nástroj. Pokud je postprocesor používán delší dobu a jsou tak vychtány všechny jeho nedostatky, je možné programy spustit i na první pokus.

```
N10 ; Nazev programu: TVAR_VACKY
N20 ; Programoval: Rostislav Machu
N30 ; Postprocessor: S80
N40 ; Datum: Thu Jan 01 15:19:33 2017
N50 G94 G40
N60 M14
N70 ; -----
N80 ; Nazev operace: DRAZKA_D15
N100 ; -----
N110 ; Nazev nástroje: FREZA_D15
N120 T508
N130 ; Rezne parametry:
N140 S270
N150 M103
N150 G12.1
N160 ; -----
N170 G00 X91.125 C35.222
N180 Z60.
N190 Z-1.
N200 G01 X91.125 C35.222 Z-11. F250.
N210 X91.875 C32.245
N220 G02 X91.875 C-32.245 R32.5
N230 G01 X-105. C-19.843
N240 G02 X-105. C19.843 R20.
N250 G01 X91.875 C32.245
N260 X91.875 C32.245 Z-10.
N270 G00 Z60.
N280 ; -----
N290 G13.1
N300 M09
N310 M30
```

Obr. 142. Ukázka výstupu z postprocesoru pro jeden nástroj

## 10.10 Porovnání simulace a reálné výroby

Model obrobku odpovídá reálně vyrobenému dílu. Vyrobený díl odpovídá svými rozměry, způsobem upnutí, opracování a aplikovanou technologií věrně simulaci v softwaru NX. Simulace potvrdila správnost připravené technologie. Stroj pracoval dle předem simulovaného procesu a kopíroval tak pohyby stroje v simulaci. Nástroj neprojevoval během obrábění neobvyklé neshody od simulace nebo nebyly zaznamenány komplikace týkající se kolizí.

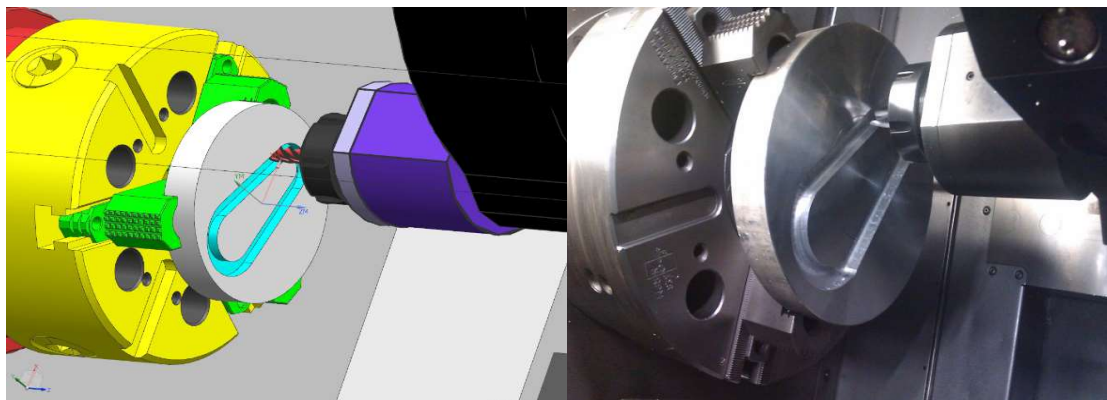
Tříška byla plynulá a dobře se drolila, povrch opracování nejevil žádné vrypy a odpovídal požadované kvalitě. Tvar obrobene plochy rozměrově odpovídal tvaru na modlu obrobku.

Během reálného obrábění nenastaly komplikace v NC kódu. Daný postprocesor se projevil jako plně funkční a lze ho tedy aplikovat na jiný druh práce vyráběné na tomto stroji.

U obrábění lze tedy konstatovat shodu mezi prostředím simulace a reálným obráběním.



Obr. 144. Srovnání modelu a reality



Obr. 143. Srovnání modelové simulace a reálného obrábění

## ZÁVĚR

Diplomová práce se zabývá přípravou postprocesorů pro frézování a soustružení.

Teoretická část přibližuje technologii frézování. Zaobírá se základy řezného procesu. Definiuje pojmy v technologii frézování, jako je nástroj, polotovar, základní pohyby nástroje a obrobek. V další části se nachází rozdělení hlavních frézovacích operací. V poslední řadě se teoretická část zaměřuje na upínání frézovacích nástrojů. Definiuje jednotlivé možnosti upínání obrobku při frézování a představuje typy frézovacích strojů.

Praktická část byla rozdělena do dvou rovin. V první rovině bylo hlavním jmenovatelem frézování a ve druhé soustružení.

Frézování bylo pojato jako výroba nerotační součásti. Byl připraven model reálného polotovaru, v tomto případě výkovku. Dále model obrobku a model přípravku. Do knihovny nástrojů byly vytvořeny nástroje použité během výroby. Připraven model stroje, vytvořen kinematický strom a stroj uložen do knihovny. Strategie obrábění byla od simulována a použity prvky detekce kolize. Nakonec vytvořen postprocesor, vygenerován NC kód a na reálném stroji daná součást vyrobena.

Soustružení zde nebylo pojato jako výroba rotačního dílu, ale jako varianta frézované drážky tvaru vačky pomocí poháněno nástroje soustruhu. Úkolem bylo připravit model reálného polotovaru, v tomto případě normalizovaného polotovaru. Dále model obrobku, model sklíčidla a čelistí. Do knihovny nástrojů byl vytvořen nástroj použitý během výroby. Připraven model stroje, vytvořen kinematický strom a stroj uložen do knihovny. Strategie obrábění byla od simulována a použity prvky detekce kolize. Nakonec vytvořen postprocesor, vygenerován NC kód a na reálném stroji daná součást vyrobena.

**SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY**

- [1] KOCMAN, Karel. Technologické procesy obrábění. Vyd. 1. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2011, 330 s. ISBN 978-80-7204-722-2.
- [2] MÁDL, Jan a BARCAL Jaroslav. Základy technologie II [online]. Vyd. 1. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2002, 55 s. [cit. 2018-01-23]. ISBN 80-010-2610-8
- [3] AB SANDVIK COROMANT - SANDVIK CZ s.r.o. Příručka obrábění - Kniha pro praktiky. Přel. M. Kudela. Praha. Scientia, s. r. o. 1997. ISBN 91-97 22 99-4-6. Přel. z: Modern Metal Cuttig - A Practical Handbook.
- [4] HUMAR, A. *Technologie I - Technologie obrábění - 2. část*. Studijní opory pro magisterskou formu studia. VUT-FSI v Brně, Ústav strojírenské technologie, Obor technologie obrábění. 2004. 95 stran. [online]. [vid. 2018-03-19]. Dostupné z: [http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/opory-save/TI\\_TO-2cast.pdf](http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/opory-save/TI_TO-2cast.pdf).
- [5] PŘÍKRYL, Zdeněk a MUSÍLKOVÁ Rosa. *Teorie obrábění*. Vyd. 3. Praha: Nakladatelství technické literatury SNTL, 1982, 240 s.
- [6] HUMAR, A. *Technologie I - Technologie obrábění - 1. část*. Studijní opory pro magisterskou formu studia. VUT-FSI v Brně, Ústav strojírenské technologie, Obor technologie obrábění. 2003. 138 stran. [online]. [vid. 2017-01-04]. Dostupné z: [http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/opory-save/TI\\_TO-1cast.pdf](http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/opory-save/TI_TO-1cast.pdf).
- [7] *Materiály. Sandvik Coromant* [online]. 2015 [cit. 2017-12-10]. Dostupné z: <http://www.sandvik.coromant.com/cscz/knowledge/materials/introduction/Pages/default.aspx>
- [8] BRENÍK, P a J PÍČ. *Obráběcí stroje: Konstrukce a výpočty*. Praha: SNTL, 1982, 571 s. ISBN 04-221-82.
- [9] MAREK, Jiří a Petr BLECHA. *Konstrukce CNC obráběcích strojů*. Vyd. 2., přeprac. a rozš. Praha: MM Publishing, 2010, 420 s. ISBN 978-80-254-7980-3
- [10] BÍLEK, Ondřej a Imrich LUKOVICS. *Výrobní inženýrství a technologie*. 1. vyd. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 2014, 173s. ISBN 978-80-7454-471-2.
- [11] KOH, Jaecheol. *Siemens NX9 design fundamentals [a step by step guide]*. Seoul: ONSIA, 2014, XXII, 644s. ISBN 978-1-500739-14-0.
- [12] RAO, P. *CAD/CAM: principles and applications*. 3rd ed. New Delhi: McGraw Hill Education, 2010, XX, 768s. ISBN 978-0-07-068193-4.

- [13] CAD/CAM: stručná historie obrábění [online]. [cit.2018-02-13]. Dostupný: <[http://www.fi.muni.cz/usr/jkucera/pv109/2002/xkubin2\\_CADCAM.htm](http://www.fi.muni.cz/usr/jkucera/pv109/2002/xkubin2_CADCAM.htm)>.
- [14] Hermle: Hermle C30/C40 portal center [online]. [cit. 2018-02-15]. Dostupný z WWW:<<http://www.hermle.de>>.
- [15] Chiron: Kompakt, stark und schnell [online]. [cit. 2018-02-10]. Dostupný z WWW:< <https://chiron.de/produkte/technologie/5-achs-bearbeitung>>.
- [16] BRYCHTA, Josef, CEP, Robert, Lenka, NOVÁKOVÁ, Jana. Nové směry v progresivním obrábění, 1. Vydání Ostrava: Ediční středisko VŠB-TUO, 2007. 251 s. ISBN 978-80-248-1505-3.
- [17] Iscar: frézovací nástroje [online]. [cit. 2017-02-15]. Dostupný z WWW: <<http://www.iscar.com>>
- [18] ALZMETALL: Vrtání [online]. [cit. 2018-02-01]. Dostupný z WWW: <<http://mcshop.com/ALZMETALL.aspx>>.
- [19] SMID, Peter. CNC programming handbook. New York, Industrial Press Inc., 2003. 483 s. ISBN 0-8311-3158-6.
- [20] Misan: Soustružnická centra [online]. [cit. 2018-02-18]. Dostupný z WWW: <<http://www.misan.cz>>.
- [21] Kovosvit: Multifunkční obrábecí centra [online]. [cit. 2017-11-12]. Dostupný z WWW: <<http://www.kovosvit.cz>>.
- [22] DMG | DECKEL MAHO | GILDEMEISTER - DMU: CNC universal milling machines [online]. [cit. 2018-02-11]. Dostupné z: <http://cz.dmg.com/en.milling.dmu>
- [23] TSUDAKOMA: Machine Tool Attachments [online]. [cit. 2017-12-12]. Dostupné z: <http://www.tsudakoma.co.jp/mta/english/index.html>

## SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

NX	Počítačový program.	
CAM	Počítačem podporovaná výroba.	
CNC	Číslicové řízení počítačem.	
CVD	Chemické napařování z plynné fáze.	
PVD	Fyzikální napařování.	
SK	Slinutý karbid	
VBD	Vyměnitelná břitová destička	
$S'$	Nástrojové vedlejší ostří.	
$v_c$	Řezná rychlost.	[mm.min <sup>-1</sup> ]
$v_f$	Posuvová rychlost.	[m.min <sup>-1</sup> ]
$v_e$	Rychlost řezného pohybu.	[m.min <sup>-1</sup> ]
$\eta$	Úhel řezného pohybu.	[rad]
$\varphi$	Úhel posuvového pohybu.	[rad]
$Q_e$	Teplo řezného procesu.	[J]
$E_e$	Práce řezného procesu.	[J]
$Q_{pe}$	Teplo vznikající vlivem plastické deformace.	[J]
$Q_\gamma$	Teplo vzniklé díky tření mezi čelem nástroje a třískou.	[J]
$Q_\alpha$	Teplo vlivem tření mezi hlavním hřbetu nástroje a přechodovou plochou obrobku.	[J]
$Q_t$	Teplo odváděné třískou.	[J]
$Q_n$	Teplo odváděné nástrojem.	[J]
$Q_{pr}$	Teplo odváděné prostředím.	[J]
$Q_o$	Teplo odváděné obrobkem.	[J]
D	Průměr obrobku.	[mm]

**SEZNAM OBRÁZKŮ**

<i>Obr. 1. Třískové obrábění frézování [6]</i> .....	12
<i>Obr. 2. Nenormalizované polotovary a) výkovek b) odlitek [10]</i> .....	13
<i>Obr. 3. Normalizované polotovary a) kvádr b) válec [8]</i> .....	14
<i>Obr. 4. Ukázka frézovacích nástrojů – různá provedení. [15]</i> .....	14
<i>Obr. 5. Hlavní části obráběcího nástroje [2]</i> .....	15
<i>Obr. 6. Kinematika řezného procesu při frézování [2]</i> .....	16
<i>Obr. 7. a) frézování nesousledné b) frézování sousledné</i> .....	17
<i>Obr. 8. Dráha ostří zubu [15]</i> .....	17
<i>Obr. 9. Základní rozdělení ploch</i> .....	18
<i>Obr. 10. Deformační oblasti procesu řezání [4]</i> .....	20
<i>Obr. 11. Základní druhy tvářených třísek [6]</i> .....	21
<i>Obr. 12. a) nárůstek b) nárůstek u kořene třísky</i> .....	21
<i>Obr. 13. Vznik a odvod tepla [4]</i> .....	22
<i>Obr. 14. Teplotní pole v zóně řezání [5]</i> .....	23
<i>Obr. 15. Teplotní pole a) měkký materiál b) tvrdý materiál [13]</i> .....	23
<i>Obr. 16. Oblasti použitých řezných materiálů [2]</i> .....	25
<i>Obr. 17. Hodnoty vlastnosti materiálů [2]</i> .....	25
<i>Obr. 18. Nepovlakované slinuté karbidy [7]</i> .....	27
<i>Obr. 19. Slinutý karbid skupiny K [2]</i> .....	27
<i>Obr. 20. Slinutý karbid skupiny P [2]</i> .....	28
<i>Obr. 21. Slinutý karbid skupiny M [2]</i> .....	28
<i>Obr. 22. Povlakované slinuté karbidy [7]</i> .....	29
<i>Obr. 23. Logo firmy Sandvik Coromant [7]</i> .....	29
<i>Obr. 24. a) povlak druhé generace b) povlak třetí generace [2]</i> .....	29
<i>Obr. 25. Povlak 4. generace [5]</i> .....	30
<i>Obr. 26. Princip metody CVD [2]</i> .....	31
<i>Obr. 27. Princip metody CVD [2]</i> .....	31
<i>Obr. 28. Cermet na bázi TiCN [2]</i> .....	32
<i>Obr. 29. Cermety [7]</i> .....	32
<i>Obr. 30. Řezná keramika [7]</i> .....	33
<i>Obr. 31. Oxidační keramika [2]</i> .....	33
<i>Obr. 32. Smíšená keramika [2]</i> .....	34

<i>Obr. 33. Keramika z nitridu křemíku [2]</i> .....	34
<i>Obr. 34. Vyztužená keramika [2]</i> .....	34
<i>Obr. 35. Polykrystalický diamant [2]</i> .....	35
<i>Obr. 36. Polykrystalický diamant [7]</i> .....	35
<i>Obr. 37. Postup výroby vyměnitelné břitové destičky [2]</i> .....	36
<i>Obr. 38. Tvarová rozmanitost PD plátek</i> .....	36
<i>Obr. 39. a) vliv teploty na opotřebení b) vliv řezných podmínek na opotřebení [1]</i> .	37
<i>Obr. 40. Časová závislost opotřebení pro různé řezné rychlosti [1]</i> .....	38
<i>Obr. 41. a) frézování drážky b) frézování tvaru [18]</i> .....	39
<i>Obr. 42. a) čelní frézování b) frézování stěn do rohu [17]</i> .....	39
<i>Obr. 43. a) čelní frézování b) vysoko posuvové frézování [17]</i> .....	40
<i>Obr. 44. a) tvarové frézování s VBD b) tvarové frézování s monolitem [17]</i> .....	40
<i>Obr. 45. a) rotační frézování tvaru b) nesymetrické frézování [17]</i> .....	41
<i>Obr. 46. a) kruhová interpolace a drážka b) frézování otvoru [17]</i> .....	41
<i>Obr. 47. Moderní provedení upínacího přípravku [20]</i> .....	42
<i>Obr. 48. a) pevný strojní svěrák b) sklopný svěrák [6]</i> .....	42
<i>Obr. 49. a) hydraulicky upínaný svěrák b) mechanicky upínaný svěrák [18]</i> .....	43
<i>Obr. 50. Klasické provedení upínek [18]</i> .....	43
<i>Obr. 51. a) mechanický přípravek b) upínání upínkami [11]</i> .....	44
<i>Obr. 52. a) hydraulická upínka b) hydraulický přípravek [12]</i> .....	44
<i>Obr. 53. Upnutí frézy v upínači [16]</i> .....	45
<i>Obr. 54. a) tepelný upínač b) teplotní pole [13]</i> .....	45
<i>Obr. 55. a) hydraulický upínač b) řez hydraulickým upínačem [13]</i> .....	46
<i>Obr. 56. a) kleštinový upínač b) kleština [15]</i> .....	46
<i>Obr. 57. Vodorovná konzolová frézka [21]</i> .....	47
<i>Obr. 58. Svislá konzolová frézka [21]</i> .....	48
<i>Obr. 59. Přehled stolových frézek [21]</i> .....	48
<i>Obr. 60. Rovinná portálová frézka [21]</i> .....	49
<i>Obr. 61. Logo CAD/CAM systému NX [14]</i> .....	50
<i>Obr. 62. Postup výroby součásti pomocí CAD/CAM systémů [17]</i> .....	54
<i>Obr. 64. Logo Kovárna VIVA a.s.</i> .....	61
<i>Obr. 64. Výchozí výkovek 175x120x24 mm</i> .....	62
<i>Obr. 65. Reálný výkovek</i> .....	62

<i>Obr. 66. Výchozí obrobek .....</i>	63
<i>Obr. 67. Navržený model přípravku .....</i>	64
<i>Obr. 68. Srovnání modelu přípravku a reality .....</i>	64
<i>Obr. 69. Model stroje Chiron FZ15W .....</i>	65
<i>Obr. 70. Boční pohled na model stroje .....</i>	66
<i>Obr. 71. Porovnání modelu a reálného stroje .....</i>	66
<i>Obr. 72. Nástroj pro kinematický model stroje v NX .....</i>	67
<i>Obr. 73. Strom kinematického modelu Chiron FZ15W .....</i>	67
<i>Obr. 74. Testování rozsahu pohybu jednotlivých os .....</i>	68
<i>Obr. 75. Jednotlivé osy stroje .....</i>	68
<i>Obr. 76. Nástroj pro nahrání stroje v NX .....</i>	69
<i>Obr. 77. Přípravek na stole stroje .....</i>	69
<i>Obr. 78. Přední pohled na model obrobku, přípravku a stolu .....</i>	70
<i>Obr. 79. Přední pohled na reálný obrobek, přípravek a stůl .....</i>	70
<i>Obr. 80. Sestava čelní frézy a držáku .....</i>	71
<i>Obr. 81. Srovnání modelu a reálného nástroje .....</i>	71
<i>Obr. 82. VBD destička .....</i>	72
<i>Obr. 83. Model a reálný TK vrták průměr 15,08 .....</i>	72
<i>Obr. 84. sestava tepelného upínače a vrtáku .....</i>	72
<i>Obr. 85. Strom jednotlivých obráběcích operací .....</i>	73
<i>Obr. 86. Dráhy nástrojů před konečnou simulací .....</i>	73
<i>Obr. 87. Dráhy nástrojů vyobrazeny v síťovém modelu .....</i>	74
<i>Obr. 88. Klasická simulace dráhy nástroje v NX .....</i>	74
<i>Obr. 89. Ukázka kontroly kolize při špatně polohované upínce .....</i>	75
<i>Obr. 90. Bezpečný průjezd nástroje kolem dobře polohované upínky .....</i>	75
<i>Obr. 91. Simulace obrábění s modely nástrojů i strojem .....</i>	76
<i>Obr. 92. Pohled do obráběcího prostoru .....</i>	76
<i>Obr. 94. Kontrola kolize nástroje a chybně polohované upínky .....</i>	77
<i>Obr. 93. Kontrola hloubky vrtání .....</i>	77
<i>Obr. 95. Post Builder .....</i>	78
<i>Obr. 96. Definování kinematických parametrů stroje .....</i>	78
<i>Obr. 97. Definice základních prvků v hlavičce programu a výstup NC kódu .....</i>	79
<i>Obr. 98. Definice základních prvků nástroje a výstup NC kódu .....</i>	80

<i>Obr. 99. Definice každé nové operace, nulového bodu a výstup NC kódu.....</i>	81
<i>Obr. 100. Definice lineárního pohybu a výstup NC kódu .....</i>	81
<i>Obr. 101. Definice kruhového pohybu a výstup NC kódu .....</i>	82
<i>Obr. 102. Definice konce programu a výstup NC kódu .....</i>	82
<i>Obr. 103. Nastavení číslování řádků.....</i>	82
<i>Obr. 104. Ukázka výstupu z postprocesoru pro jeden nástroj.....</i>	83
<i>Obr. 105. Srovnání modelu a reality.....</i>	84
<i>Obr. 106. Srovnání modelové simulace a reálného obrábění .....</i>	84
<i>Obr. 107. Nadělený normalizovaný polotovar válcového tvaru 205x42 mm .....</i>	85
<i>Obr. 108. Reálný válcový polotovar.....</i>	85
<i>Obr. 109. Model obrobku 200x40 mm .....</i>	86
<i>Obr. 110. Model sklíčidla .....</i>	87
<i>Obr. 111. Model a reálné sklíčidlo s upnutým polotovarem .....</i>	87
<i>Obr. 112. Model stroje MAS S80i .....</i>	88
<i>Obr. 113. Přední pohled na model stroje .....</i>	88
<i>Obr. 114. Porovnání modelu a reálného stroje. ....</i>	89
<i>Obr. 115. Nástroj pro kinematický model stroje v NX.....</i>	90
<i>Obr. 116. Strom kinematického modelu stroje MAS S80i .....</i>	90
<i>Obr. 117. Testování rozsahu pohybu jednotlivých os .....</i>	91
<i>Obr. 118. Model sklíčidla a čelistí .....</i>	91
<i>Obr. 119. Nástroj pro nahrání stroje v NX.....</i>	92
<i>Obr. 120. Model upnutého obrobku .....</i>	92
<i>Obr. 121. Sestava sklíčidla a obrobku .....</i>	93
<i>Obr. 122. Model stroje, revolverové hlavy a sklíčidla .....</i>	93
<i>Obr. 123. Model a reálný poháněný nástroj s frézou.....</i>	94
<i>Obr. 124. Monolitní fréza .....</i>	95
<i>Obr. 125. Upnutí pomocí kleštiny .....</i>	95
<i>Obr. 126. Strom jednotlivých obráběcích operací.....</i>	96
<i>Obr. 127. Dráhy nástroje před konečnou simulací.....</i>	96
<i>Obr. 128. Dráhy nástroje vyobrazeny v modelu .....</i>	97
<i>Obr. 129. Klasická simulace dráhy nástroje v NX.....</i>	97
<i>Obr. 130. Ukázka kontroly správného zanoření nástroje.....</i>	98
<i>Obr. 131. Simulace obrábění s modely nástrojů i strojem .....</i>	99

---

<i>Obr. 132. Pohled do obráběcího prostoru stroje.....</i>	99
<i>Obr. 133. Kontrola hloubky frézování nástroje .....</i>	100
<i>Obr. 134. Kontrola nájezdů nástroje i stroje.....</i>	100
<i>Obr. 135. Post Builder.....</i>	101
<i>Obr. 136. Definování kinematických parametrů stroje .....</i>	101
<i>Obr. 137. Definice základních prvků v hlavičce programu a výstup NC kódu.....</i>	102
<i>Obr. 138. Definice základních, prvků nástroje a výstupů NC kódu .....</i>	103
<i>Obr. 139. Definice lineárního a kruhového pohybu a výstup NC kódu .....</i>	104
<i>Obr. 140. Nastavení souřadnic průměru .....</i>	104
<i>Obr. 141. Definice konce programu a výstup NC kódu .....</i>	104
<i>Obr. 142. Ukázka výstupu z postprocesoru pro jeden nástroj .....</i>	105
<i>Obr. 143. Srovnání modelu a reality .....</i>	106
<i>Obr. 144. Srovnání modelové simulace a reálného obrábění .....</i>	106

## SEZNAM TABULEK

<i>Tab. 1. Přehled vlastností u ocelí</i> .....	26
---	----

## SEZNAM PŘÍLOH

Příloha č. 1. Video prezentace