

# Příprava uživatelského prostředí pro NX CAM

Bc. Tomáš Januška

---

Diplomová práce  
2012



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta technologická

---

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta technologická  
Ústav výrobního inženýrství  
akademický rok: 2011/2012

# ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Tomáš JANUŠKA**  
Osobní číslo: **T10549**  
Studijní program: **N 3909 Procesní inženýrství**  
Studijní obor: **Řízení jakosti**

Téma práce: **Příprava uživatelského prostředí pro NX CAM**

Zásady pro vypracování:

1. Vypracujte literární řešení na dané téma
2. Vytvořte databázi nástrojů pro daný software
3. Naprogramujte postprocesor pro dílenskou dokumentaci (SHOP DOC)
4. Vytvořte úpravu uživatelského prostředí pro nejčastěji používané funkce v NX CAM
5. Vytvořte modul pro simulaci stroje v NX CAM
6. Prostedí ověřte na testovací součásti

Rozsah diplomové práce:

Rozsah příloh:

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

Seznam odborné literatury:

**Dle doporučení vedoucího práce**

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Jakub Černý**

UTB FT Zlín

Datum zadání diplomové práce: **13. února 2012**

Termín odevzdání diplomové práce: **18. května 2012**

Ve Zlíně dne 2. února 2012



doc. Ing. Roman Čermák, Ph.D.

*děkan*



prof. Ing. Berenika Hausnerová, Ph.D.

*ředitel ústavu*

## PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že

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

Ve Zlíně 15. 5. 2012



.....

---

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

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

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

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

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

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

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

(1) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení mají za obvyklých podmínek právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla (§ 35 odst. 3). 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 přihlédne k výši výdělku dosaženého školou nebo školským či vzdělávacím zařízením z užití školního díla podle odstavce 1.

## **ABSTRAKT**

Tato diplomová práce se zabývá přípravou uživatelského prostředí v CAD/CAM systému NX. Vychází z teoretického základu technologie třískového obrábění zejména frézování, v přímé návaznosti na nasazení výpočetní techniky do technické praxe. Praktická část zahrnuje přípravu knihovny nástrojů, tvorbu šablon obráběcích operací, zpracování CAD modelu simulovaného stroje, vytvoření kinematické sestavy a samotnou simulaci CNC programu na virtuálním stroji.

Klíčová slova: obrábění, frézování, stroj, simulace, CAD, CAM, CNC, NC program, NX

## **ABSTRACT**

This master thesis deals with preparation of the user interface in CAD / CAM system NX. Based on the theoretical basis of machining technology in particular, milling, in direct connection with the use of the computer technology in engineering practice. The practical part includes preparation of the tools library, machining operations templates, processing of CAD machine simulation model and creating kinematic assembly for the simulation of the actual CNC program on the virtual machine.

Keywords: machining, milling, machine, simulation, CAD, CAM, CNC, NC program, NX

Děkuji vedoucímu diplomové práce Ing. Jakobovi Černému za odborné vedení, připomínky a cenné rady, které mi poskytl při jejím zpracování. Zároveň bych chtěl poděkovat firmě AXIOM TECH s.r.o., která mi umožnila využít software použitý pro vypracování této diplomové práce.

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

# OBSAH

<b>ÚVOD</b> .....	<b>11</b>
<b>1 TEORETICKÁ ČÁST</b> .....	<b>12</b>
<b>1 ZÁKLADY TRÍSKOVÉHO OBRÁBĚNÍ</b> .....	<b>13</b>
<b>2 TYPY OBRÁBĚNÍ</b> .....	<b>14</b>
2.1 FRÉZOVÁNÍ.....	14
2.2 SOUSTRUŽENÍ.....	16
2.3 BROUŠENÍ.....	17
2.4 VRTÁNÍ .....	19
2.5 HOBLOVÁNÍ A OBRÁŽENÍ.....	20
2.6 PROTAHOVÁNÍ A PROTlačOVÁNÍ .....	21
<b>3 ZÁKLADNÍ TYPY STROJŮ PRO FRÉZOVÁNÍ</b> .....	<b>22</b>
3.1 KONVENČNÍ STROJE.....	22
3.1.1 Konzolové frézky .....	22
3.1.2 Stolové frézky .....	22
3.1.3 Rovinné frézky .....	23
3.1.4 Speciální frézky.....	24
3.2 CNC STROJE.....	24
3.2.1 Frézky.....	24
3.2.2 Soustruhy.....	25
3.2.3 Multifunkční centra.....	26
<b>4 NÁSTROJE PRO FRÉZOVÁNÍ</b> .....	<b>27</b>
<b>5 POČÍTAČOVÁ PODPORA PŘEDVÝROBNÍCH ETAP</b> .....	<b>28</b>
5.1 POPIS ZÁKLADNÍCH CAX SYSTÉMŮ .....	29
5.1.1 CIM systém .....	29
5.1.2 CAD systém .....	30
5.1.3 CAM systém.....	30
5.1.4 CAE systém.....	31
5.1.5 PPS systém .....	31
5.1.6 CAPP systém.....	32
5.1.7 CAPE systém.....	32
5.1.8 CAQ systém .....	33
<b>6 CAD/CAM SYSTÉMY</b> .....	<b>34</b>
6.1 HISTORIE .....	34
6.2 CAD SYSTÉMY .....	37
6.2.1 Neparametrické CAD systémy .....	37
6.2.2 Parametrické CAD systémy .....	38
6.2.3 Asociativní CAD systémy .....	38
6.2.4 CAD systémy se synchronní technologií.....	38



6.3	CAM SYSTÉMY .....	38
6.4	UPLATNĚNÍ CAD/CAM SYSTÉMŮ V OBRÁBĚNÍ.....	39
6.5	STRUKTURA POSTUPU VÝROBY SOUČÁSTI V CAD/CAM SYSTÉMECH .....	39
6.5.1	Od myšlenky k vymodelování součásti .....	39
6.5.2	Od vymodelované součásti k její výrobě.....	40
6.5.3	Postprocessor .....	40
6.5.4	NC program.....	41
<b>II</b>	<b>PRAKTICKÁ ČÁST .....</b>	<b>42</b>
<b>7</b>	<b>PŘÍPRAVA DATABÁZE NÁSTROJŮ V NX.....</b>	<b>43</b>
7.1	MOŽNOSTI SPRÁVY NÁSTROJŮ.....	43
7.1.1	Šablona (Template) .....	43
7.1.2	Knihovna nástrojů .....	44
7.1.2.1	Metody vkládání nástrojů do knihovny .....	44
7.1.2.2	Tvorba nástrojů .....	44
7.1.2.3	Vložení nástroje do knihovny .....	49
7.1.2.4	Použití nástroje .....	50
<b>8</b>	<b>TVORBA POSTPROCESORU .....</b>	<b>52</b>
8.1	ZÁKLADNÍ DEFINICE POSTPROCESORU .....	52
8.2	KONFIGURACE KINEMATIKY A LIMITŮ .....	53
8.3	ROZDĚLENÍ TYPY UDÁLOSTÍ .....	55
8.4	DEFINICE G-KÓDŮ A M-KÓDŮ .....	56
8.5	NASTAVENÍ SEKVENCE VĚTY V NC-KÓDU.....	57
8.6	DETAILNÍ NASTAVENÍ POHYBŮ A CYKLŮ .....	58
8.7	ROZŠÍŘENÉ MOŽNOSTI - PROGRAMOVÁNÍ .....	59
<b>9</b>	<b>TVORBA DÍLENSKÉ DOKUMENTACE.....</b>	<b>61</b>
9.1	NAČÍTÁNÍ HODNOT .....	61
9.1.1	Nástroj .....	61
9.1.2	Operace.....	62
9.2	ZPRACOVÁNÍ DÍLENSKÉ DOKUMENTACE.....	63
<b>10</b>	<b>PŘÍPRAVA UŽIVATELSKÉHO PROSTŘEDÍ NX.....</b>	<b>66</b>
10.1	ROZLOŽENÍ IKON A FUNKCÍ V MENU .....	66
10.1.1	Nastavení prostředí.....	66
10.1.2	Vytvoření „Role“.....	67
10.2	ÚPRAVA MENU OPERACÍ.....	68
10.3	PŘÍPRAVA VZORŮ OPERACÍ.....	72
10.3.1	Připojení vzorů .....	72
10.3.2	Správa vzorů.....	74
<b>11</b>	<b>TVORBA SIMULAČNÍHO MODELU .....</b>	<b>75</b>

11.1	MĚŘENÍ ROZMĚRŮ SKUTEČNÉHO STROJE .....	75
11.2	TVORBA CAD MODELU STROJE .....	76
11.3	VLOŽENÍ KINEMATICKÝCH PODMÍNEK .....	78
11.4	DEFINICE STROJE V NX .....	80
11.5	VKLÁDÁNÍ STROJE DO OPERACÍ NX .....	82
<b>12</b>	<b>PŘÍPRAVA INSTALAČNÍCH BALÍČKŮ .....</b>	<b>84</b>
	<b>ZÁVĚR .....</b>	<b>85</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY .....</b>	<b>86</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK .....</b>	<b>88</b>
	<b>SEZNAM OBRÁZKŮ .....</b>	<b>90</b>
	<b>SEZNAM PŘÍLOH.....</b>	<b>93</b>

## ÚVOD

V moderním výrobním procesu je kladen velký důraz na přesnost a rychlost. Pro splnění těchto hlavních požadavků je nezbytné nasazení CAx/PLM zejména v předvýrobním procesu a CNC stroje ve výrobě.

V první části předvýrobní etapy prochází výrobek vývojem a konstrukcí v CAD systémech. Následuje ověření a analýza pomocí softwarů CAE, které dokážou 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 správnosti dráhy nástroje. Následuje uložení NC-kódu pomocí postprocesoru, tím je zajištěna srozumitelnost instrukcí pro konkrétní stroj.

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 dokonce havárií stroje.

Práce bude pojednávat o přípravě uživatelského prostředí pro CAD/CAM systém NX a to zejména pro část CAM.

## **I. TEORETICKÁ ČÁST**

## 1 ZÁKLADY TŘÍSKOVÉHO OBRÁBĚNÍ

Obrábění je technologický proces, kterým vytváříme povrchy obrobku určitého tvaru, rozměrů a jakosti odebráním částic materiálu mechanickými účinky. [3]

Do technologického procesu obrábění vstupují tři základní součásti obráběcí soustavy:

- stroj
- nástroj
- obrobek.

**Stroj** – má být ideálně tuhý, bez vůlí a vibrací. Všechny pohyblivé části by měly být lehké konstrukce, abychom omezili vliv setrvačných sil. Stroj musí mít dostatečný výkon, otáčky, případně posuvy tak, aby byla zajištěna obrobitelnost.

**Nástroj** – má být dostatečných rozměrů a tuhosti. Pro rotační nástroje je důležité vyvážení, aby byly odstraněny odstředivé síly.

**Obrobek** – musí být pevně upnut. Základní vlastností při třískovém obrábění je řezivost. Je závislá na fyzikálních a mechanických vlastnostech, geometrii břitu, řezných podmínkách a řezném prostředí. Jednoduchým kritériem pro hodnocení řezivosti je závislost mezi časem a řeznou rychlostí.

## 2 TYPY OBRÁBĚNÍ

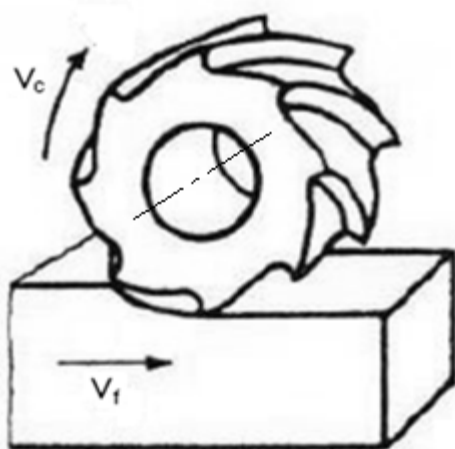
### 2.1 Frézování



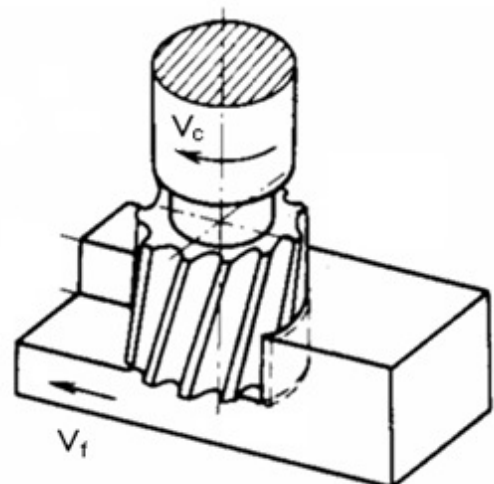
Obr. 1. Frézování [8]

Při frézování je vykonáván hlavní řezný pohyb nástrojem, zatímco obrobek je pevně upnut na pracovním stole. Dle konstrukce stroje vykonává vedlejší pohyb nástroj, případně obrobek spolu se stolem stroje. V průběhu obrábění je břit v záběru pouze v určité fázi otáčky nástroje.

Základní rovinné frézování se rozděluje na válcové a čelní.



Obr. 2. Válcové frézování [7]

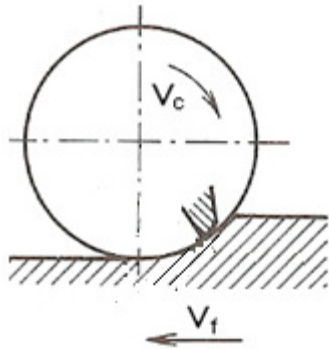


Obr. 3. Čelní frézování [21]

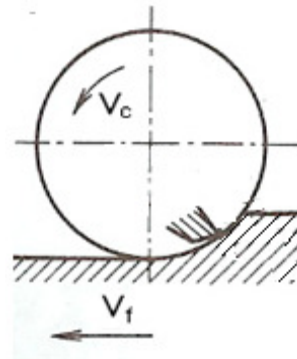
Další rozdělení je dle směru otáčení nástroje vůči obrobku:

- sousledné – fréza se otáčí ve směru posuvu
- nesousledné – fréza se otáčí proti směru posuvu

Tyto rozdílné metody obrábění mají zásadní vliv na rozložení sil při úběru materiálu (rázy), také na výslednou přesnost a kvalitu povrchu.



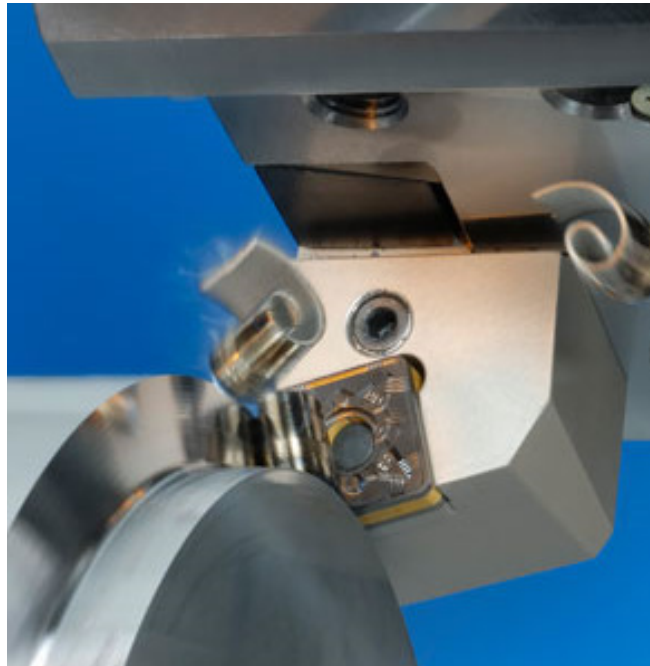
Obr. 4. *Sousledné frézování [2]*



Obr. 5. *Nesousledné frézování [2]*

Frézováním lze vyrábět rovinné, válcové i tvarové povrchy. S nástupem CNC strojů se tato technologie stává nejdůležitější metodou třískového obrábění. K rozšíření možností přispívá i rozšíření kontinuálně pracujících pětiosých CNC strojů.

## 2.2 Soustružení



*Obr. 6. Soustružení [8]*

Při soustružení se obrobek otáčí, zatímco nástroj obvykle vykonává přímočarý pohyb (obr. 2). V průběhu obrábění je břit nástroje neustále v záběru. Při kopírovacím soustružení dochází k pohybu nástroje souběžně v ose obroku i kolmo na tuto osu.

Obvodová rychlost obrobku je řeznou rychlostí, kterou lze vypočítat dle vztahu (1):

$$v_c = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000} \quad (1)$$

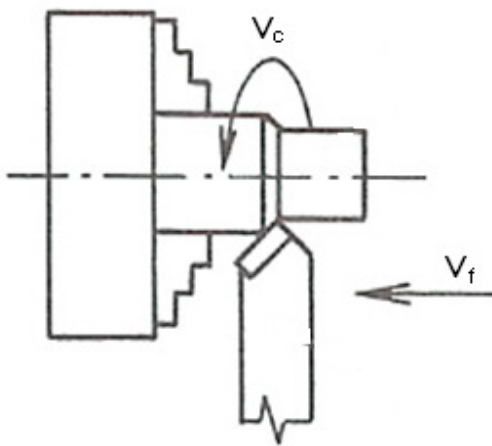
kde

$v_c$  ..... řezná rychlost [ $\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$ ]

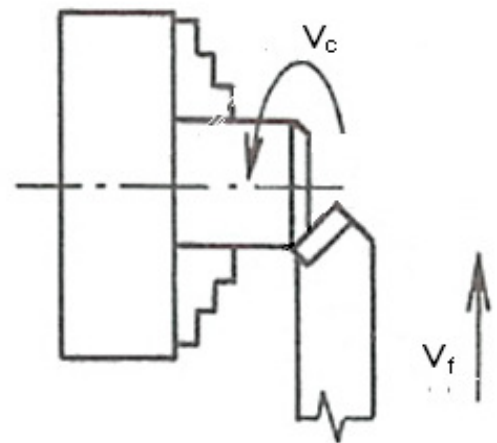
$D$  ..... průměr obráběné plochy [mm]

$n$  ..... počet otáček [ $\text{min}^{-1}$ ]





Obr. 7. Podélné soustružení [2]



Obr. 8. Příčné soustružení [2]

Soustružením lze obrábět vnější i vnitřní válcové plochy, vnější i vnitřní kuželové plochy, tvarové i obecné plochy rotačních součástí.

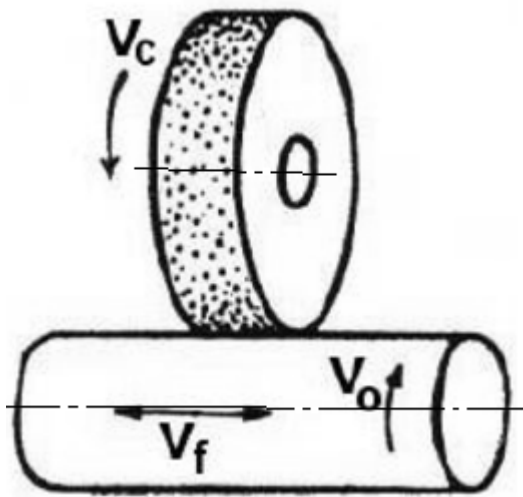
Dále můžeme na soustruzích provádět vrtání, vystružování, řezání závitů, vroubkování, válečkování atd.

### 2.3 Broušení

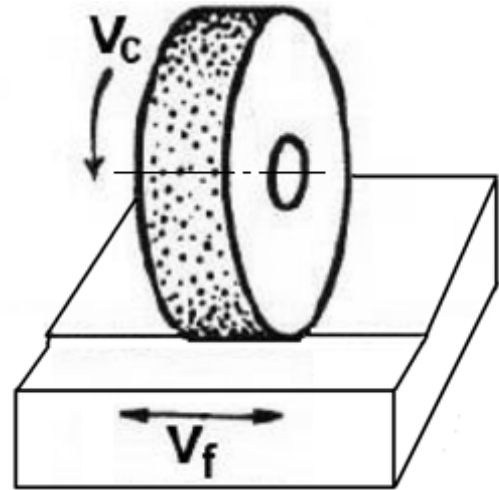


Obr. 9. Broušení [10]

Používá se k dokončování povrchů a velmi se podobá frézování. Břity jsou tvořeny zrna brusiva umístěnými na kotouči. Jejich tvar a rozmístění je nepravidelné. Zrna mají velikost 0,003 až 3 mm. Mají obvykle záporný úhel čela a velký úhel hřbetu. Jejich dobré řezné vlastnosti jsou způsobeny velkými řeznými rychlostmi, díky nimž dochází k vývinu velkého množství tepla, které je nutno odvádět kvůli nepříznivému ovlivnění obráběného povrchu.



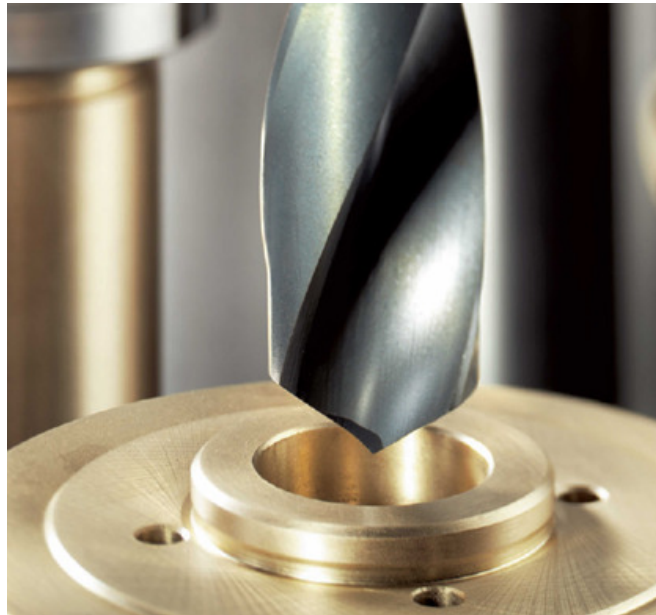
Obr. 10. Broušení válcových ploch [7]



Obr. 11. Broušení rovinných ploch [7]

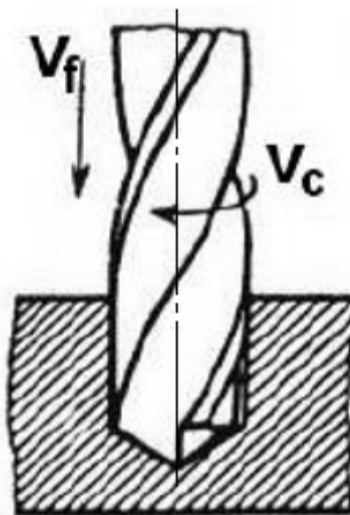
Broušením lze obrábět vnější i vnitřní válcové plochy, vnější i vnitřní kuželové plochy, rovinné plochy, kulové plochy. Dle konstrukce stroje a tvaru brusného kotouče lze brousit i velmi komplikované plochy např. obráběcí nástroje.

## 2.4 Vrtání



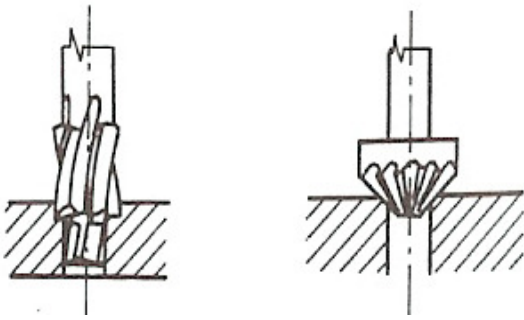
Obr. 12. Vrtání [9]

Při vrtání vykonává obvykle hlavní rotační pohyb nástroj. Vedlejší pohyb, obvykle přímočarý, může vykonávat jak nástroj, tak obrobek dle konstrukce stroje. Vrtání lze provádět také na soustruzích, v tomto případě se otáčí obrobek.

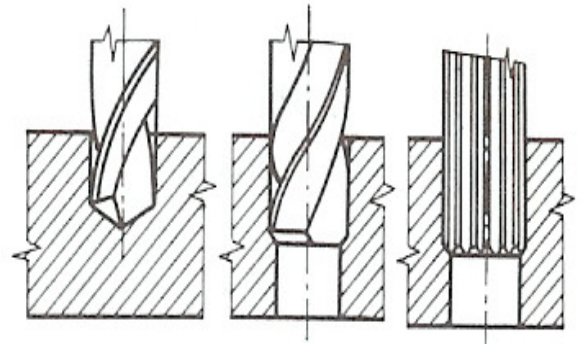


Obr. 13. Vrtání [22]

Do této kategorie obrábění patří principiálně podobné technologie jako např. vyvrtávání, vyhrubování, vystružování, zahlubování a vrtání závitů.

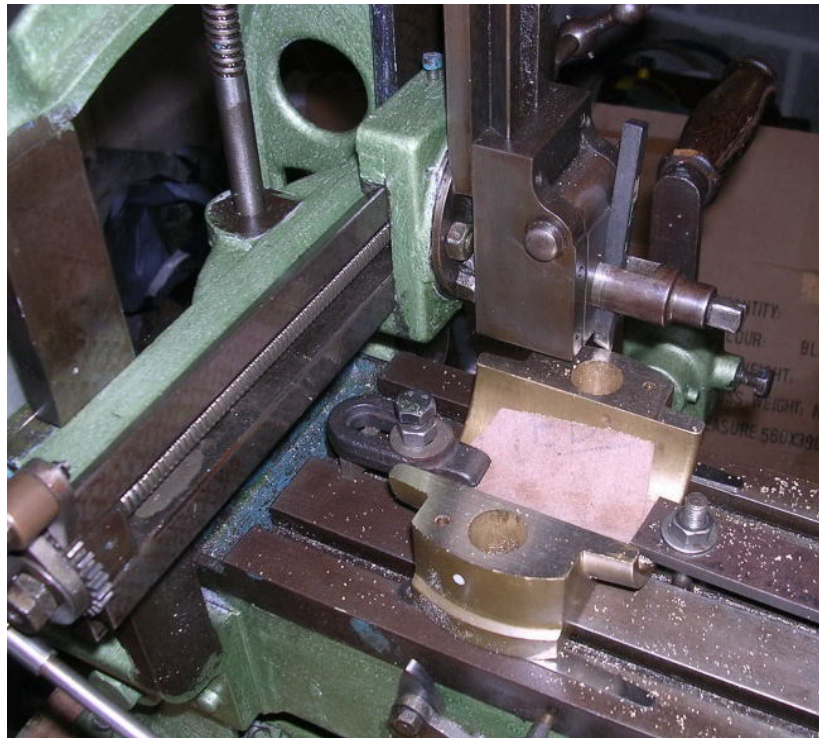


Obr. 14. Zahlubování pro šrouby [2]



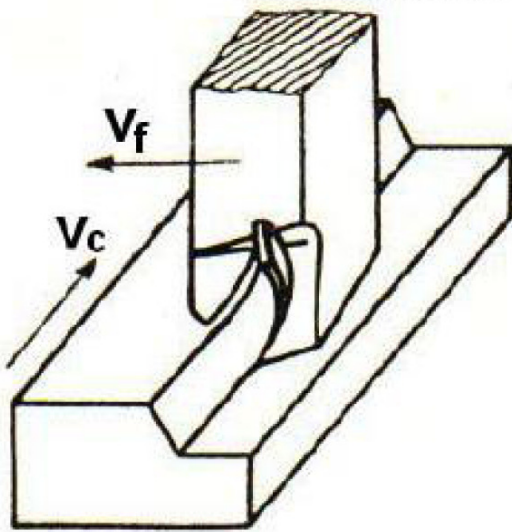
Obr. 15. Obrábění přesné díry [2]

## 2.5 Hoblování a obrážení

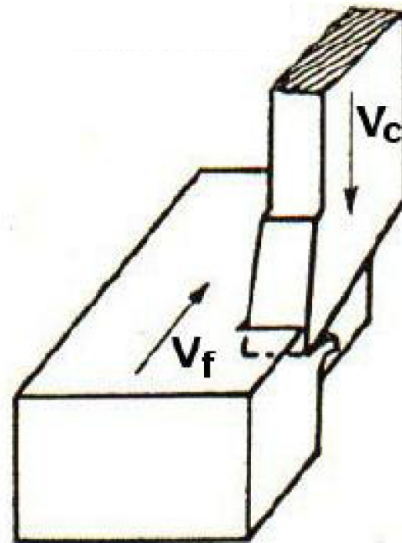


Obr. 16. Hoblování [11]

Při hoblování vykonává hlavní řezný pohyb, obvykle přímočarý vratný, obrobek. Oproti tomu u obrážení je tento pohyb vykonáván nástrojem upnutým ve smýkadle stroje.



Obr. 17. Hoblování [7]

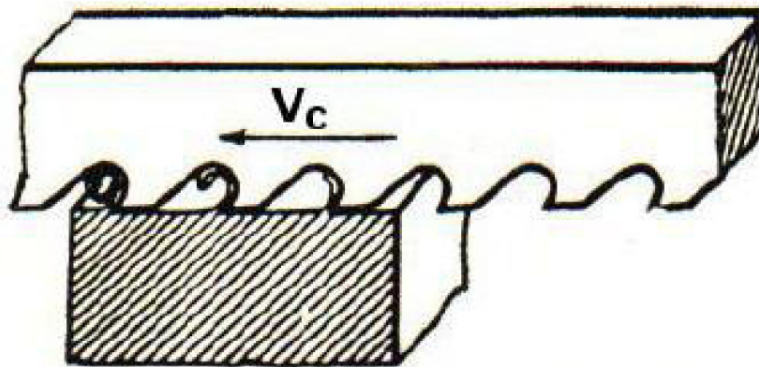


Obr. 18. Obrážení [7]

Nejčastěji se používají jednobřité nástroje. Výhodou této technologie je jednoduchá konstrukce stroje i nástroje. V současnosti je tato metoda vytlačována frézováním.

## 2.6 Protahování a protlačování

Hlavní přímočarý řezný pohyb vykonává mnohobřitý nástroj. U protahování je tažen, u protlačování je tlačěn. Jednotlivé zuby nástroje jsou výškově odstupňovány tak, že každý následující je o posuv na zub větší. Poslední zub obvykle povrch vyhlazuje nebo zpevňuje.



Obr. 19. Protahování [7]

Lze obrábět vnitřní i vnější plochy. Tvar obrobku je vždy dán tvarem břitu. Typickou součástí vyráběnou touto metodou je drážka pro pero.

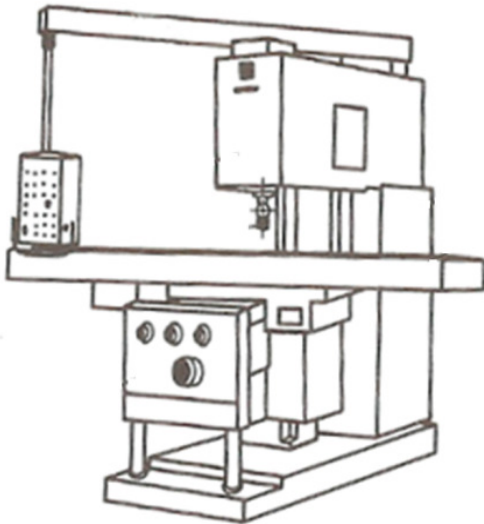
### 3 ZÁKLADNÍ TYPY STROJŮ PRO FRÉZOVÁNÍ

#### 3.1 Konvenční stroje

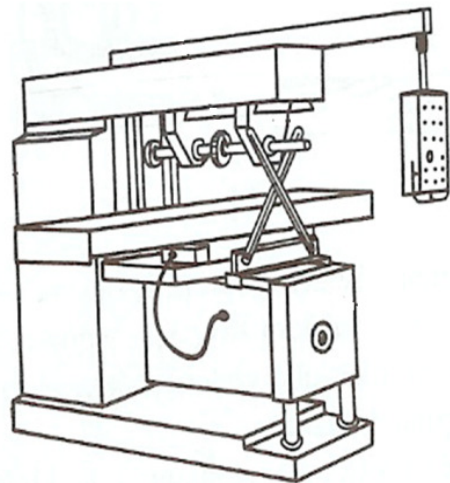
##### 3.1.1 Konzolové frézky

Tento druh frézky má výškově stavitelnou konzolu, na které je uložen pracovní stůl ovládaný ve dvou na sebe kolmých osách. Všechny vedlejší pohyby vykonává obrobek. Stroj je používán zejména v kusové a malosériové výrobě menších dílců.

Konzolové frézky se dále dělí na vodorovné, svislé a univerzální.



Obr. 20. Svislá konzolová frézka [2]

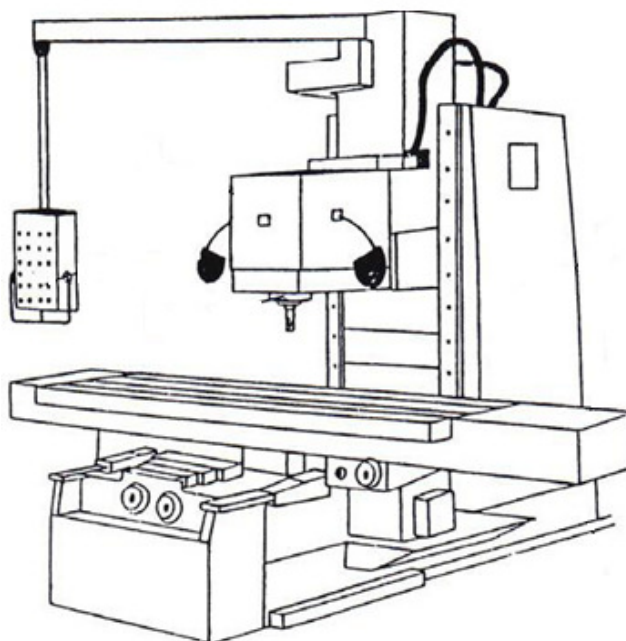


Obr. 21. Vodorovná konzolová frézka [2]

##### 3.1.2 Stolové frézky

Frézky tohoto typu mají stůl pohyblivý ve dvou horizontálních osách. Posuv ve svislém směru je zajištěn vřetenem. Díky této koncepci lze obrábět i velmi těžké součásti při dodržení vysoké přesnosti.

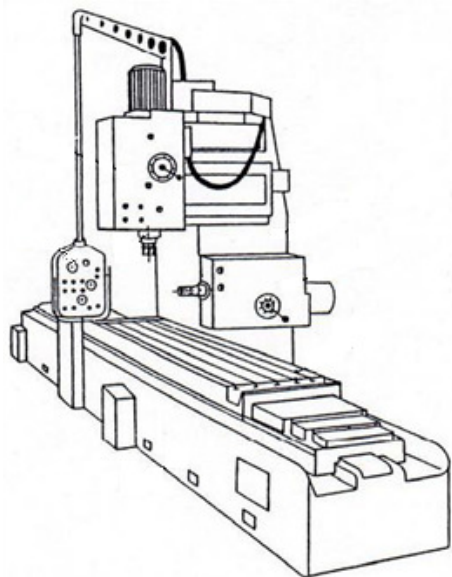
Stroje se vyrábí jako vodorovné (horizontální) nebo svislé (vertikální).



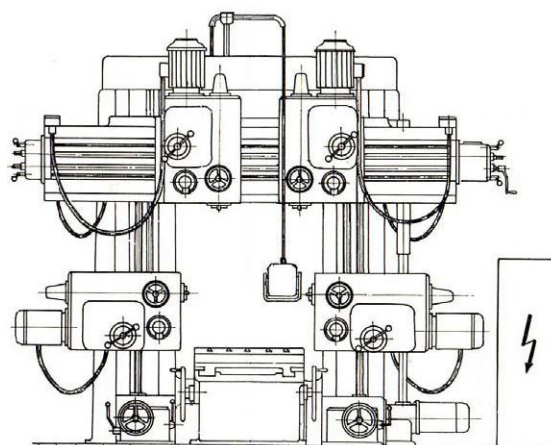
Obr. 22. Stolová frézka [7]

### 3.1.3 Rovinné frézky

Tyto stroje jsou vhodné pro nejtěžší obrobky velkých rozměrů. Stůl vykonává pohyb obvykle pouze v jedné ose. Zbylé pohyby vykonává vřeteno. Frézky jsou koncipovány jako vodorovné, svislé, případně jsou to stroje osazené oběma typy vřetene. Tato obráběcí zařízení velkých rozměrů se vyrábí jako portálové.



Obr. 23. Rovinná frézka [7]



Obr. 24. Rovinná portálová frézka [7]

### 3.1.4 Speciální frézky

Obráběcí stroje jsou určené pro specifický typ výroby. Ve většině případů slouží jen k jednomu účelu. Velmi často je jejich vývoj ovlivněn konkrétními potřebami jejich uživatelů.

## 3.2 CNC stroje

CNC stroje se od konvenčních liší zejména v ovládní posuvů. Motory jednotlivých pohybových os jsou ovládány počítačem. Díky tomu je zajištěn dokonalý souběh os a velmi přesné polohování.

Jejich součástí bývají velmi často měřicí sondy pro ustavení obrobku a kontrolu rozměrů nástroje. Urychlení a zpřesnění výroby umožňují robotické podavače a zakladače obrobku. Drtivá většina strojů obsahuje zásobník nástrojů. Díky všem těmto funkcím je možno docílit bezobslužného provozu.

### 3.2.1 Frézky

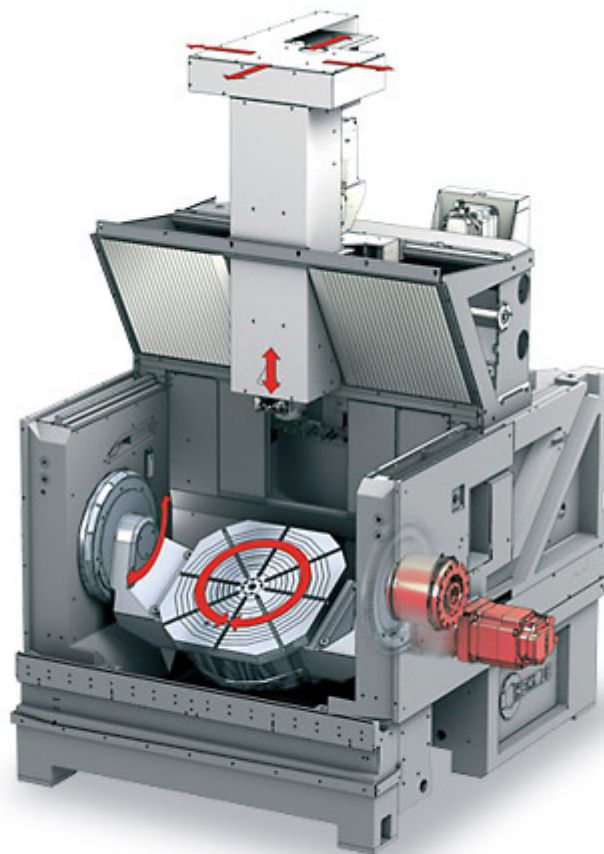
V základních konstrukčních typech se příliš neliší od konvenčních strojů. Díky větším nárokům na moderní výrobu a také dokonalejšímu řízení pohonů a polohování CNC strojů jsou však přidávány další plynule řízené osy (nejčastěji dvě rotační).

Rotace může probíhat kolem základních os stroje (X,Y,Z), pak jsou na sebe tyto pohyby kolmé a jejich označování je svázáno s rovinou, v níž probíhá. V rovině XZ je rotační osa označena A, v rovině YZ je to B a pro XY se značí C. Nezřídka se vyskytují i stroje, které mají jednu rotační osu umístěnou na obecném vektoru.

Dále je možno rozlišovat pětiosé stroje podle toho, zda rotační pohyb 4. a 5. osy vykonává vřetenem nebo stůl. Případně může jednu rotační osu vykonávat vřetenem a druhou stůl.

Všechny tyto konstrukční varianty i rozměrové řady mají velké opodstatnění při volbě stroje pro daný typ výroby.





Obr. 25. Pětiosá frézka Hermle C30/C40 [6]

### 3.2.2 Soustruhy

Hlavním konstrukčním rozdílem v porovnání s konvenčním strojem je umístění nožové hlavy, resp. revolveru. U konvenčního stroje je zpravidla umístěn v přední části tzv. mezi obsluhou a vřetenem, případně naproti vřeteně. U CNC soustruhu bývá nožová hlava za vřetenem, nezřídkna na šikmém pojezdovém loži. Toto uspořádání zabezpečuje snadnější přístup k pracovnímu prostoru a celkově lepší přehled při provádění operací.

Soustruhy mohou být v různých konfiguracích např. dvě vřetena, dvě nožové hlavy atd.



Obr. 26. CNC soustruh MAZAK Quick Smart 200 [12]

### 3.2.3 Multifunkční centra

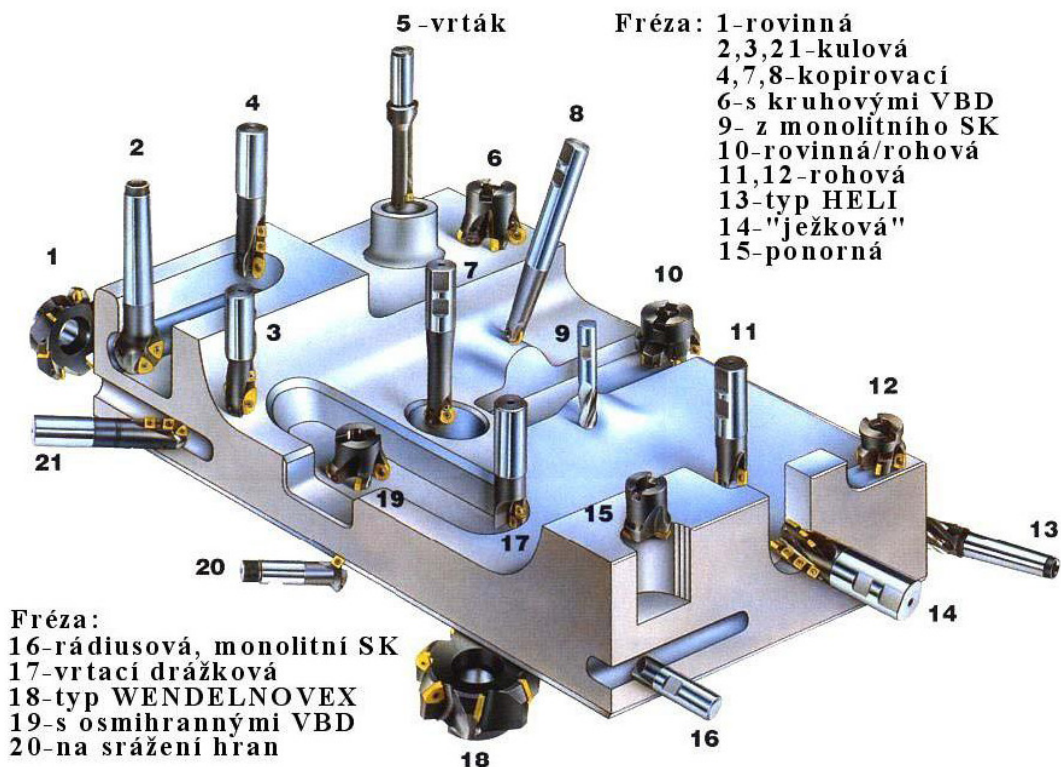
Za multifunkční centra jsou považovány stroje, které umožňují provádět obrábění pomocí různých technologií. Typicky soustružení-frézování nebo soustružení-broušení atd.

Většina multifunkčních strojů je v principu podobna soustruhu. Nejsofistikovanější soustružnicko-frézovací centra mají dvě vřetena, spodní nožovou (revolverovou) hlavu a horní frézovací hlavu. Vřeteno bývá pohyblivé podél své osy rotace. Tím je zajištěno předávání obrobku, zvýšení tuhosti díky současnému upnutí na obou stranách nebo jeho povytažení.



Obr. 27. Multifunkční centrum MAS MULTICUT 500 [13]

## 4 NÁSTROJE PRO FRÉZOVÁNÍ



Obr. 28. Frézy firmy Walter [7]

Frézy patří mezi několikabřité nástroje, na nichž jsou břity uspořádány podle tvaru, tedy válcové, kuželové nebo jiného tvaru. U čelních fréz jsou i na jejím čele. Vzhledem k velkému rozsahu technologie se používá velmi mnoho druhů fréz, z nichž většina je normalizovaná. [7]

Frézy můžeme rozdělovat podle:

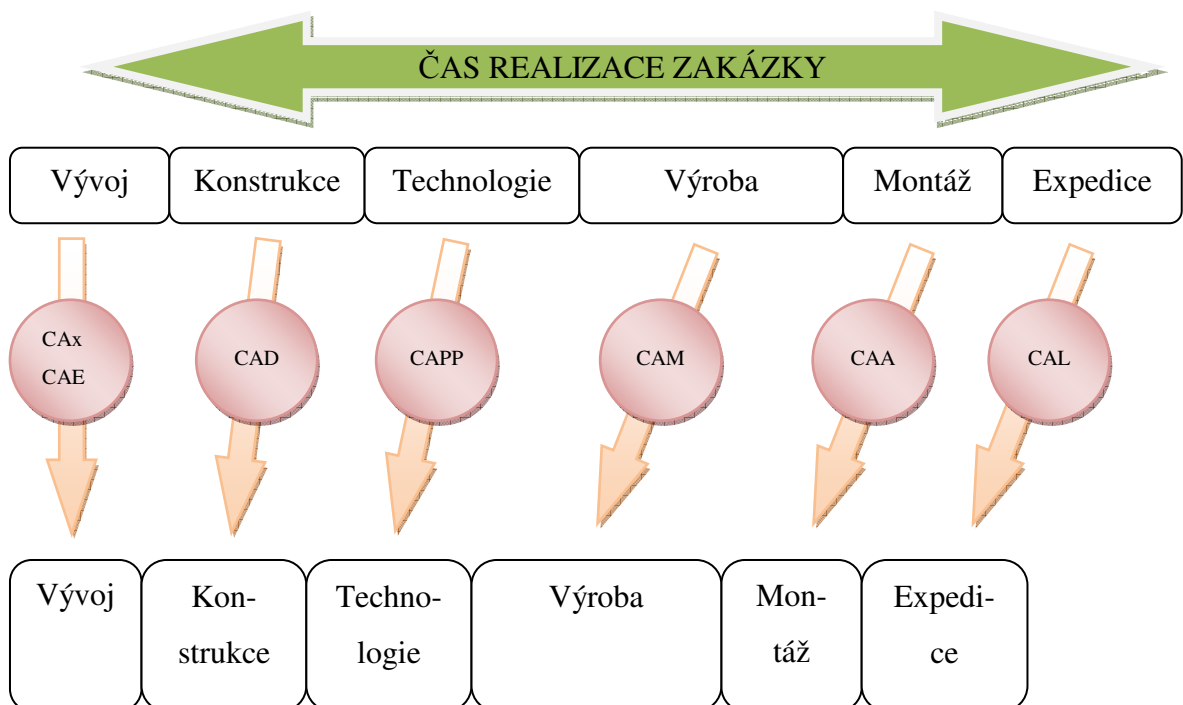
- plochy, na které leží ostří – čelní, válcové, válcové-čelní
- druhu materiálu – rychlořezné oceli, slinuté karbidy, cermety, řezné keramiky, KNB, PKD atd.
- způsobu výroby zubů – frézované, broušené a podsoustružované
- směru zubů – přímé, ve šroubovici, pravé, levé
- počtu zubů k ose rotace – jemnozubé, polohrubozubé a hrubozubé
- konstrukčního tvaru funkční části – válcové, kotoučové, úhlové, drážkovací, kopírovací, rádiusové atd.
- způsobu upnutí – nástrčné, stopkové, s kuželovou stopkou [7]

## 5 POČÍTAČOVÁ PODPORA PŘEDVÝROBNÍCH ETAP

Počítačové systémy jsou v současnosti využívány ve všech předvýrobních oblastech výroby – od vývoje a návrhu součásti, plánování výroby, až po samotnou výrobu a montáž i expedici. Používají se dle požadavků a potřeb různých odvětví průmyslu. Umožňují urychlit a zjednodušit především tzv. inženýrské činnosti jako jsou tvorba 3D modelů a výkresů, dimenzování, provádění analýz, projektování, ale i různé administrativní činnosti jako např. vyhledávání, archivace atd. [17]

Obecně se počítačová podpora označuje jako CAx. Zkratka CA (Computer Aided) naznačuje, že činnost, metoda, technik, nebo systém je počítačem podporován. [17]

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. 29. CAx systém a čas realizace zakázky [17]

Realizace výroby součásti je chápána jako souhrn všech přípravných a realizačních prací podílejících se na zhotovení výrobku do konečné podoby dané technickou dokumentací je možno rozdělit do dvou etap:

- etapa vývojová – návrh a plánování
- etapa technologická – realizační

## 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. [15]

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]

### 5.1.1 CIM systém

*CIM* (Computer Integrated Manufacturing) = výroba integrovaná počítačem

Tento systém zahrnuje řízení celého výrobního podniku. Využívá ve všech fázích výroby počítačovou podporu. Jeho funkcí je zastřešit všechny předchozí moduly od CAD přes CAM, CAE a koordinovat tok informací skrze celý výrobní proces. Jedná se o nasazení informační technologie do všech činností výrobní a inženýrské praxe, od návrhu a tvorby výrobku, až po jeho expedici. [15]

Cílem zavádění výroby integrované počítačem je:

- snížení materiálové a energetické náročnosti
- zvýšení produktivity práce
- snížení předzásobení
- zkrácení průběžné doby vývoje a výroby
- zvýšení časového a výkonového využití výrobních zařízení
- zvýšení kvality výrobků a výroby

Počítačem integrovaná výroba byla poprvé definována v roce 1973 Josephem Harringtonem v knize "Computer Integrated Manufacturing". Myšlenka tenkrát vzbudila mimořádnou pozornost. Všeobecně představovala novou filozofii řízení celého podniku [18]

### 5.1.2 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. [19]

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. [19]

### 5.1.3 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. [15]

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. [15]

Zvláštní kapitolou CAM systémů je programování výrobních robotů. Na rozdíl od NC strojů, výrobní roboti řeší transport zpracovávaného materiálu mezi jednotlivými výrobními operacemi, způsob uchopení na výrobních strojích, sestavování vyráběné součásti z jejich jednotlivých částí, přesun „do“ a „z“ mezikladu apod. [15]

S programováním výrobních robotů souvisí následující moduly:

- CATS (Computer Aided Transport and Store) = počítačová podpora řízení dopravy a skladů
- CAA (Computer Aided and Assembly) = počítačová podpora montáže výrobků
- CARC (Computer Aided Robot control) = počítačová podpora řízení a programování robotů a manipulátorů

#### 5.1.4 CAE systém

CAE (Computer Aided Engineering) = počítačem podporované inženýrství

CAE systém se zabývá analýzou geometrických dat získaných v CAD návrhu. Umožňuje simulovat a studovat navržený objekt v extrémních pracovních podmínkách, pro které je tvořen, a následně odhalit chyby, které ovlivňují jeho funkci. [15]

Součásti lze zkoumat nejen jako statické, ale je možné je takzvaně „rozpohybovat“ a následně prověřovat jejich kinematiku a dynamiku. Některé systémy mohou používat metodu konečných prvků, výpočty přenosů tepla apod. [15]

#### 5.1.5 PPS systém

PPS (Production Planning Systems) = výrobně plánovací systémy

Jedná se o využití počítače pro celou paletu úloh plánování a řízení výroby. Úkolem je zabezpečit vlastní výrobu tak, aby byla optimální z kapacitního, ekonomického a z časového hlediska podle potřeb obchodních útvarů. [15]

Systémy plánování a řízení výroby jsou v anglické a americké literatuře nejčastěji prezentovány pod označením:

- PPC (Production Planning and Control)
- MRP (Manufacturing Resource Planning)

- PMS (Production Management System)

Z porovnání PPS systémů vyplývá, že většina z nich je stále založena na principu MRP a málo se využívají jiné, modernější přístupy k řízení výroby (např. simulační metody, BOA, TOC apod.) [20]

Ve světě se důrazně prosazují grafické systémy pro podporu dílenského řízení. V současné době se dílenské plánování pomocí grafických plánovacích tabulí (GPT) doplňuje i o grafické BDE/MDE/BDV. Tyto systémy poskytují on-line grafické znázornění aktuální situace v dílně (stavy jednotlivých strojů), kapacitní a termínové plánování pomocí grafické plánovací tabule a rozsáhlé vyhodnocovací funkce (přehledy o provozu strojů a spotřebě materiálu, vyhodnocování zakázek, analýza silných a slabých stránek, vyhodnocení poruch atd.). Rovněž nabízejí rozhraní k CAQ systémům (např. pro kontrolu intervalů měření) a zpětnou vazbu na PPS systémy. [15]

Zmíněné grafické systémy pro podporu dílenského řízení v propojení s DNC systémy a dílenskými informačními systémy tvoří účinnou řídicí a podpůrnou koncepci na úrovni dílny, která se stává důležitým a nedílným článkem celého informačního řetězce podniku. [15]

### 5.1.6 CAPP systém

CAPP (Computer Aided Process Planning) = počítačová podpora návrhu a tvorby technické dokumentace

Modul pracuje na základě konstrukční dokumentace, respektive CAD dat, při návrhu technologické dokumentace, včetně výběru strojů a zařízení pro výrobu. Výstupem mohou být různé formy technologické dokumentace (slovní, obrázkové, technologické postupy), NC programy. CAPP tvoří důležité propojení mezi CAD/CAM systémy. [19]

### 5.1.7 CAPE systém

CAPE ( Computer Aided Production Engineering ) = počítačová podpora výrobního inženýrství, také překládáno jako Počítačem podporované technologie výroby

CAPE tvoří subsystém počítačové integrované výroby CIM. Zahrnuje počítačovou podporu všech činností spojených s výrobou součástky např. programování výrobní techniky, obslužných, dopravních a skladovacích zařízení, měření, zkoušení a diagnostiku součástí. Lze



dosáhnout zkrácení času uvedením výrobku na trh, zvýšení kvality a snížení nákladů výroby. [19]

Pro tvorbu technologického postupu se často využívají znalostní databáze, ve kterých jsou uloženy veškeré potřebné informace (podnikové metody a postupy, nástroje, přípravky, stroje atd.). Systém automaticky provede návrh minimálního počtu upnutí s přihlédnutím ke geometrii obrobku a možnostem stroje, návrh vhodného nástroje včetně jeho upnutí, návrh optimálního postupu obrábění a bezkolizní vygenerování dráhy nástroje včetně optimálních posuvů a rychlostí. Uživatel má však většinou možnost ruční zásahy do provedených návrhů (např. korekce nástroje apod.). Výsledkem je technologický postup, NC program, seznam použitých nástrojů, odhad nákladů a potřebného strojního času. [15]

### 5.1.8 CAQ systém

CAQ (Computer Aided Quality) = počítačová podpora řízení kvality výroby

CAQ představuje nástroj, který vstupuje do procesu technické přípravy a vlastní výroby. Jde o zabezpečení kontroly výrobku a řízení kvality výroby. Mezi hlavní úkoly kontroly patří prověřování výrobních plánů, kontrola výrobní dokumentace, technická diagnostika výrobních zařízení a automatizovaná výstupní kontrola. Cílem je zvýšit kvalitu výrobku vlastního výrobního procesu a zkrátit zpětné působení vyhodnocených jakostních parametrů na výrobní a předvýrobní etapy. [15]

## 6 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. vstřikovací forma, vázán na jednu osobu. Díky tomu je možno provádět práce souběžně a výrazně tak zkrátit předvýrobní etapu zakázky.

### 6.1 Historie

**1950** - vynález světelného pera. Namalovaný obraz zůstával elektrostaticky zachycen na stínítku obrazovky, která sloužila zároveň jako paměť. Tento vynález našel praktické uplatnění u protivzdušné obrany. [5]

**1957** – Dr. Patrick J. Hanratty (považovaný za otce CAD CAM) vyvinul **PRONTO** – první číslicově řízený CAM programovací systém. [5]

**1959** - Stromberk Carlson vyvinul systém pro zápis grafiky na pásku umožňující její načtení na obrazovku nebo vykreslení na speciální papír. [5]

**1959** - John McCarthy vymyslel **LISP** (v AutoCADu dodnes používaný programovací jazyk). [5]

**1959** - Ivan Sutherland (MIT's Lincoln Laboratory) vytvořil na počítači TX-2 program **SKETCHPAD** demonstrující základní principy realizovatelnosti počítačového technického kreslení. Tento produkt je považován za první krok směřující k CAD systému. [5]

**1961** – Firma Boeing zavádí do výroby první číslicově řízený stroj (NC) [6]. Záznam NC-kódu byl na děrné štítky a děrné pásy. Tato metoda přenosu a ukládání dat se ve výrobních

provozech udržela velmi dlouho, díky své nenáročnosti na kvalitu prostředí (prach, vibrace, mastnota atd.).

**1964** – Byl uvolněn první komerčně dostupný CAD systém.

General Motors Research Laboratories vyvinul systém pojmenovaný názvem **DAC** (Design Automated by Computer). Jednalo se o první CAD/CAM systém používající interaktivní grafiku (umožňoval zadávat popis automobilu, rotaci a pohled pod různými úhly). [5]



*Obr. 30. CAD systém DAC [5]*

**1965 - 1971** – V tomto období bylo vyvinuto několik CAD systémů zejména pro letecký a automobilový průmysl. Některé byly uvolněny pro komerční použití. Mezi nejvýznamnější patřily: CADD, PDGS, Applicon, Auto-trol. [5]

**1972** - Společností **SynthaVision** z MAGI (Mathematics Application Group, Inc.) byl vydán první objemový 3D modelovací program. Nebyl to sice CAD software, ale program pro vykonávání analýz nukleárního radiačního záření. V něm byly objemové 3D modely podobné modelům v budoucích 3D CAD systémech. [5]

Společnost **MCS** uvolnila svůj první CAD nazvaný **ADAM** (Automated Drafting and Machining). Fungoval na 16-bit. počítačích. Jeho rozhraní již bylo řízené prostřednictvím menu. [5]

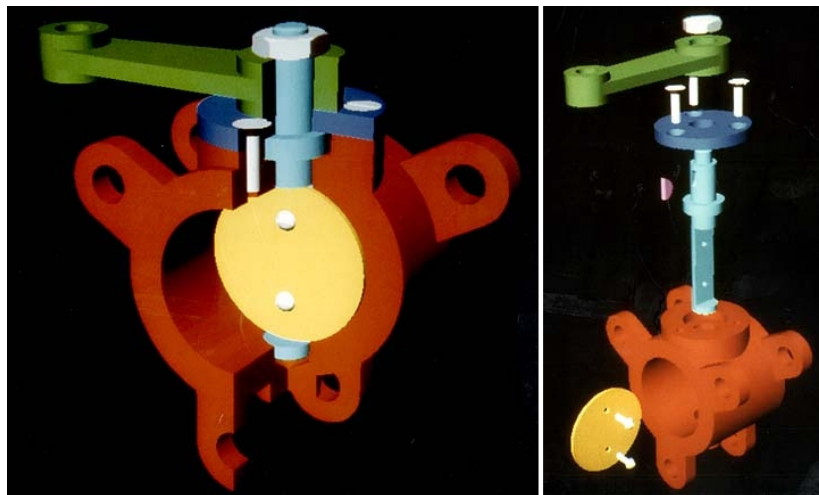
**1973** – United Computing představila systém **UNI-GRAPHICS**. Software disponoval základními 2D možnostmi. [5]



Obr. 31. CAD/CAM systém UNI-GRAPHICS [5]

**1977** – Avions Marcel Dassault začala vyvíjet předchůdce systému CATIA nazvanou **CATI**. Hlavní výhodou oproti konkurenčním systémům byl skutečný vstup do 3D modelování. [5]

**1981** - **UNI-GRAPHICS** představil objemový modelovací systém **UniSolid**. Byl založen na objemovém jádru **PADL-2** [5]



Obr. 32. Objemový modelář UniSolid [5]

**1982** – Byl uvolněn první **I-DEAS** (společností **SDRC**)

John Walker spolu s patnácti lidmi založil **Autodesk** (z počátku nazvanou Marin Software Partners). Jejich hlavní myšlenka byla vytvořit CAD program s cenou 1000 USD použitelný na PC. Jedním z cílů bylo vyvinout CAD systém tak otevřený, jak jen to půjde. [5]

**1985** -Společnost **Matra Datavision** (založena r. 1980) vydala svůj objemový modelovací systém **Euclid-IS** používající unikátní hybridní modely. [5]

**1988** - Společnost **PTC** spustila komerční prodej parametrického systému **Pro/ENGINEER**. [5]

**1989** – Pro systém UNI-GRAPHICS bylo vyvinuto nové jádro PARASOLID, které je dodnes základem mnoha CAD systémů. [5]

**90. léta** – toto období je charakteristické dvěma velkými změnami.

Společnosti vyvíjející CAD systémy se oddělují od automobilového a leteckého průmyslu a staly se samostatnými komerčními společnostmi. Taktéž došlo k mnoha spojením a zánikům různých CAD systémů.

Druhým významným krokem byla možnost nasazení systému na platformě Windows NT, která již zaručovala dostatečnou míru stability. [5]

**1994** – Na trhu se objevuje **Solid Works**, který se postupem času zařadí na úroveň středních CAD systémů. [5]

**1996** – Intergraph představuje **Solid Edge**, který se stane přímým konkurentem Solid Works. [5]

**Současnost** – oblast CAD se ohraničila do jasně vymezených skupin. Řešení nejvyšší třídy tvoří softwary CATIA, NX (UNI-GRAPHICS), PRO/ENGINEER. Střední třídu tvoří SOLID WORKS , SOLID EDGE a INVENTOR.

## 6.2 CAD systémy

CAD (Computer Aided Design), tedy počítačová podpora designu, lépe podpora konstrukce - tyto počítačové systémy jsou k 2D a 3D návrhu součástí. Je možné rozdělit do 4 základních skupin:

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

### 6.2.1 Neparametrické 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 ne-

výhodou 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.

### 6.2.2 Parametrické CAD systémy

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

### 6.2.3 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.

### 6.2.4 CAD systémy se synchronní technologií

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

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.

## 6.3 CAM systémy

CAM (Computer Aided Manufacturing) tedy počítačová podpora obrábění. 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.

## 6.4 Uplatnění CAD/CAM systémů v obrábění

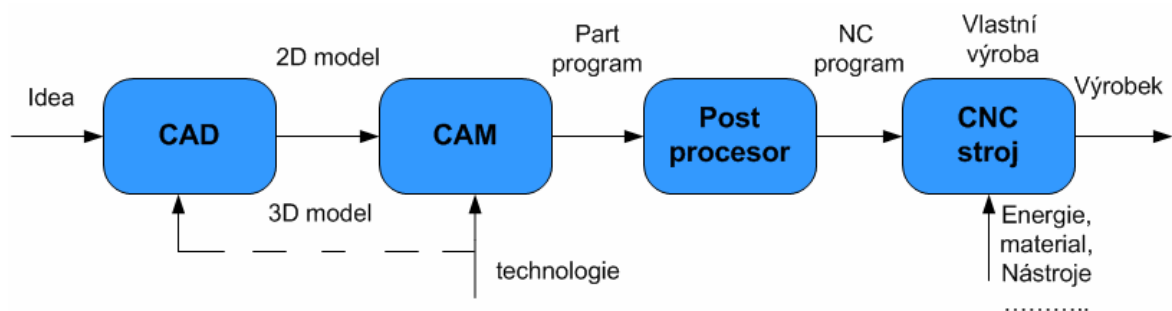
Mnoho velkých i malých firem, ale také i soukromníků se snaží v současné době zavést do výrobního procesu počítačem řízené obráběcí stroje. Nutnost tohoto kroku vysvětluje konkurenční prostředí. Produktivita, efektivnost, přesnost a rychlost výroby jsou rozhodující existenční faktory firmy. [15]

Hlavní uplatnění CAD/CAM systémů je v oblasti výroby forem, zápusťek a jiných tvarově složitých součástek v různých odvětvích strojírenského průmyslu. [15]

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. [15]

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

Strukturu výroby součástí 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. 33. Hierarchie výroby součásti pomocí CAD/CAM systémů [ 23 ]

### 6.5.1 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.

### 6.5.2 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 partprogram. [15]

Partprogram 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 partprogramu je třeba vycházet z těchto údajů:

- 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 součástí)
- 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]

### 6.5.3 Postprocesor

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 a rychlosti posuvu a je prováděn výstup řídicího programu na některém nositeli informací v kódu a formátu bloku, ve kterém pracuje řídicí systém CNC stroje. [15]



#### 6.5.4 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 a představuje 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 se používaly 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]

## **II. PRAKTICKÁ ČÁST**

## 7 PŘÍPRAVA DATABÁZE NÁSTROJŮ V NX

V průběhu přípravy NC-kódu jsou některé činnosti, které se neustále opakují. Tyto úkony lze zoptimalizovat, práce je poté rychlejší a odpadá možnost vzniku chyb. Jednou z těchto činností je tvorba nástrojů.

### 7.1 Možnosti správy nástrojů

V CAM aplikaci NX je možno řešit ukládání a znovupoužití nástrojů dvěma hlavní způsoby, které mají rozličný způsob tvorby a využití. Každý ze způsobů má své klady a zápory.

#### 7.1.1 Šablona (Template)

První z metod je založena na šablonách (template). Principiálně se jedná o metodu práce, při které uživatel na začátku své práce otvírá 3D model obráběné součástky a k ní přednastavenou šablonu.

Šablona je tvořena přímo v prostředí NX. Jedná se o soubor typu „PRT“, který se nijak neliší od souborů vzniklých při tvorbě NC operací. Uživatel vytvoří soubor, kde jsou definovány nástroje používané ve výrobě včetně všech potřebných parametrů. Mimo běžné rozměrové hodnoty je možno definovat i např. číslo nástroje, číslo nebo hodnotu korekce, katalogové číslo atd.

Při tomto způsobu práce je ideální, pokud nástroj obsahuje rovnou i definici držáku nástroje. Podmínkou tohoto použití je dodržování technologické kázně ve výrobě, což znamená, že konkrétní nástroj s daným číslem musí být vždy upínán do stanoveného držáku. Pokud bude stejný nástroj upnut v jednom případě, např. do kleštiny a v druhém do termoupínače, musí se lišit číslem nástroje.

NX v tomto způsobu práce také umožňuje nastavení zásobníku nástrojů a definici pozic tohoto zásobníku. Je možno tedy nastavit prostředí, které plně odpovídá reálnému stavu a osazení nástrojů na výrobních strojích. Tato vlastnost je využívána pro stroje s vícekanálovým řízením např. soustruhy s dvěma revolverovými hlavami nebo multifunkční stroje.

Metoda správy nástrojů pomocí šablon je vhodná pro výrobní podniky s úzkým výrobním sortimentem, nebo s opakující se technologií. V opačném případě by bylo nutno udržovat velké množství šablon, ve kterých by mohlo docházet k duplicitám nástrojů.

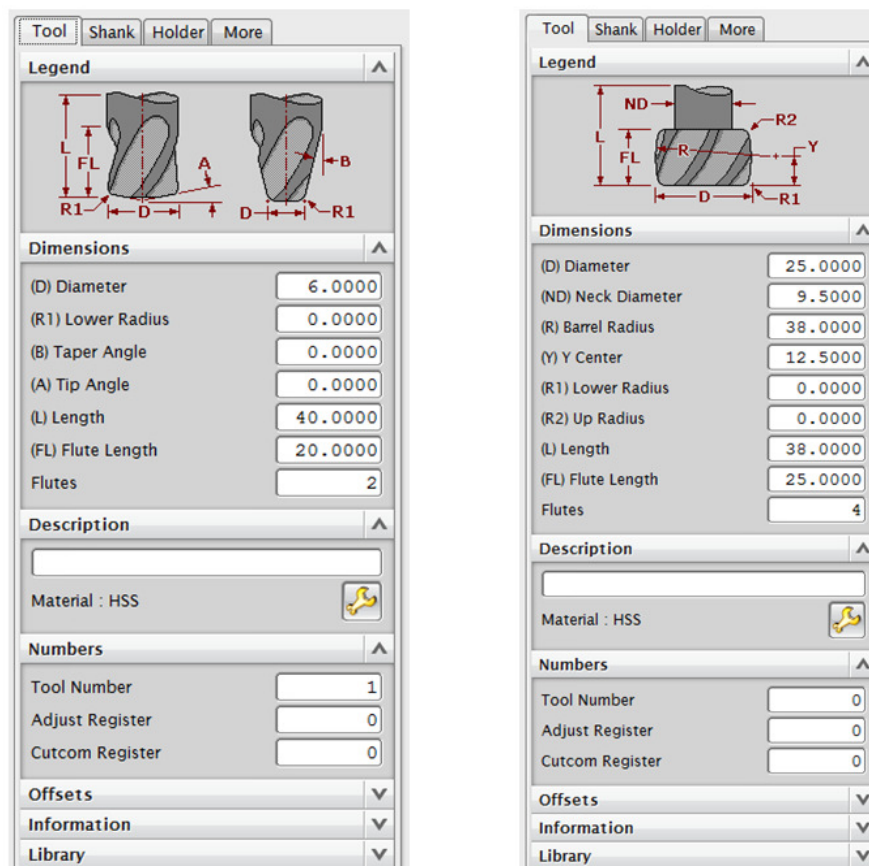


- korunková fréza
- 5, 7 a 10 parametrová fréza
- závitová fréza
- a další

Typy nástrojů lze také dělit na frézy plátkové a monolitní. Toto rozdělení je zejména pro účely správného rozřídění nástrojů v knihovně.

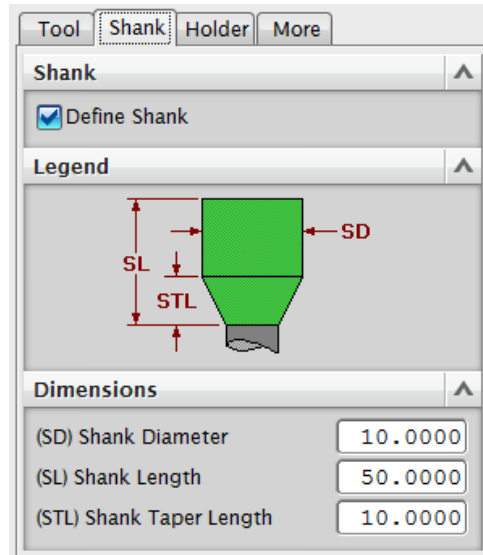
Nejčastěji používaným typem nástroje je fréza 5-ti parametrová, jejímž podtypem jsou frézy válcové a kulové bez bočního úkosu.

Na úvodní záložce byly zadány rozměry samotného nástroje. Záložka obsahuje náčrty nástrojů včetně kót, které odpovídají položkám v menu. Dále byl vyplněn počet břitů, vytvořen popis, vybrán materiál nástroje, zadáno číslo nástroje, korekce, hodnota ofsetu, doplněny další informace (např. katalogové číslo). Na konci dialogového okna je položka umožňující vložení nástroje do knihovny.



Obr. 35. Menu pro přípravu nástrojů

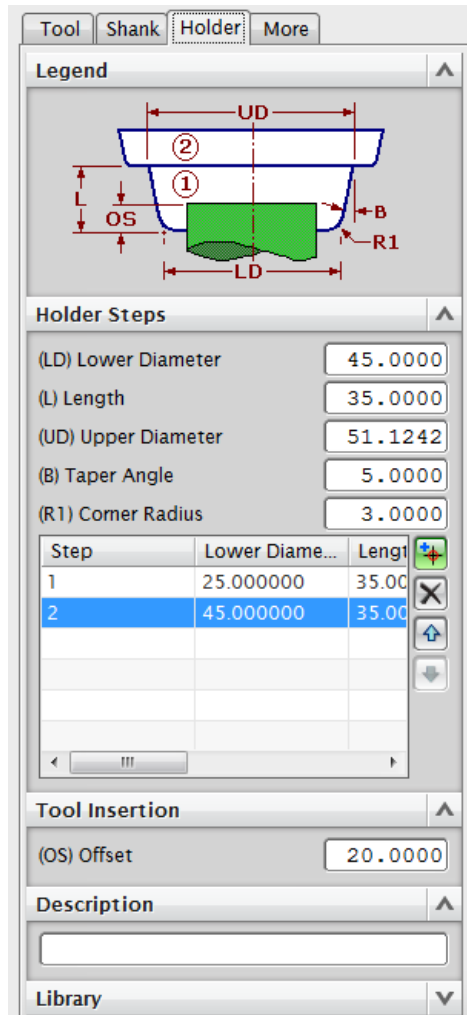
Na druhé záložce by zadán dřík nástroje. Pokud jej nástroj neobsahoval, pak zůstala tato záložka nevyplněná. Dřík se využívá zejména u nástrojů s menším průměrem řezné části a větším průměrem „těla“, případně u nástrojů s odlehčenou stopkou.



*Obr. 36. Menu pro přípravu dříku nástroje*

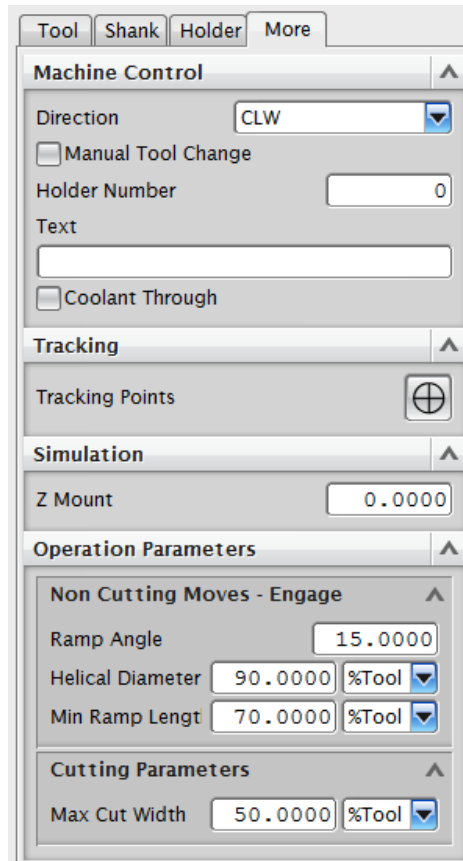
Na třetí záložce byl vytvořen držák nástroje. Držák byl vystavěn jako stupňovitý a pro každý stupeň byl vyplněn v tabulce nový řádek. Metodika tvorby držáku je obdobná jako u tvorby samotného nástroje. Na záložce byly vyplněny hodnoty určující rozměr, hodnotu zasunutí nástroje do držáku a možnost vložit držák do knihovny.

Knihovna držáků vzniká jako nezávislá na knihovně nástrojů. Držáky jsou na nástrojích nezávislé, ale nástroj může být přiřazen konkrétní držák.



Obr. 37. Menu pro přípravu držáku nástroje

Na poslední záložce byl definován směr otáčení nástroje, poznámka pro obsluhu, parametr definující vnitřní chlazení, volbu řídicích bodů, hodnotu zasunutí sestavy nástroje do vřetene simulačního modelu a omezující parametry nástroje. Parametr vynucené ruční výměny (např. pro pilky, které se rozměrově nevejdou do zásobníku) nebyl vyplňován, jelikož stroj pro testování neobsahuje zásobník.

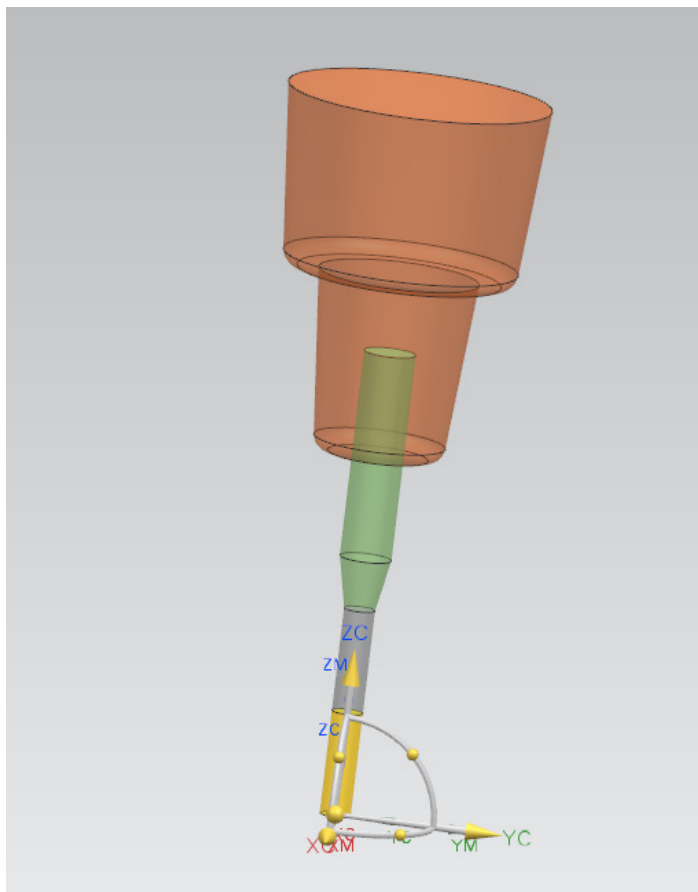


Obr. 38. Menu pro další parametry nástroje

V pracovním prostoru NX se při vyplňování parametrů tvoří grafická interpretace nástroje. S tímto modelem lze volně pohybovat ve všech směrech včetně rotace. Tato vlastnost umožňuje přirovnání nástroje k obráběné části dílce a mnohem lépe tak určoval potřebné vyložení nástroje.

Na obrázku vidíme jednotlivé části nástrojové sestavy. Žlutá je břit nástroje, šedá je neřezná část nástroje, zelený je dřík, červený je držák nástroje. Je zde také dobře patrné zanoření nástroje do držáku.

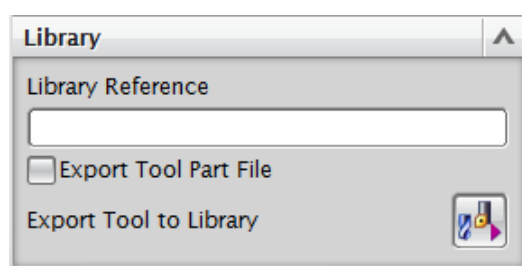




Obr. 39. Vizualizace nástroje

### 7.1.2.3 Vložení nástroje do knihovny

Samotné vložení nástroje do knihovny je velmi snadné a probíhá pomocí ikony na první záložce.



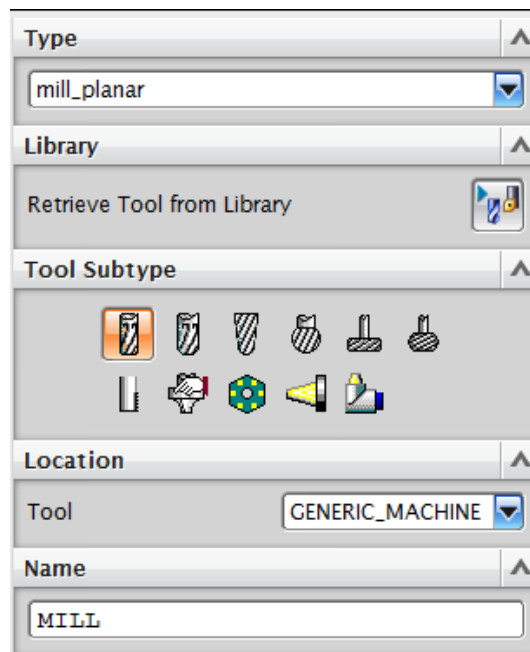
Obr. 40. Menu pro vložení nástroje  
z knihovny

Následně vyzve NX k výběru podtypu nástroje a přiřazení držáku pro případ, že s ním bude daný nástroj spřažen. Po stisknutí „OK“ je nástroji přiřazen jednoznačný identifikátor „Library Reference“ a vzniká záznam o nástroji do knihovny.

Po nainstalování NX je v knihovně již obsažena základní sada nástrojů. Před samotným vkládáním nástrojů byly všechny tyto položky vymazány. Zamezilo se tak vzniku nejasností spojených s tím, zda nástroj reálně existuje ve výrobě či nikoliv.

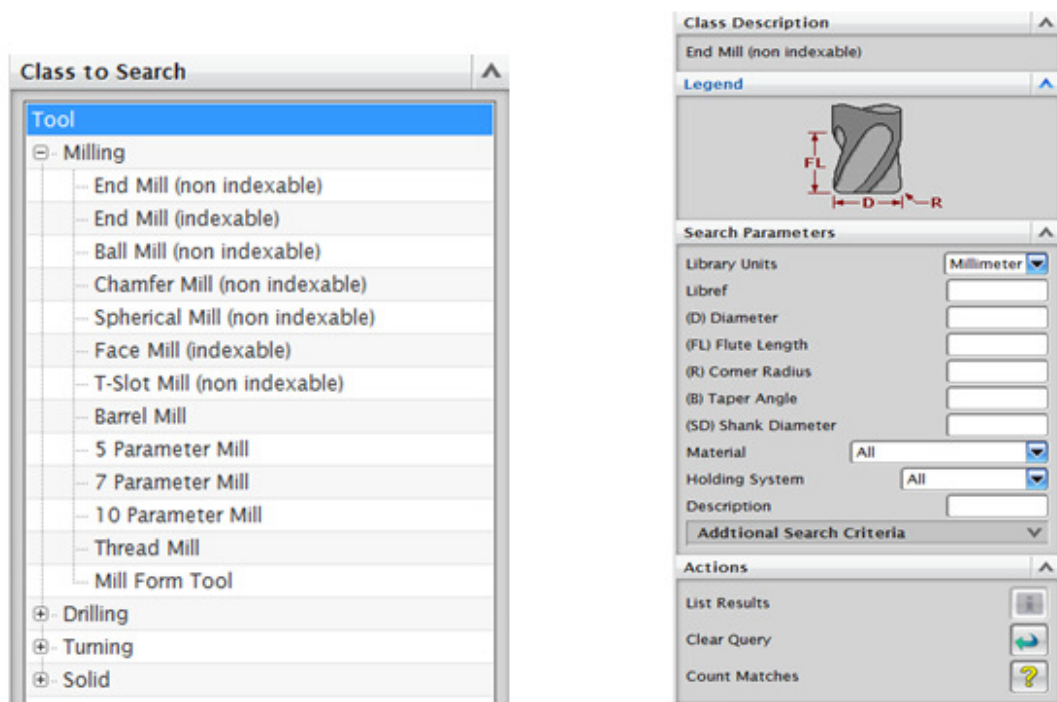
#### 7.1.2.4 Použití nástroje

Nástroje uložené do knihovny je možno dále editovat a používat. Vložení nástroje do připravovaných NC operací probíhá pomocí položky pro tvorbu nástroje, stejně jako je tomu při jeho přípravě. V menu se nachází ikona „Retrieve Tool from Library“.



Obr. 41. Menu výběr typu nástroje

Tato funkce umožňuje náhled do knihovny a pak dále podle upřesňujících parametrů vyhledání odpovídajícího nástroje či nástrojů.



Obr. 42. Menu výběr nástroje z knihovny

## 8 TVORBA POSTPROCESSORU

Překlad NC-kódu do zvoleného řídicího systému stroje zajišťuje postprocessor. Překlad NC-kódu je nejčastěji zabezpečen třemi způsoby dle možností různých CAM systémů.

A to:

- Před tvorbou operace je zvolen konkrétní stroj. Výhodou této metody je výpočet dráhy nástroje v kódu pro zvolený stroj. Je možno zahrnout i strojní limity. Nevýhodou je komplikovaná změna obráběcího stroje a s tím spojená časová ztráta na přepočítání dráhy.
- NC operace vzniká nezávisle na obráběcím stroji. NC-kód je dále vygenerován ve formátu ISO, nebo APT. Tento obecný popis dráhy nástroje se překládá postprocesorem, který je nejčastěji tvořen aplikací tvořenou v C++. Výhodou této metody je možnost zvolit stroj až na konci přípravy bez nutnosti přepočtů. Nevýhodou je komplikované zahrnutí limitů stroje.
- Poslední způsob spojuje výhody obou předešlých. Vzniká tedy NC operace, která je v úvodní fázi nezávislá na konkrétním obráběcím stroji. Tato se dále pomocí postprocesoru překládá rovnou do kódu pro daný řídicí systém. Odpadá tedy nutnost generování souborů (ISO, APT) jako mezivýsledku. Tato metoda také umožňuje kontrolovat limity stroje při překladu a případně jej zastavit.

V systému NX je možno postprocessing provádět druhým a třetím způsobem.

Pro tuto práci jsem zvolil třetí metodu. V tomto případě je tvorba postprocesoru zajištěna pomocí graficko-programátorského rozhraní tzv. PostBuilder.

### 8.1 Základní definice postprocesoru

Vytváření postprocesoru pro NX pomocí PostBuilderu začíná v úvodním menu. V tomto menu byl zvolen název, struktura postprocesoru (hlavní, vnořený), jednotky, uživatelské funkce stroje (nejčastěji M-kódy), typ a konfigurace obráběcího stroje (3 až 5-osá frézka, soustruh, drátovka a multifunkční stroj) a řídicí systém (např. Heidenhain, Fanuc, Siemens, Hass, Acramatic atd.)

Post Name: new\_post

Description: This is a 3-Axis Milling Machine.

Main Post (selected)

Units Only Subpost

Post Output Unit: Inches (selected), Millimeters (selected)

Enable UDE Editor (checked)

Include Virtual NC Controller (unchecked)

Machine Tool: Mill, Lathe, Wire EDM, 3-Axis (selected)

Controller: Generic (selected), Library, User's

Obr. 43. Menu pro základní parametry postprocesoru

## 8.2 Konfigurace kinematiky a limitů

Po založení postprocesoru je nutno definovat základní rozměry a konfiguraci stroje. Na obrázku 44. je vidět konfigurační menu pro 3-osý stroj, který byl vytvářen v rámci diplomové práce.

Byly zde nastaveny výstupy dráhy s kruhovou interpolací. Dráha se tedy může skládat z přímkových i rádiusových částí. Tento výstup lze ovlivnit i přímo v NC-operaci NX. Platí ovšem pravidlo, že nadřazený je vždy postprocesor. Tzv. že pokud postprocessor neumožňuje použití kruhové interpolace, není možno ji v prostředí NX zapnout. Detailní nastavení tohoto typu pohybu budeme řešit ještě dále.

Dále byly nastaveny limity jednotlivých os. Pro 3-osý stroj se jedná pouze o lineární. U 5-osého stroje je zde možno nastavovat i omezení pro rotační osy.

Souřadnice „home position“ jsou vztaženy k pevnému souřadnému systému stroje. Jedná se o tzv. referenční bod, kde stroj najede po zapnutí.

Hodnota minimálního lineárního pohybu musí korespondovat se stejným strojním parametrem stroje.

Maximální řezný posuv je omezující parametr. Pokud je v NC-operaci nastavena hodnota přesahující tento limit, pak je tento pohyb identifikován jako rychloposuv.

Dále jsou zde parametry definici vektoru vřetene a koeficienty pro jednotlivé osy, které umožňují například zrcadlení jednotlivých os.

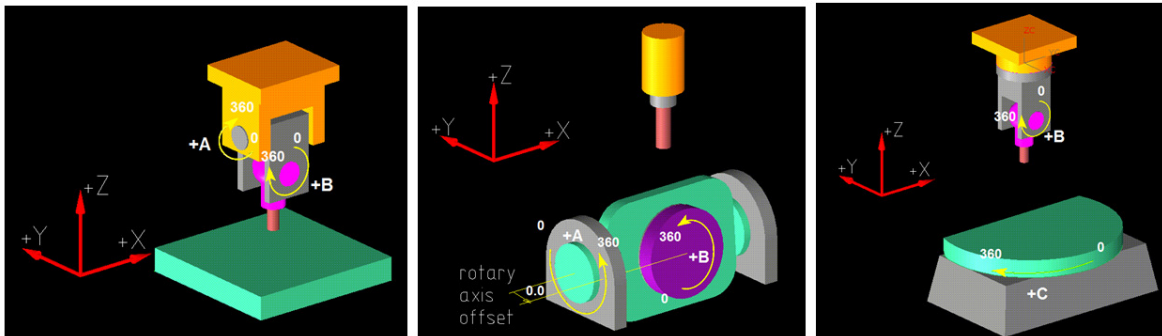
The image shows a software interface for configuring kinematics. It consists of several panels with various settings:

- Post Output Unit :** Metric (highlighted in blue)
- Output Circular Record:** Yes (selected), No
- Linear Axis Travel Limits:** X: 415, Y: 407, Z: 209
- Home Position:** X: 0, Y: 0, Z: 0
- Linear Motion Resolution:** Minimum: .001
- Traversal Feed Rate:** Maximum: 3000
- Axis Multipliers:**
  - Diameter Programming:** 2X (selected), 2I, 2Y (selected), 2J
  - Mirror Output:** -X (selected), -I, -Y (selected), -J, -Z (selected), -K
- Initial Spindle Axis:** I: 0.0, J: 0.0, K: 1.0

Obr. 44. Menu pro definici kinemtiky

S přibývajícím počtem nezávislých os roste významně rozsah konfiguračních parametrů jako například definice a limity rotačních os atd.

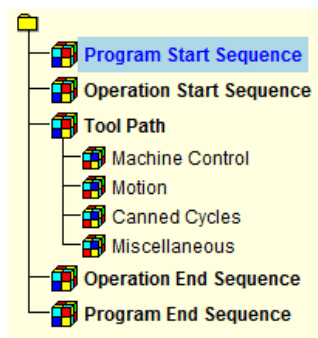
Pro lepší kontrolu nastavení jak konfigurace, tak limitů je možno zobrazit náhled. Na obrázku 45. jsou vidět ukázky pětiosých strojů.



Obr. 45. Ukázka pětiosé kinematiky strojů

### 8.3 Rozdělení typu událostí

Dále byl tvořen postprocessor dle typu pohybu a sledu událostí při samotném překladu NC-kódu.



Obr. 46. Rozdělení události postprocesoru

Jsou rozděleny na několik základních událostí:

- *Program Start Sequence* – nastavení událostí na počátku programu. V této sekci se typicky vypisuje hlavička programu.
- *Operation Start Sequence* – nastavení událostí na počátku operace. Zde se nastavuje sekvence výměny, definice nulového bodu, transformace souřadného systému, zapnutí chlazení atd.
- *Tool Path* – tato sekce se ještě dále dělí a tvoří jádro NC-kódu.
  - *Machine Control* – nastavení událostí jako např. zapnutí/vypnutí vřetene, zapnutí/vypnutí chlazení, zapnutí/vypnutí korekce atd.
  - *Machine Control* – řeší samotný pohyb nástroje. Pro tříosý stroj je rozdělen na 3 typy (lineární, kruhový a rychloposuv).

- *Canned Cycles* – zde jsou definovány pevné strojní cykly zejména vrtací.
- *Miscellaneous* – tedy další pohyby, které nejsou zadány v předešlých.
- *Operation End Sequence* – nastavení událostí na konci operace.
- *Program End Sequence* – nastavení událostí na konci programu. V této sekci se typicky vypisuje patička programu.

## 8.4 Definice G-kódů a M-kódů

V úvodní fázi tvorby postprocesoru byly nastaveny G-kódy a M-kódy. Obvykle je možno tyto kódy nalézt v manuálu ke stroji. Použité kódy, zejména ty méně obvyklé, je nutno ověřit přímo na stroji. Důvodem tohoto prověření je sdílení manuálu pro celou řadu strojů, možnost dodání stroje s různým příslušenstvím a zejména individuální nastavení strojních parametrů.

Stejnou metodou bylo postupováno i při tvorbě této práce a veškeré kódy byly ověřeny na reálném stroji. V případě, že některý z kódů nebyl na stroji definován, pak byl ponechán s defaultní hodnotou a zakázán jeho výpis do NC-kódu.

Motion Rapid	G 00	Cycle Drill Break Chip	G 73
Motion Linear	G 01	Cycle Tap	G 84
Circular Interperation CLW	G 02	Cycle Bore	G 85
Circular Interperation CCLW	G 03	Cycle Bore Drag	G 86
Delay (Sec)	G 04	Cycle Bore No Drag	G 76
Delay (Rev)	G 04	Cycle Bore Dwell	G 89
Plane XY	G 17	Cycle Bore Manual	G 88
Plane ZX	G 18	Cycle Bore Back	G 87
Plane YZ	G 19	Cycle Bore Manual Dwell	G 88
Cutcom Off	G 40	Absolute Mode	G 90
Cutcom Left	G 41	Incremental Mode	G 91
Cutcom Right	G 42	Cycle Retract (AUTO)	G 98
Tool Length Adjust Plus	G 43	Cycle Retract (MANUAL)	G 99
Tool Length Adjust Minus	G 44	Reset	G 92
Tool Length Adjust Off	G 49	Feedrate Mode IPM	G 94
Inch Mode	G 70	Feedrate Mode IPR	G 95
Metric Mode	G 71	Feedrate Mode FRN	G 93
Cycle Start Code	G 79	Spindle CSS	G 96
Cycle Off	G 80	Spindle RPM	G 97
Cycle Drill	G 81	Return Home	G 28
Cycle Drill Dwell	G 82	Feedrate Mode MMPM	G 94
Cycle Drill Deep	G 83	Feedrate Mode MMPM	G 95

Obr. 47. Seznam G-kódů



Stop/Manual Tool Change	M	00
Opstop	M	01
Program End	M	02
Spindle On/CLW	M	03
Spindle CCLW	M	04
Spindle Off	M	05
Tool Change/Retract	M	06
Coolant On	M	08
Coolant Flood	M	08
Coolant Mist	M	07
Coolant Thru	M	26
Coolant Tap	M	27
Coolant Off	M	09
Rewind	M	30

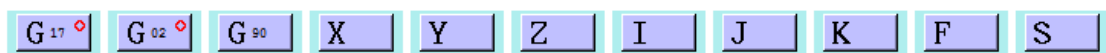
Obr. 48. Seznam M-kódů

Mimo tyto přednastavené G a M kódy je možno doplnit další dle potřeb uživatele.

## 8.5 Nastavení sekvence věty v NC-kódu

Sekvence příkazů (slov) vypisovaných do jednotlivých řádků (bloků) v NC-kódu byl definován grafickými bloky dle obrázku 49.

Jednotlivé příkazy lze třídit, vytvářet pravidla pro jejich pořadí a případně trvale či dočasně potlačovat jejich výpis.



Obr. 49. Rozložení NC-kódu

Tyto grafické bloky nesou informaci o typu příkazu, znaku před i za hodnotou, formátu hodnoty, modalitě (zda se má či nemá příkaz opakovat při každém výskytu), nastavení rozsahu a proměnou popisující samotnou hodnotu.

The image shows a software dialog box titled "Leader". It has a close button in the top right corner. The dialog is organized into several sections:

- Format:** Contains a "New" button, a dropdown menu currently showing "Coordinate", and an "Edit" button.
- Trailer:** Contains a blue button.
- Modal?:** Contains two radio buttons, "Yes" and "No", with "Yes" selected.
- Maximum:** Contains a "Value" text box with "99999.999" and a "Violation Handling" dropdown menu set to "Truncate Value".
- Minimum:** Contains a "Value" text box with "-99999.999" and a "Violation Handling" dropdown menu set to "Truncate Value".
- Expression:** A text box at the bottom containing the expression "\$mom\_pos(0)".

Obr. 50. Menu pro příkaz v NC-kódu

## 8.6 Detailní nastavení pohybů a cyklů

Pro některé typy pohybů a cyklů jsou v PostBuilderu dostupné další upřesňující parametry. Toto se týká zejména veškerých vrtacích cyklů a specifických typů pohybu.

Jako příklad pro tyto detaily, které je nutno individuálně řešit pro každý postprocesor, je kruhová interpolace. U tohoto typu pohybu byl nastaven kód určující směr kruhu (po/proti směru hodinových ručiček), roviny, ve kterých mohou být kružnice tvořeny, nastavení, zda bude kružnice vypisována po 90° či 360°, způsob definování radiusu. Dále byly v tomto menu zapsány limitní hodnoty, jako je minimální a maximální velikost radiusu a minimální délka kruhové dráhy. Při překročení kterékoliv z těchto hodnot je místo kruhové dráhy vypisována dráha lineární.

Obr. 51. Definice kruhové interpolace

## 8.7 Rozšířené možnosti - programování

U některých typů pohybů a cyklů není možno pouze pomocí metody seskládání příkazů, popsané v bodě 8.5, ani dalším detailním nastavením dosáhnout správného výstupu. V těchto případech se v PostBuilderu využívá programátorské rozhraní založené na jazyce TCL.

```

global mom_kin_machine_type

if { [string match "*wedm*" $mom_kin_machine_type] } {
return WEDM
} elseif { [string match "*axis*" $mom_kin_machine_type] } {
return MILL
} elseif { [string match "*lathe*" $mom_kin_machine_type] } {
return TURN
} else {
return $mom_kin_machine_type
}

```

Obr. 52. Ukázka TCL kódu

Touto metodou byly doplněny standardní funkce. V popisu proměnných je možno nalézt všechny, které jsou dostupné včetně popisu výskytu a rozsahu hodnot.

Tuto programátorskou metodu lze použít pro doplnění funkcí standardně obsažených v PostBuilderu nebo jako úplná náhrada těchto funkcí.

Výsledný postprocesor tvoří tři textové soubory:

- TCL – výkonná část, která obsahuje odkazy na proměnné.
- DEF – soubor obsahující definici pro výpis a formátování jednotlivých proměnných.
- PUI – zde je kompletní popis včetně všech informací obsahující soubory TCL a DEF. Tento soubor je otvírán PostBuilderem a slouží pro kompilaci výkonných souborů.

## 9 TVORBA DÍLENSKÉ DOKUMENTACE

Informace potřebné pro obsluhy strojů je možno v NX tvořit pomocí tzv. ShopDoc (díleňská dokumentace), případně jako další výstup postprocesoru. Dokument je uživatelsky definovatelný a je možno jej vytvářet nejčastěji ve formátu txt nebo html.

Pro tuto práci byla díleňská dokumentace vytvořena pomocí PostBuilderu. Výhodou této metody je možnost propojení s postprocesorem. Díky tomu vzniká díleňská dokumentace rovnou při překladačném NC-kódu. Jsou odstraněny uživatelské úkony spojené s tvorbou této dokumentace.

Jelikož není nástroj PostBuilder k tomuto účelu primárně určen, neobsahuje uživatelskou podporu např. šablony nebo grafické rozhraní. Z tohoto důvodu byla kompletní dokumentace vytvořena v programátorském rozhraní.

### 9.1 Načítání hodnot

V úvodní fázi byly načteny veškeré potřebné hodnoty pro dokumentaci. Tyto hodnoty a parametry byly ukládány do vlastních proměnných, které jsou postupně dostupné v jednotlivých fázích v podobném členění, jako je popsán v bodě 8.3.

#### 9.1.1 Nástroj

Na obrázku 53. je vidět ukázka zápisu parametrů nástroje do proměnné s názvem „tool“. Je zde vidět podmíněné rozhodnutí, které je závislé na názvu typu nástroje. Název je popsán v proměnné „mom\_tool\_type“. Pokud je obsaženo slovo „Drilling“, jedná se o vrtací nástroj, pokud je obsaženo slovo „Milling“, jedná se o frézovací nástroj, podobně lze rozpoznat nástroje pro různé technologie.

Pokud je rozpoznán vrtací nástroj, je nastavena proměnná „pa“, která obsahuje úhel špičky nástroje ve stupních. Je zde vidět i převod úhlu z radiánů, který je v proměnné „mom\_tool\_point\_angle“.

Na dalším řádku je již samotné plnění proměnné „tool“ pomocí příkazu SET. Hodnoty jsou formátované dle toho, zda se jedná o text, nebo číselnou hodnotu. U čísel je navíc řešen i počet desetinných míst.

Pro frézy a další typy nástrojů je situace analogická.

```

if { [string match "*Drilling*" $mom_tool_type] } {
  set pa [expr $mom_tool_point_angle * 180 / 3.141592]
  set tool "[format "; VRTAK ,D = %.2f ,R = %.2f ,L = %.2f PA = %.f"
            "$mom_tool_diameter $mom_tool_corner1_radius $mom_tool_length $pa]"
} elseif { [string match "*Milling*" $mom_tool_type] } {
  set tool "[format "; FREZA ,D = %.2f ,R = %.2f ,L = %.2f"
            "$mom_tool_diameter $mom_tool_corner1_radius $mom_tool_length]"
}

```

Obr. 53. Načítání parametrů nástroje

V průběhu dalších událostí při zpracování bylo doplněno do této proměnné ještě číslo nástroje, vyložení, název a přesný typ nástroje, číslo a popis držáku atd. Některé hodnoty nebyly pro samotný výpis využity, přesto byly podstatné pro zpracování a třídění výstupu.

V případě, že je ve zpracovávané sadě operací více než jeden nástroj nastává událost „auto\_tool\_change“, případně „manual\_tool\_change“ opakovaně. Potom byla převedena proměnnou „tool“ na pole „tool(x)“, kde x označuje pořadové číslo nástroje.

### 9.1.2 Operace

Zápis hodnot operace byly prováděny zejména na konci operací v události nazvané „end\_of\_operation“. U hodnot, které již v tomto místě nebyly dostupné, bylo provedeno zpracování průběžně. Jako příklad takové hodnoty může být hodnota minimálního a maximálního rozsahu posuvu v jednotlivých osách, či hodnot posuvů.

Samotné naplnění formátovaných hodnot je vidět na obrázku 54. Všechny hodnoty byly vytvořeny rovnou jako pole, jelikož je pravděpodobné, že se bude zpracovávat více než jedna operace. Oproti nástroji byly hodnoty ukládány do samostatných proměnných, jelikož parametr popisující pole „k“ je dostatečným identifikátorem.

```

global typ_op_H pridavek_H tole_H d_nastr_H r_nastr_H typ_frezy_H
global zmin_H vylozeni_H z_krok_H krok_H otacky_H feed_H

set typ_op_H($k) $mom_operation_name
set pridavek_H($k) [format %5.2f $mom_stock_part]
set tole_H($k) [format %5.2f $tole]
set d_nastr_H($k) [format %6.2f $mom_tool_diameter]
set r_nastr_H($k) [format %6.2f $mom_tool_corner1_radius]
set typ_frezy_H($k) $typfrezy
set zmin_H($k) [format %6.1f $zmin]
set vylozeni_H($k) [format %6.1f $vylozeni]
set z_krok_H($k) [format %5.2f $depth_level]
set krok_H($k) [format %5.2f $radekf]
set otacky_H($k) [format %6.0f $mom_spindle_speed]
set feed_H($k) [format %6.0f $mom_feed_cut_value]
set pop_nastr_H($k) $mom_tool_name

```

Obr. 54. Načítání parametrů operace

Pro jednoznačnou vazbu mezi informacemi o nástroji a operaci byl využíván název nástroje, který v NX nesmí být duplicitní.

Dále bylo také vytvořeno rozhodovací pravidlo pro operace, které se mohou v NX řadit do adresářových struktur.

V případě, že jsou operace umístěny mimo toto členění, a nebo pouze do jednoúrovňového adresáře, pak je každá jednotlivá operace v NX považována za operaci na stroji. V případě, že je struktura složitější, jsou za operace pro stroj považovány nejen operace na základní úrovni, ale také operace v adresářích.

```

if { [isset mom_group_name] == "y" } {
  if {$k > 1} {
    if {$group_var_old != $mom_group_name} {
      incr a
      set group_var($a) $mom_group_name
      set group_var_old $mom_group_name
      set group_index($k) $a
    } else {
      set group_index($k) $a
    }
  } else {
    incr a
    set group_var($a) $mom_group_name
    set group_index($k) $a
    set group_var_old $mom_group_name
  }
}

```

Obr. 55. Zjišťování struktury NC operací

Pravidlo lze rozšířit o další dodatečné členění dle výměny nástroje.

## 9.2 Zpracování dílenské dokumentace

Samotné zpracování dílenské dokumentace bylo umístěno do události „Program\_end\_Sequence“. Výstup byl zpracován do formátu HTML, který umožňuje snadné prohlížení jak textových, tak grafických informací.

V ukázce, která je na obrázku 56. je vidět formátování hlavičky dokumentu.

Zápis do samostatného souboru, jehož název včetně kompletní cesty je uveden v proměnné „f5“ je proveden pomocí funkce PUTS. Na řádcích jsou poté vypsány texty a hodnoty formátované do HTML.

```

puts $f5 "<HTML>"
puts $f5 "<HEAD<BASEFONT FACE=ARIAL>"
#++++++
#hlavicka
#++++++
puts $f5 "<TABLE BORDER=1 CELLPADDING=7 CELLSPACING=0 WIDTH=1100>"
puts $f5 "<TR><TD WIDTH=25% ALIGN=CENTER><SPAN STYLE=FONT-SIZE:12.0pt;><B>NX DILENSKA DOKUMENTACE</B></SPAN</TD><TD><B>SEZNAM OPERACI</B></TD><TD><B>Verz
puts $f5 "<TR><TD ALIGN=CENTER><IMG SRC=\"$logo_NX\" WIDTH=150 HEIGHT=100></TD>"
#puts $f5 "<TD ALIGN=CENTER><IMG SRC=$mom_output_file_directory/setup.png WIDTH=200 HEIGHT=150></TD>"

#podminka existence obrázku náhledu
if [[file exists $mom_output_file_directory\setup.png]] {
    puts $f5 "<TD ALIGN=CENTER><IMG SRC=\"$mom_output_file_directory\setup.png\" WIDTH=200 HEIGHT=150></TD>"
} else {
    puts $f5 "<TD ALIGN=CENTER>&nbsp;</TD>"
}

puts $f5 "<TD ALIGN=CENTER><IMG SRC=\"$logo_Zak\" WIDTH=160 HEIGHT=60></TD>"
puts $f5 "<TD ALIGN=CENTER><IMG SRC=\"$logo_axiom\" WIDTH=160 HEIGHT=100></TD></TR>"
puts $f5 "<TR><TD COLSPAN=3 ROWSPAN=2><B>Projekt:</B> $mom_part_name</TD><TD WIDTH=25%><B>Projekt c.:</B> $mom_output_file_basename</TD></TR>"
puts $f5 "<TR><TD><B> Programator : </B> $mom_logname</TD></TR>"
puts $f5 "<TR><TD COLSPAN=2><B>Ridici system:</B><FONT COLOR=RED> Heidenhain 3ax </FONT></TD><TD WIDTH=25%><B>Celkovy cas :</B>$celk_hod_H h $celk_min_H
puts $f5 "</TABLE>"
puts $f5 "</HEAD>"
puts $f5 "<BODY<BASEFONT FACE=ARIAL>"
puts $f5 "<TABLE BORDER=1 CELLPADDING=5 CELLSPACING=0 FRAME=ALL WIDTH=1100>"
#++++++

```

### Obr. 56. Výpis parametrů dokumentace

Do dokumentace byly použity hodnoty, které jsou považovány za podstatné pro obsluhu stroje. Dle zkušeností z technické praxe je podstatné, aby byly informace komplexní, ale neměly vliv na přehlednost.


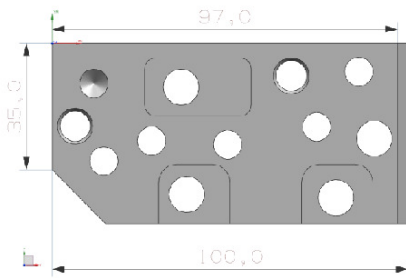

V samotné hlavičce je uvedena verze NX, ve které byl dokument vytvořen, nákras obráběné součásti, datum, název souboru, číslo nebo název projektu, jméno technologa/programátora, název řídicího systému stroje, čas operací a jednotky operací.

V samotném těle dokumentu jsou na jednotlivých řádcích uvedeny operace. Pro identifikaci operace je uvedeno pořadové číslo, název a její popis.

Ke každé operaci jsou přiřazeny informace o nástroji. Nástrojové informace obsahují číslo nástroje, průměr válcové části, rádius na rohu, typ, vyložení a stručný popis nástroje.

K operacím také náleží další podstatné hodnoty, jako je přídavek, minimální souřadnice Z, krok jak na hloubku, tak boční, tolerance, otáčky, posuv, čas obráběcí operace a případně poznámka, pokud je obsažena.



NX DÍLENSKÁ DOKUMENTACE																	
Verze systému: NX 7.5.4.4			NÁHLED SOUČÁSTI										Datum: 13 Mar 2012 13:22:59				
													 Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně Fakulta technologická				
Projekt: C:\zkusebni prt											Projekt c.: program						
											Programátor : tomas.januska						
Ridici system: AZK 3ax							Celkový čas : 6 h 33 min				Jednotky: MM						
C.	Nazev NC-programu	Popis drahy nástroje	Prid.	Nastr. c.	D. nastr	R. nastr	Typ nástroje	Vylozeni	Popis nástroje	Z min	Z. krok	Krok	Toler.	Otacky	Posuv	NC-cas	Poznámka
PROGRAM																	
1	program_01.l	1_CELO	0.00	T3	25.00	0.00	VALCOVA	75.0	T3_FREZA_D25	0.0	0.00	20.00	0.06	1000	400	2:02	
2	program_02.l	2_PLANAR_MILL-HRUB	0.50	T1	8.00	0.00	VALCOVA	33.5	T1_FREZA_D8	-12.0	2.00	4.00	0.06	2000	600	0:56	
3	program_03.l	3_PLANAR_MILL_NN	0.00	T1	8.00	0.00	VALCOVA	33.5	T1_FREZA_D8	-6.0	2.00	0.80	0.06	2000	600	1:18	
4	program_04.l	PL_2	0.00	T2	6.00	0.00	VALCOVA	75.0	MILL	-6.0	0.00	0.60	0.06	2000	400	0:14	
5	program_05.l	PL3	0.00	T2	6.00	0.00	VALCOVA	75.0	MILL	-6.0	0.00	0.60	0.06	2000	400	0:17	
6	program_06.l	PL3_COPY	0.00	T2	6.00	0.00	VALCOVA	75.0	MILL	-6.0	0.00	0.60	0.06	2000	400	0:17	
7	program_07.l	4_HRANA	0.00	T10	10.00	0.00	VALCOVA	10.0	T10_FREZA_NA_HRANY	-5.0	0.00	5.00	0.06	2000	600	0:20	
8	program_08.l	5_FIXED_CONTOUR	0.88	T6	10.00	5.00	KULOVA	75.0	D10_R5_T6	-3.8	0.00	0.89	0.06	2000	600	1:07	

Obr. 57. Dílenská dokumentace (ShopDoc)

Celá dílenská dokumentace byla zpracována v sedmi samostatných blocích tzv. cystem commands. Díky tomu je možno velmi snadno přenést ji do libovolného postprocesoru, aniž by to jakkoliv ovlivnilo jeho funkci.

Tato struktura taktéž umožňuje dodatečné načtení hodnot a parametrů. Některé z hodnot, které byly prozatím používány pouze pro třídění, je možno v případě potřeby vypisovat do dokumentace.

Je možno také libovolně měnit formát výpisu, který může být rozdělen například na část popisující nástroje a operace.

## 10 PŘÍPRAVA UŽIVATELSKÉHO PROSTŘEDÍ NX

Správné nastavení uživatelského prostředí ovlivňuje výrazným způsobem rychlost přípravy NC operací.

Tyto úpravy a nastavení lze rozdělit na tři hlavní části:

- rozložení ikon a funkcí v menu
- úprava menu operací
- příprava vzorů operací

### 10.1 Rozložení ikon a funkcí v menu

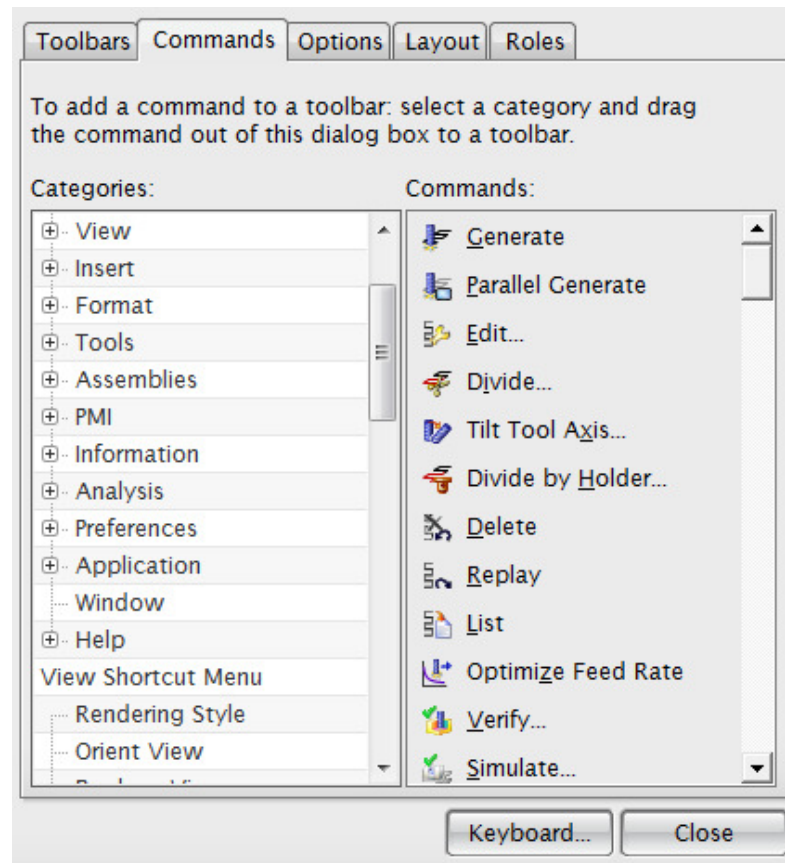
Umístění ikon, případně jejich zobrazení a skrytí je běžná uživatelská vlastnost aplikací pracujících na platformě Windows. NX navíc umožňuje toto nastavení ukládat do tzv. rolí. Uživatel má poté možnost načíst si potřebné ikony, jejich rozložení i velikost dle aktuální potřeby výběrem dané „role“. Role nemají žádný vliv na samotná vznikající data a je možno se mezi nimi libovolně přepínat.

Role se nejčastěji rozdělují podle typu práce např. pro CAD modelování ocelových konstrukcí, plechové díly, formy atd. Pro CAM je dělení nejčastěji prováděno podle technologie nebo obráběného materiálu.

#### 10.1.1 Nastavení prostředí

Samotné nastavení ikon seskupených do jednotlivých „toolbarů“ bylo provedeno pomocí standardní funkce NX „customize“.

Na obrázku 58 je vidět dané menu. V první záložce byly zapnuty či vypnuty celé toolbary. V druhé záložce jsou samotné funkce (ikony), které lze přidávat do libovolného místa a do libovolné pozice v toolbaru. Tímto postupem může vzniknout libovolně kombinovaná sada ikon.



Obr. 58. Menu pro úpravu rozložení ikon

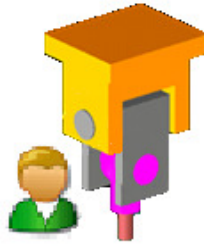
V této práci bylo vytvořeno základní rozložení ikon, které je maximálně zaměřené na technologii frézování a vrtání s možností editace 3D modelu. Byl kladen maximální důraz na pracovní prostor. Na ploše byly ponechány pouze často používané funkce a ty, ke kterým se nelze dostat snadnějším způsobem např. pomocí pravého tlačítka na vybraném objektu.

Samotné příkazové menu bylo ponecháno v plném rozsahu beze změn tak, aby bylo možno používat i málo obvyklé funkce.

Veškeré tyto úpravy a nastavení bylo provedeno na základě mých několikaletých zkušeností z technické praxe a užívání systému NX.

### 10.1.2 Vytvoření „Role“

Po veškerém nastavení byla vytvořena vlastní uživatelská role. Nejdříve byl nastaven název a pomocí aplikace malování byla navržena ikona. Tato ikona je zobrazena na obrázku 59.



*Obr. 59. Ikona  
uživatelské role*

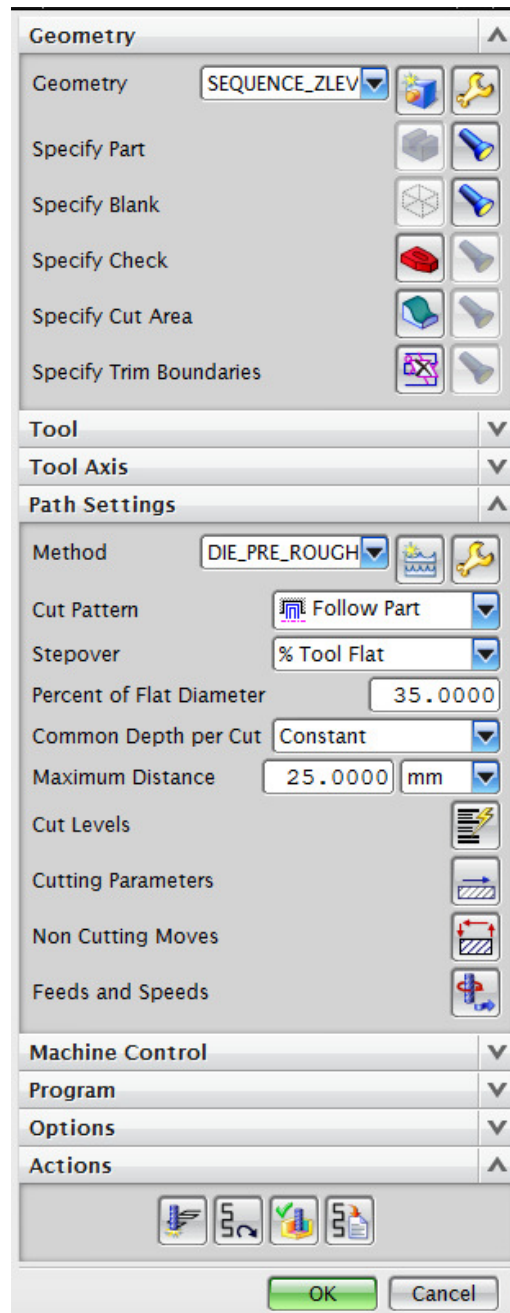
Ikona byla přiřazena k názvu role a zvoleny jednotlivé části/aplikace v rámci NX, pro které bude role platná. Pro toto nastavení, které je zaměřeno na technologii tedy CAM, bylo zvoleno pouze manufacturing (obrábění).

Následně bylo provedeno uložení. V tomto kroku se v paletě vytvořila ikona dané role, která slouží pro její zapínání.

Kompletní definice se zapíše do souboru s názvem role a koncovkou MTX. Pomocí tohoto souboru lze roli přenést na libovolný počítač, případně ji lze sdílet mezi více počítači, které jsou připojeny v síti.

## **10.2 Úprava menu operací**

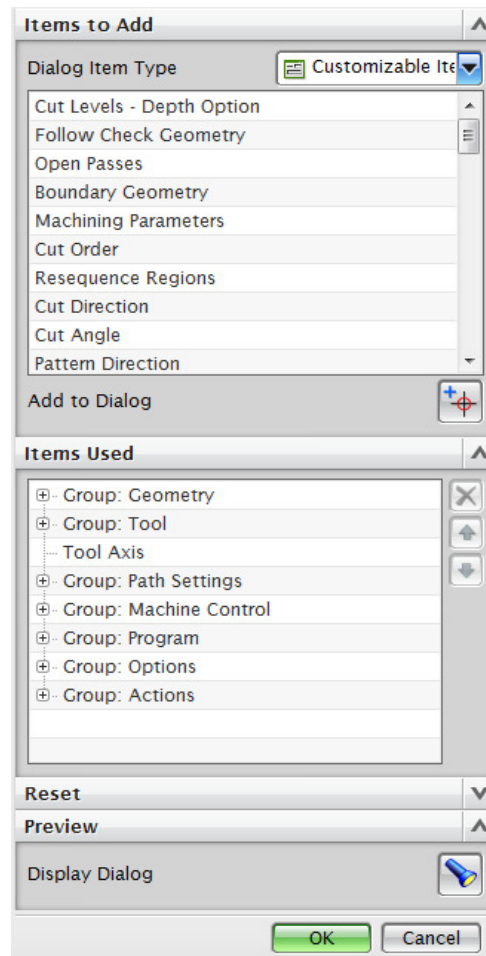
V systému NX je v operacích velké množství parametrů, které umožňují velmi specifické a detailní nastavení samotné dráhy nástroje. Takto rozsáhlé menu se může stát zejména pro méně zkušené uživatele nepřehledné.



Obr. 60. Menu NC operace

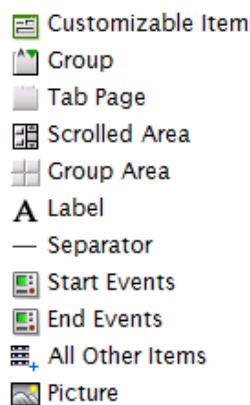
V rámci této práce bylo připraveno několik zjednodušených operací, které jsou určeny pro vrtání a frézování. Pro frézování jsou operace určeny pro obrábění po křivkách a hranách, hrubování po vrstvách a dokončování rovinných ploch.

Každý dialog operace v NX je možno upravovat pomocí funkce „Customize dialog“. Tato funkce je ovládaná pomocí dialogu na obrázku 61.



Obr. 61. Menu pro editaci dialogu operace

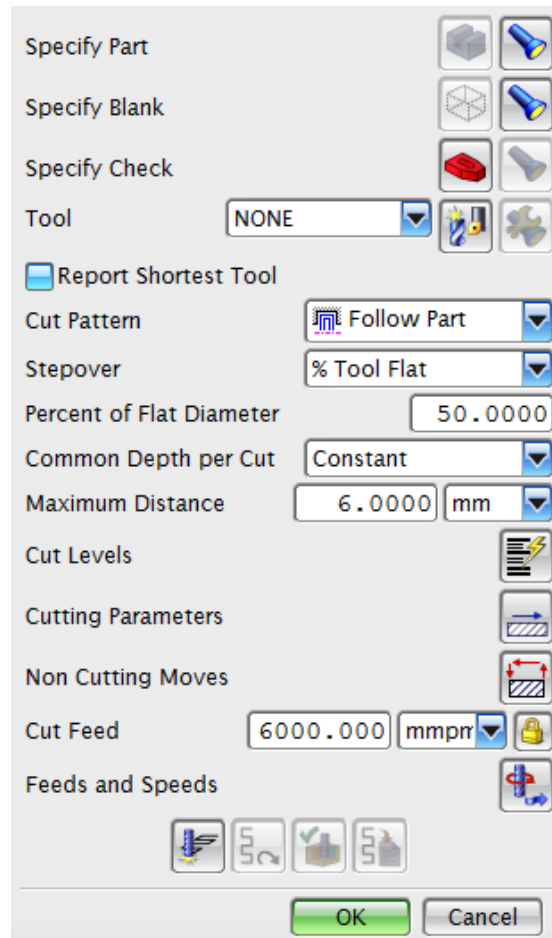
V horní části byl volen typ vkládaných objektů. Tyto možnosti jsou zachyceny na obrázku 62. Tyto volby nám umožní vkládat jak samotné příkazy a položky pro vkládání hodnot, tak také další objekty, které umožňují vytvářet skupiny položek, jejich řazení oddělování a tvorbu popisů případně vkládání obrázků.



Obr. 62. Seznam vkládaných objektů

Zbývající část dialogu je tvořena dvěma seznamy. V horním okně jsou položky, které jsou pro daný typ operace dostupné a lze je tedy umístit do menu operace. V dolním okně jsou položky, které jsou umístěny v menu.

Postupným vkládáním případně mazáním, položek do spodního okna bylo dosaženo požadovaného vzhledu menu. Pro operativní náhled byla využívána ikona „display dialog“, která zobrazuje navrhované menu.



Obr. 63. Náhled dialogu

Veškeré skryté položky svým nastavením plně ovlivňují nastavení dráhy nástroje. Jejich přednastavení je možno provádět v položce „details“ pro každý dialog. Při praktickém použití se toto nastavení provede na začátku při přípravě operace a dále se již využívají pouze položky dostupné v menu operace.

### 10.3 Příprava vzorů operací

Příprava vzorů operací neboli templates velmi úzce souvisí s předešlým bodem. Jde o běžné operace, které mají přednastavené hodnoty tak, aby odpovídaly nejčastějšímu nastavení při použití.

V technické praxi se velmi často vyskytují případy, kdy je výrobní firma zaměřena na specifický druh výroby. Tomu je přizpůsoben strojní park a nástrojové vybavení. Technologové, kteří tvoří NC-kód, se těmto podmínkám taktéž přizpůsobují a pokud je to možné, tak se snaží svoje činnosti standardizovat.

Jako příklad je možno použít vložky forem o rozměrech cca 400 x 600 mm vyráběné z duralu. Pro tyto díly lze nastavit první hrubovací operace např. pro nástroj o průměru 52 mm s rohovým rádiusem plátek 3 mm. Parametry operace lze tedy přednastavit. Hodnota bočního úběru je 70% z průměru, hloubka úběru 3 mm, dále se nastaví vzor obrábění, řezné podmínky a další parametry. Dále je tato operace uložena jako vzor a je připravena pro používání.

V této práci je připravena základní struktura pro přípravu templates. Samotné šablony jsou velmi specifická záležitost dle výrobního programu firmy.

#### 10.3.1 Připojení vzorů

Pro napojení vzorů operací do NX byl vytvořen několik záznamů do konfiguračních souborů, které jsou tvořeny textovými bloky.

Nejpodstatnější záznam je v souboru nazvaném „cam\_general.opt“. Záznam byl vytvořen do části METRIC, která je určena pro metrické jednotky. Skládá se z cesty a názvu PRT souboru, který nese vzorové dráhy. Cesta je popsána systémovou proměnnou, ta odkazuje na pevnou cestu. Výhodou tohoto postupu je snadná editace parametru cesta na jednom místě.



```

${UGII_CAM_TEMPLATE_PART_ENGLISH_DIR}mill_planar.prt
${UGII_CAM_TEMPLATE_PART_ENGLISH_DIR}mill_contour.prt
${UGII_CAM_TEMPLATE_PART_ENGLISH_DIR}mill_multi-axis.prt
${UGII_CAM_TEMPLATE_PART_ENGLISH_DIR}mill_multi_blade.prt
${UGII_CAM_TEMPLATE_PART_ENGLISH_DIR}drill.prt
${UGII_CAM_TEMPLATE_PART_ENGLISH_DIR}hole_making.prt
${UGII_CAM_TEMPLATE_PART_ENGLISH_DIR}turning.prt
${UGII_CAM_TEMPLATE_PART_ENGLISH_DIR>wire_edm.prt
${UGII_CAM_TEMPLATE_PART_ENGLISH_DIR}probing.prt
${UGII_CAM_TEMPLATE_PART_ENGLISH_DIR}solid_tool.prt
${UGII_CAM_TEMPLATE_PART_ENGLISH_DIR}machining_knowledge.prt

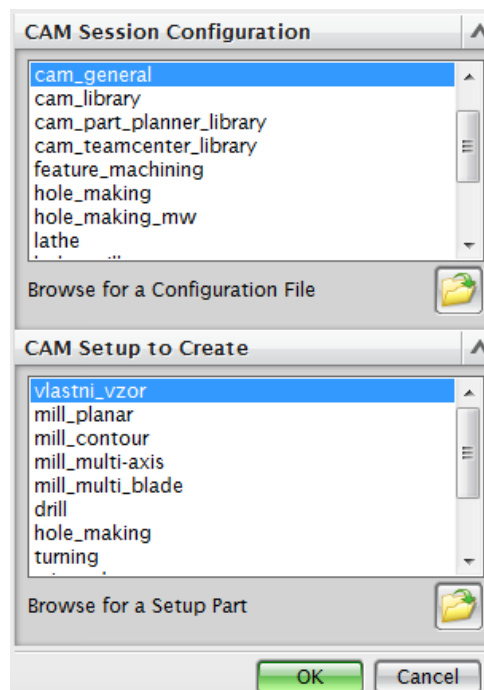
##
${UGII_CAM_TEMPLATE_PART_METRIC_DIR}vlastni_vzor.prt
${UGII_CAM_TEMPLATE_PART_METRIC_DIR}mill_planar.prt
${UGII_CAM_TEMPLATE_PART_METRIC_DIR}mill_contour.prt
${UGII_CAM_TEMPLATE_PART_METRIC_DIR}mill_multi-axis.prt
${UGII_CAM_TEMPLATE_PART_METRIC_DIR}mill_multi_blade.prt
${UGII_CAM_TEMPLATE_PART_METRIC_DIR}drill.prt
${UGII_CAM_TEMPLATE_PART_METRIC_DIR}hole_making.prt
${UGII_CAM_TEMPLATE_PART_METRIC_DIR}turning.prt
${UGII_CAM_TEMPLATE_PART_METRIC_DIR}wire_edm.prt
${UGII_CAM_TEMPLATE_PART_METRIC_DIR}probing.prt
${UGII_CAM_TEMPLATE_PART_METRIC_DIR}solid_tool.prt
${UGII_CAM_TEMPLATE_PART_METRIC_DIR}machining_knowledge.prt

## The following is for pre release testing only
## ${UGII_CAM_TEMPLATE_PART_ENGLISH_DIR}cam_test_new.prt
## ${UGII_CAM_TEMPLATE_PART_METRIC_DIR}cam_test_new.prt

```

Obr. 64. Zápís uživatelského vzoru

Na uvedené cestě byl vytvořen soubor PRT. Výsledkem tohoto nastavení je položka „vlastní\_vzor“ umístěn mezi standardními šablonami.

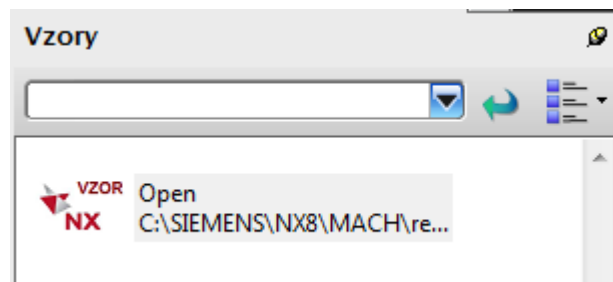


Obr. 65. Menu „CAM session configuration“

### 10.3.2 Správa vzorů

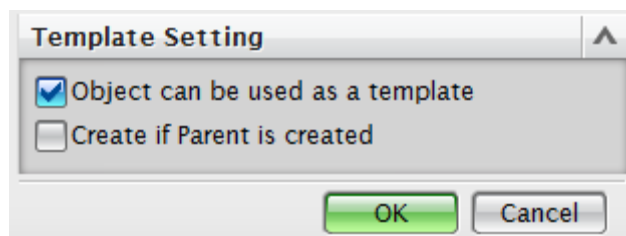
Pro samotnou správu vzorů je třeba editovat PRT soubor, který byl vytvořen v předešlém bodě. Pro snadnější přístup k tomuto souboru je možno vytvořit „zástupce“ do uživatelské palety.

Vytvořena byla nová paleta s názvem Vzory a do této palety byl vložen soubor Vlastni\_vzor.prt



Obr. 66. Uživatelská paleta

Uživatel může do tohoto souboru vytvářet libovolné objekty dle potřeby. Vzorem se objekt stává v okamžiku, kdy je zvoleno jeho chování při vložení. Toto ovlivňuje funkce Template Setting, která se nachází pod pravým tlačítkem na objektu.



Obr. 67. Menu „template petting“

První možnost „Object can be used as a template“ umísťuje položku do menu pro vytváření, např. nástroj, geometrie, operace atd.

Druhá možnost „Create if Parent is created“ vloží objekt rovnou do stromové struktury při existenci nebo vložení nadřazeného prvku. Příkladem může být vložení celé sady nástrojů při vložení položky zásobník.

## 11 TVORBA SIMULAČNÍHO MODELU

Pro simulaci CNC operací včetně simulace celého stroje je třeba vytvořit jeho kvalitní CAD model. Ten je možno vytvořit v libovolném CAD prostředí.

### 11.1 Měření rozměrů skutečného stroje

Před samotnou tvorbou modelu bylo provedeno odměření rozměrů skutečného stroje.

Pro měření vnějších rozměrů a rozměrů, které nesouvisí s posuvovými osami, případně neovlivní vnitřní prostor stroje, bylo zvoleno ocelové pásmo. Vzhledem k tomu, že tyto rozměry nijak neovlivní průběh a kvalitu simulace, je přesnost tohoto měřidla dostatečná.

Pro odměření rozměrů, které se týkají vnitřního prostoru stroje, byla použita posuvná měřidla potřebných rozsahů. Tyto rozměry byly vždy odměřovány od vodících ploch jednotlivých os a v rovinách, které na sebe byly kolmé, tak aby nedošlo ke zkreslení reálné kinematiky stroje.



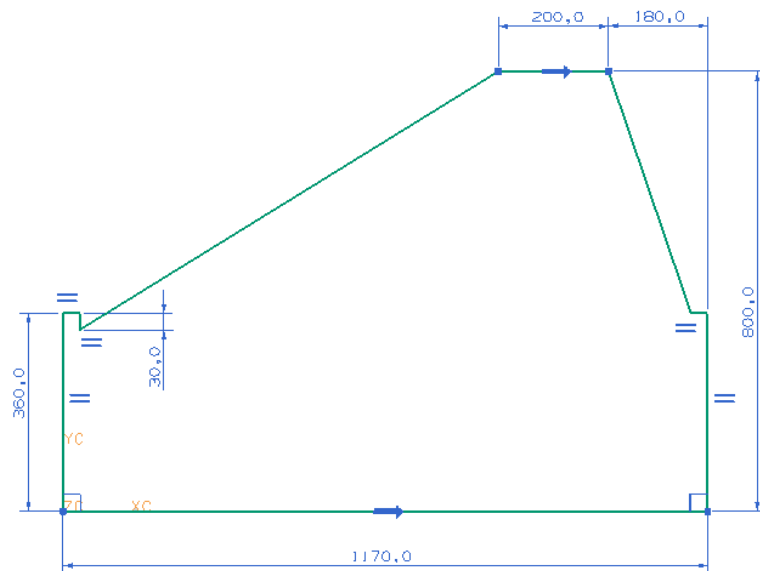
Obr. 68. Frézka AZK – HWT [14]

## 11.2 Tvorba CAD modelu stroje

NX umožňuje tři možné postupy modelování, které lze navzájem kombinovat bez jakéhokoliv omezení:

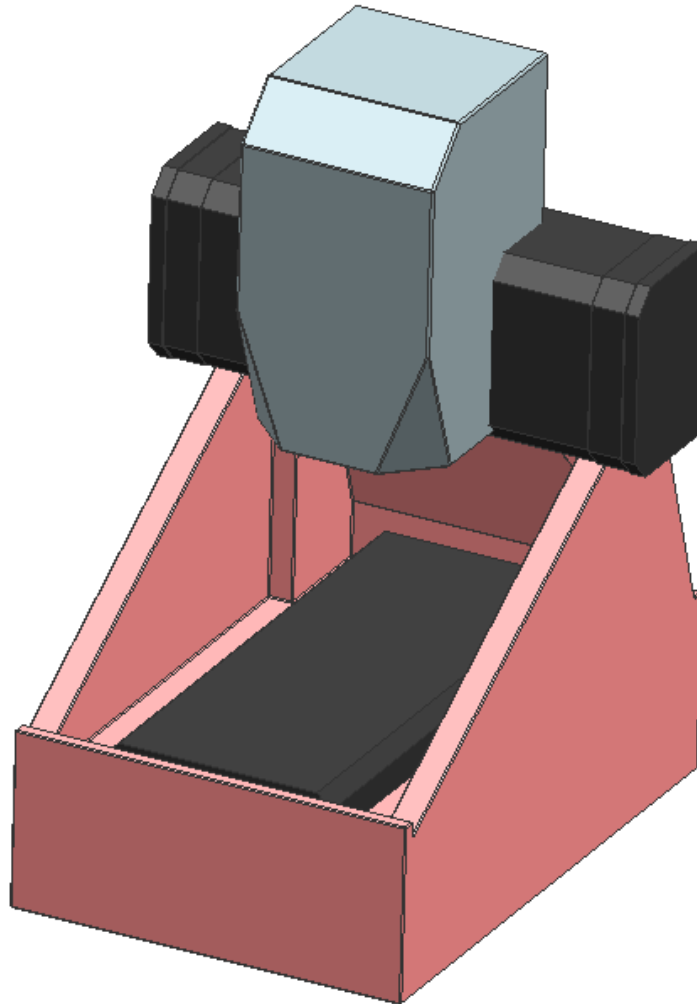
- Modelování pomocí prvků je velmi vhodné pro vytváření prizmatických dílů. Model vzniká pomocí přidávání předdefinovaných prvků, u kterých uživatel definuje rozměry a pozici vzhledem k okolní geometrii.
- Modelování pomocí skicáře je metodou používanou v drtivé většině CAD systémů. Uživatel vytváří model pomocí 2D skici, kterou umísťuje do roviny. Skica obvykle obsahuje základní tvar a všechny potřebné rozměry. Třetí rozměr získává model pomocí funkce vytažení nebo rotace.
- Synchronní modelování je metoda, při níž není potřeba brát ohledy na její časovou posloupnost. Model vzniká přirozeně na základě editování částí nebo větších celků vytvářené geometrie.

Při tvorbě CAD modelu stroje byly použity všechny výše popsané metody. Základní součásti stroje byly modelovány pomocí skic. Bylo dbáno zejména na dodržení návaznosti rozměrů, které tvoří základní kinematiku stroje.



Obr. 69. Tvořící skica

Nejprve byla vytvořena základna stroje. Poté vznikly další součásti v rámci sestavy. Díky tomuto postupu byly součásti tvořeny v souvislostech a s ohledem na okolní geometrii. Pro tuto činnost bylo s výhodou použito synchronní modelování.

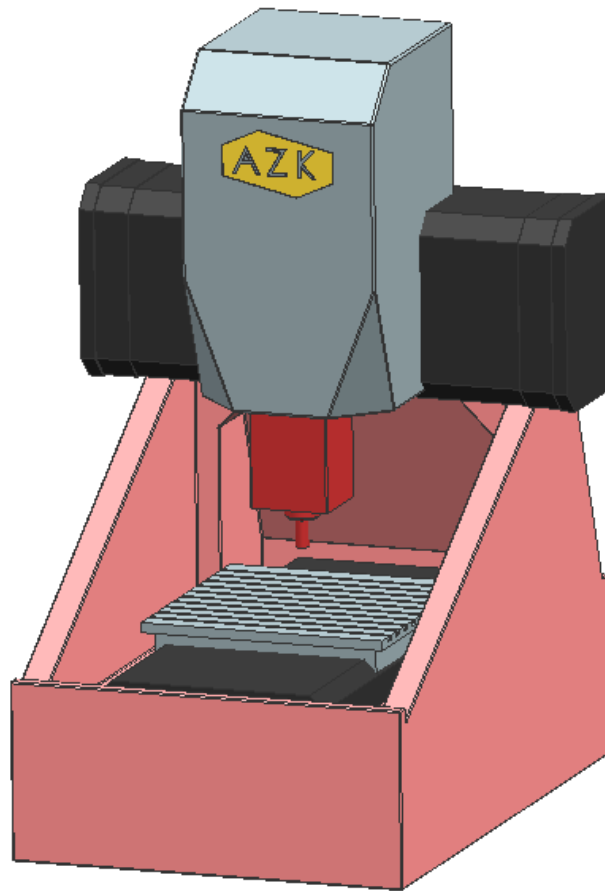


*Obr. 70. Sestava základních částí stroje*

Partie modelu jako jsou drážky, válcové výstupky, úkosy a rádiusy byly tvořeny pomocí třetí metody modelování tzv. modelování prvků. S výhodou bylo použito zrcadlení prvků a tvorba polí.

Model stroje byl přiměřeně zjednodušen v méně podstatných partiích např. součásti kryjící vedení. Tyto detaily je možno sice simulovat včetně pohybu lamel, tato funkčnost však nepřinese žádné vylepšení kvality simulace a neúměrně navýší hardwarové požadavky.

Celá sestava stroje byla namodelována parametricky a asociativně. Tato skutečnost zabezpečuje velmi snadnou a rychlou úpravu modelu při odhalení chyb, které mohly vzniknout při odměřování na skutečném stroji.



*Obr. 71. Kompletní CAD model stroje*

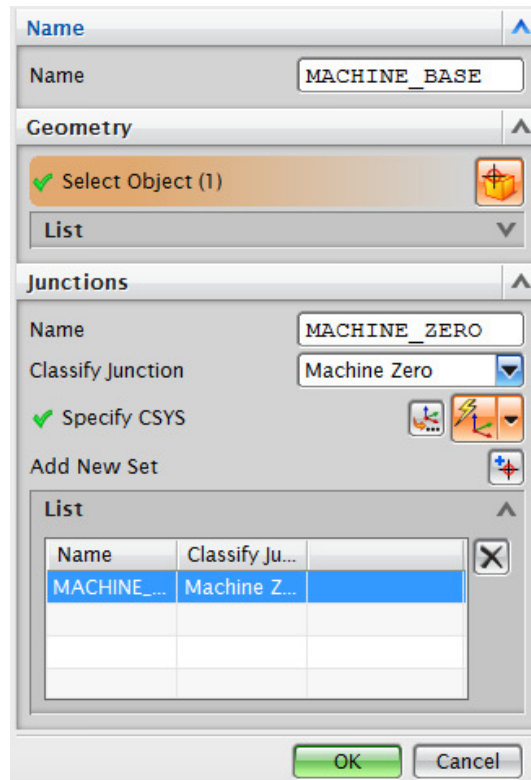
Po dokončení modelování byla provedena kontrola všech důležitých rozměrů a jejich porovnání se skutečným strojem. Po přeměření byly upraveny některé drobné nedostatky.

Na závěr byla sestava stroje upravena pomocí parametrů řídicích vztah mezi jednotlivými komponenty tak, aby osa vřetene byla nad středem stolu a čelo vřetene se dotýkalo jeho horní plochy. Tato snadná úprava výrazně usnadnila další práci při definici kinematiky na modelu stroje.

### **11.3 Vložení kinematických podmínek**

Do 3D modelu stroje byly vloženy kinematické podmínky pomocí aplikace Machine tool builder, která je součástí NX.

Jako první byly do stromové struktury kinematiky vloženy komponenty rámu stroje včetně všech pevných částí. Tomuto celku byl přidělen název „Machine base“. Součástí tohoto prvku byl definován souřadný systém a nulový bod stroje.



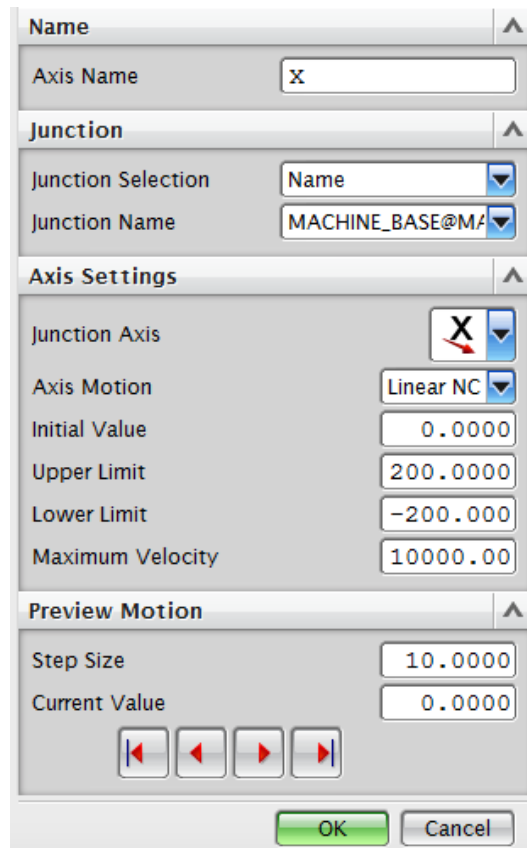
Obr. 72. Menu „Machine component“

Následně byly vkládány další komponenty. Jejich pořadí a struktura byla určena pomocí návazností jednotlivých dílů. Jednalo se tedy o komponentu zajišťující pohyb v ose „X“, na tuto bylo navázáno vřetenem, které zároveň zajišťuje pohyb v ose „Z“. Nezávisle na těchto dvou částech byl vložen stůl, jenž umožňuje vykonávat pohyb v ose „Y“.

Veškeré vkládané prvky byly řádně označeny tak, aby byla zajištěna návaznost na postprocessor a tím umožněna simulace NC-kódu.

Na komponentu vřetenem byl vytvořen souřadný systém v místě vkládání nástroje. Tento následně umožní automatické vložení nástroje na správné místo.

Pro všechny tři komponenty zajišťující lineární pohyb v osách X, Y a Z byly vyplněny parametry týkající se těchto os. Zejména pak název osy a jejich rozsahy. Dále byl také ověřen kinematický model pomocí náhledu na pohyb os.



Obr. 73. Menu „Axis“

Jako poslední byly do stromu vloženy položky typu Setup, které neobsahují žádný komponent. Tyto 3D modely budou automaticky vloženy při přiřazení stroje k operaci.

⊖ MACHINE_BASE	_MACHINE_BASE	MACHINE_ZERO*			
⊖ PORTAL			X	0	✓
⋮ VRETENO		S*	Z	0	✓
⊖ STUL			Y	0	✓
⊖ SETUP	_SETUP_ELEMENT	PART_MOUNT_JCT			
⋮ PART	_PART, _SETUP_ELEMENT				
⋮ BLANK	_WORKPIECE, _SETUP_E...				
⋮ FIXTURE	_SETUP_ELEMENT				

Obr. 74. Kinematický strom stroje

## 11.4 Definice stroje v NX

Po kompletním nastavení byla sestava stroje uložena do adresářové struktury, která obsahuje mimo sestavu i postprocesor a definici řídicího systému. Pro náš případ byl zvolen řídicí systém Fanuc, který odpovídá řídicímu systému stroje.



Veškeré soubory byly nakopírovány přímo do adresářů NX, které jsou určeny pro definici strojů. Do souboru machine\_database.dat byl zapsán nový záznam o vytvořeném stroji včetně všech dalších záznamů.

```
#####
#
# machine_database.dat - database file for machine database stored as ascii file
#####
#
#####
## Data file for the Machine tool
##
##
## The following key words for Attribute ids are defined
##
## LIBRF - unique record identifier
## T - Machine type - 1-Mill machines
## - 2-Lathe machines
## - 3-Wedm machines
## - 4-MillTurn machines
## - 9-Mixed machines
##
## MNF - Manufacturer
## DESCR - Short description ( for example 3 Axis Mill)
## CNTR - indicating the controller of the machine
##
## POST - the configuration file name with the list of
## postprocessors for this machine
## (The path will be found from the search path environment variable)
## RIGID - Rigidity factor to apply to data from the machining data library
## This will normally be a number less than or equal to 1.0
## GRAPHICS- Geometry of the kinematic machine tool prt file
## (The full path needs to be included)
##
#####
FORMAT LIBRF T DESCR CNTR MNF POST RIGID GRAPHICS
#-----

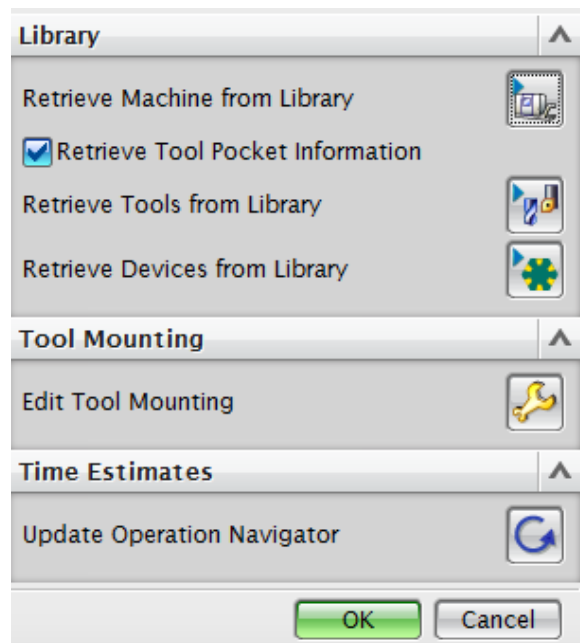
DATA|CSE_DEMO|1|UTB_AZK|DEMO MACHINE TOOL|FANUC|
${UGII_CAM_LIBRARY_INSTALLED_MACHINES_DIR}CSE_DEMO\CSE_DEMO.dat
|1.000000|${UGII_CAM_LIBRARY_INSTALLED_MACHINES_DIR}CSE_DEMO\graphics\CSE_DEMO

#DATA|sim06_mill_5ax_fanuc_mm|1|5-Ax Mill Vertical BC-Table Offset|Fanuc|Example|
${UGII_CAM_LIBRARY_INSTALLED_MACHINES_DIR}sim06_mill_5ax#\sim06_mill_
5ax_fanuc_mm.dat|1.000000|${UGII_CAM_LIBRARY_INSTALLED_MACHINES_DIR}CSE_DEMO
\graphics\CSE_demo_machine_tool_assy
```

Obr. 75. Definice stroje do knihovny

## 11.5 Vkládání stroje do operací NX

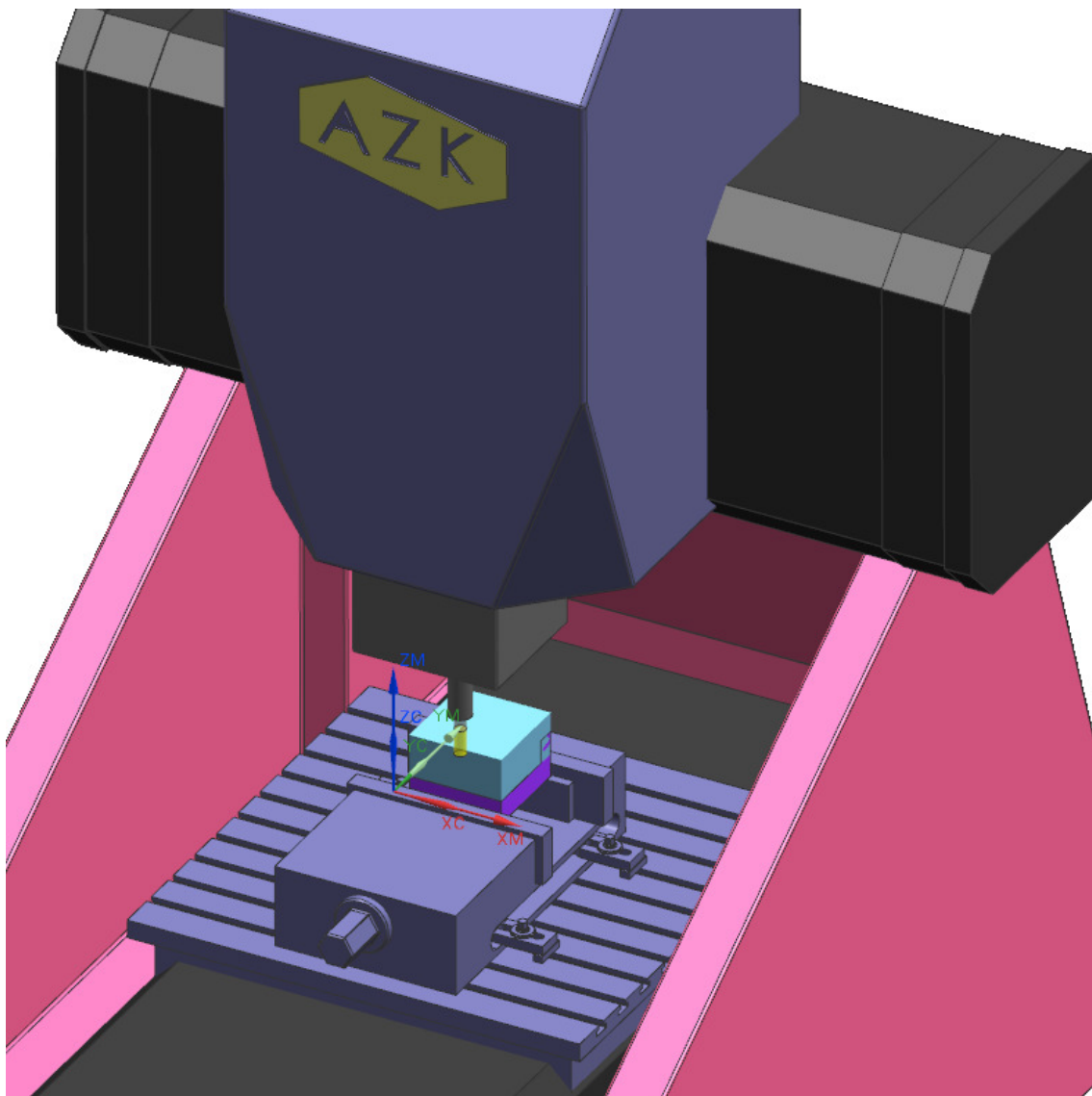
Vkládání stroje do NC operací proběhlo pomocí menu Machine library. Byl vybrán stroj a následně proběhlo potvrzení obráběného dílu, polotovaru a volba souřadného systému pro vložení.



Obr. 76. Menu „Machine library“

Po potvrzení menu proběhlo vložení kompletní sestavy stroje. Svěrák, který byl v operacích zadán jako Check geometrie, byl vložen dle souřadného systému na stůl stroje. Obrobek a polotovaz zůstal umístěn mezi čelistmi svěráku.

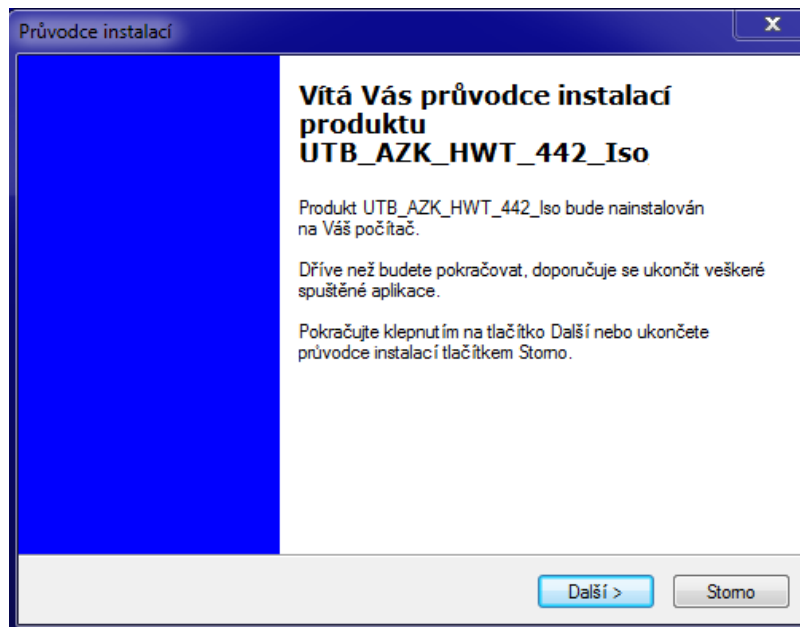
Samotná simulace testovací operace proběhla včetně úběru materiálu správně a bez jakýchkoliv komplikací či kolizních stavů.



*Obr. 77. Simulace stroje*

## 12 PŘÍPRAVA INSTALAČNÍCH BALÍČKŮ

Pro snadnou distribuci nástrojů, které byly v rámci této práce připraveny, byly vytvořeny instalační balíčky. Tyto byly vytvořeny pro postprocessor, dílenskou dokumentaci a kinematický model stroje.



*Obr. 78. Průvodce instalací*

Veškeré instalace jsou řízeny systémovou proměnnou „UGII\_BASE\_DIR“, která odkazuje na adresář s aplikací NX. Vytvořené balíčky jsou přílohou této práce na CD.

## ZÁVĚR

Cílem této diplomové práce bylo vytvoření komplexního uživatelského prostředí pro technologa, respektive programátora CNC strojů v CAD/CAM systému NX. Pro prověření funkčnosti byla použita 3-osá frézka HWT, jejímž výrobcem je firma AZK a pro řízení používá systém založený na základech ISO kódu.

Výsledkem práce je připravená knihovna nástrojů a držáků, která je vložena do NX. Dále je pomocí aplikace PostBuilder vytvořen postprocessor pro řízení stroje AZK HWT a dílenskou dokumentaci. Tato dokumentace tvoří přílohu NC-kódu a obsahuje veškeré potřebné informace pro obsluhu daného stroje.

Je zde navrženo uživatelské prostředí, které se skládá nejen z rozložení ikon a funkcí, ale také z jejich uložení do uživatelské „role“, pomocí níž lze velmi jednoduše přepínat nastavení. Součástí tohoto návrhu prostředí je i úprava několika základních dialogů operací. Tyto operace jsou zaměřeny zejména na vrtání a frézování. Jedná se zejména o základní typy hrubování, obrábění hran a křivek a dokončování rovinných ploch. Veškerá nastavení operací byla vložena do uživatelské šablony.

Šablony neboli templates byly vloženy do samostatného souboru a vloženy do příslušných adresářů určených pro tyto soubory. Pro snadné doplňování a editaci této šablony byla vytvořena v rámci NX nová paleta, která obsahuje přímý odkaz k souboru bez nutnosti jeho vyhledávání.

Poslední částí byla tvorba simulačního modelu stroje a prověření jeho funkčnosti. Nejprve byl proměřen reálný stroj, na základě tohoto měření byl vytvořen v aplikaci CAD 3D model. Tento model je ve všech funkčních částech věrný včetně rozsahu jednotlivých os. K tomuto modelu byly dodefinovány kinematické parametry. K sestavě stroje byl přidán postprocessor a řídicí systém. Veškeré nastavení bylo prověřeno na testovacím dílu. Při testu byly veškeré simulované pohyby věrné.

V současné době se většina výrobních firem věnuje optimalizaci výrobních postupů a díky tomu se snaží uspořit finanční prostředky. Oproti tomu je jen velmi malý počet podniků, kde je kladen stejný důraz na optimalizaci v předvýrobní etapě. Přesto je i v této části životního cyklu možno uspořit zásadní přípravné časy, které se mohou dále projevit v nákladech na výrobek.

**SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY**

- [1] MÁDL, Jan, KAFKA, Jindřich, VRABEC, Martin, DVOŘÁK, Rudolf. *Technologie obrábění 1. Díl*. Skripta ČVUT, Praha.
- [2] Kolektiv autorů UTB. *Podklady pro výuku - Prezentace\_Obrábění.ppt*.
- [3] SOVA, F. *Technologie obrábění a montáže*. Skripta ZČU, Plzeň, 2001.
- [4] *Free CAD: historie CADu* [online]. [cit. 2010-02-10]. Dostupný z WWW: <[http://free.tcad.cz/cad\\_historie.html](http://free.tcad.cz/cad_historie.html)>.
- [5] *CAD/CAM : stručná historie* [online]. [cit. 2010-02-13]. Dostupný z WWW: <[http://www.fi.muni.cz/usr/jkucera/pv109/2002/xkubin2\\_CAD-CAM.htm](http://www.fi.muni.cz/usr/jkucera/pv109/2002/xkubin2_CAD-CAM.htm)>.
- [6] *Hermle: Hermle C30/C40* [online]. [cit. 2010-02-10]. Dostupný z WWW: <<http://www.hermle.de>>.
- [7] BRYCHTA, Josef, ČEP, Robert, SADÍLEK, Marek, PETŘKOVSKÁ, Lenka, NOVÁKOVÁ, Jana. *Nové směry v progresivním obrábění*, 1. Vydaní Ostrava: Ediční středisko VŠB-TUO, 2007. 251 s. ISBN 978-80-248-1505-3.
- [8] *Iscar: frézovací nástroje* [online]. [cit. 2010-02-15]. Dostupný z WWW: <<http://www.iscar.com>>.
- [9] *ALZMETALL: Vrtání* [online]. [cit. 2010-03-01]. Dostupný z WWW: <<http://mcshop.com/ALZMETALL.aspx>>..
- [10] *ACME: Manufacturing* [online]. [cit. 2010-02-20]. Dostupný z WWW: <<http://www.acmemfg.com>>.
- [11] SMID, Peter. *CNC programming handbook*. New York, Industrial Press Inc., 2003. 483 s. ISBN 0-8311-3158-6.
- [12] *Misan: Soustružnická centra* [online]. [cit. 2010-02-18]. Dostupný z WWW: <<http://www.misan.cz>>.
- [13] *Kovosvit: Multifunkční obráběcí centra* [online]. [cit. 2010-02-12]. Dostupný z WWW: <<http://www.kovosvit.cz>>.

- [14] AZK: *Frézka HWT* [online]. [cit. 2010-02-10]. Dostupný z WWW: <<http://www.azk.cz>>.
- [15] SADÍLEK Marek, CAM systémy v obrábění 1
- [16] KELLER, P. Prezentace přednášek - 2.část [online]. Liberec: Katedra výrobních systémů TU Liberec, FS, 2005 [cit.2007-19-5]. Skripta elektronická. Programování a řízení CNC strojů. Dostupné z www: <http://www.kvs.vslib.cz/>
- [17] PETERKA, CAD/CAM systémy
- [18] PETERKA J.; KURIC, I. CAD/CAM systémy – významný prvok integrované výroby. časopis Infoware, č.8/98, Bratislava, 1998, s.24-27.
- [19] KOŽMÍN, P. Kdy nasadit NC technologie a CAM řešení. Příspěvek na semináři pořádaný na KTO s firmou Expert&Partner. Plzeň, ZČU únor 2001.
- [20] MANLING F. *Současný stav a trendy v oblasti CAx techniky*, WEB časopis "Počítačem podporované systémy v strojárstve", srpen 2000.
- [21] *Pavkrej: technologie obrábění* [online]. [cit. 2010-02-10]. Dostupný z WWW: <<http://www.pavkrej.wz.cz/web/texty/frez.doc>>.
- [22] MÁDL, Jan, KAFKA, Jindřich, VRABEC, Martin, DVOŘÁK, Rudolf. *Technologie obrábění 3. Díl*. Skripta ČVUT, Praha.

**SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK**

CAD	Počítačová podpora návrhu výrobku	
CAPP	Počítačová podpora při zpracování technologické dokumentace	
CAQ	Počítačová podpora řízení kvality	
CAPPS	Počítačová podpora systémů plánování a řízení výroby	
CAMA	Počítačová podpora údržby technických zařízení	
CAE	Počítačem podporované inženýrství	
CAPE	Počítačová podpora výrobního inženýrství	
CAR	Počítačová podpora robotiky	
CARC	Počítačová podpora řízení a programování robotů a manipulátorů	
CAM	Počítačem podporovaná výroba	
CATS	Počítačová podpora řízení mezioperační dopravy a skladování	
CAT	Počítačová podpora zkoušení, měření a diagnostiky	
CAA	Počítačová podpora montáže výrobků	
CIM	Výroba integrovaná počítačem	
PDM	Systém pro správu obecných dat o výrobku	
PLM	Systém řízení životního cyklu výrobku	
PPS	Výrobně plánovací systémy	
NC	Číslicově řízený stroj	
CNC	Počítačem číslicově řízený stroj	
HSC	Vysokorychlostní obrábění	
ISO	Mezinárodní organizace pro normalizaci	
$v_c$	Řezná rychlost	$\text{m}\cdot\text{min}^{-1}$
$v_f$	Rychlost posuvu	$\text{m}\cdot\text{min}^{-1}$
D	průměr	mm



---

N	otáčky	min <sup>-1</sup>
$\pi$	Ludolfovo číslo	

**SEZNAM OBRÁZKŮ**

<i>Obr. 1. Frézování [8]</i> .....	14
<i>Obr. 2. Válcové frézování [7]</i> .....	14
<i>Obr. 3. Čelní frézování [21]</i> .....	14
<i>Obr. 4. Sousedné frézování [2]</i> .....	15
<i>Obr. 5. Nesousedné frézování [2]</i> .....	15
<i>Obr. 6. Soustružení [8]</i> .....	16
<i>Obr. 7. Podélné soustružení [2]</i> .....	17
<i>Obr. 8. Příčné soustružení [2]</i> .....	17
<i>Obr. 9. Broušení [10]</i> .....	17
<i>Obr. 10. Broušení válcových ploch [7]</i> .....	18
<i>Obr. 11. Broušení rovinných ploch [7]</i> .....	18
<i>Obr. 12. Vrtání [9]</i> .....	19
<i>Obr. 13. Vrtání [22]</i> .....	19
<i>Obr. 14. Zahlubování pro šrouby [2]</i> .....	20
<i>Obr. 15. Obrábění přesné díry [2]</i> .....	20
<i>Obr. 16. Hoblování [11]</i> .....	20
<i>Obr. 17. Hoblování [7]</i> .....	21
<i>Obr. 18. Obrážení [7]</i> .....	21
<i>Obr. 19. Protahování [7]</i> .....	21
<i>Obr. 20. Svislá konzolová frézka [2]</i> .....	22
<i>Obr. 21. Vodorovná konzolová frézka [2]</i> .....	22
<i>Obr. 22. Stolová frézka [7]</i> .....	23
<i>Obr. 23. Rovinná frézka [7]</i> .....	23
<i>Obr. 24. Rovinná portálová frézka [7]</i> .....	23
<i>Obr. 25. Pětiosá frézka Hermle C30/C40 [6]</i> .....	25
<i>Obr. 26. CNC soustruh MAZAK Quick Smart 200 [12]</i> .....	26
<i>Obr. 27. Multifunkční centrum MAS MULTICUT 500 [13]</i> .....	26
<i>Obr. 28. Frézy firmy Walter [7]</i> .....	27
<i>Obr. 29. CAx systém a čas realizace zakázky [17]</i> .....	28
<i>Obr. 30. CAD systém DAC [5]</i> .....	35
<i>Obr. 31. CAD/CAM systém UNI-GRAPHICS [5]</i> .....	36

<i>Obr. 32. Objemový modelář UniSolid [5] .....</i>	<i>36</i>
<i>Obr. 33. Hierarchie výroby součásti pomocí CAD/CAM systémů [ 23 ] .....</i>	<i>39</i>
<i>Obr. 34. Knihovna nástrojů .....</i>	<i>44</i>
<i>Obr. 35. Menu pro přípravu nástrojů .....</i>	<i>45</i>
<i>Obr. 36. Menu pro přípravu dríku nástroje .....</i>	<i>46</i>
<i>Obr. 37. Menu pro přípravu držáku nástroje .....</i>	<i>47</i>
<i>Obr. 38. Menu pro další parametry nástroje .....</i>	<i>48</i>
<i>Obr. 39. Vizualizace nástroje .....</i>	<i>49</i>
<i>Obr. 40. Menu pro vložení nástroje .....</i>	<i>49</i>
<i>Obr. 41. Menu výběr typu nástroje .....</i>	<i>50</i>
<i>Obr. 42. Menu výběr nástroje z knihovny .....</i>	<i>51</i>
<i>Obr. 43. Menu pro základní parametry postprocesoru .....</i>	<i>53</i>
<i>Obr. 44. Menu pro definici kinemtiky .....</i>	<i>54</i>
<i>Obr. 45. Ukázka pětiosé kinematiky strojů .....</i>	<i>55</i>
<i>Obr. 46. Rozdělení události postprocesoru .....</i>	<i>55</i>
<i>Obr. 47. Seznam G-kódů .....</i>	<i>56</i>
<i>Obr. 48. Seznam M-kódů .....</i>	<i>57</i>
<i>Obr. 49. Rozložení NC-kódu .....</i>	<i>57</i>
<i>Obr. 50. Menu pro příkaz v NC-kódu .....</i>	<i>58</i>
<i>Obr. 51. Definice kruhové interpolace .....</i>	<i>59</i>
<i>Obr. 52. Ukázka TCL kódu .....</i>	<i>59</i>
<i>Obr. 53. Načítání parametrů nástroje .....</i>	<i>62</i>
<i>Obr. 54. Načítání parametrů operace .....</i>	<i>62</i>
<i>Obr. 55. Zjišťování struktury NC operací .....</i>	<i>63</i>
<i>Obr. 56. Výpis parametrů dokumentace .....</i>	<i>64</i>
<i>Obr. 57. Dílenská dokumentace (ShopDoc) .....</i>	<i>65</i>
<i>Obr. 58. Menu pro úpravu rozložení ikon .....</i>	<i>67</i>
<i>Obr. 59. Ikona uživatelské role .....</i>	<i>68</i>
<i>Obr. 60. Menu NC operace .....</i>	<i>69</i>
<i>Obr. 61. Menu pro editaci dialogu operace .....</i>	<i>70</i>
<i>Obr. 62. Seznam vkládaných objektů .....</i>	<i>70</i>
<i>Obr. 63. Náhled dialogu .....</i>	<i>71</i>
<i>Obr. 64. Zápis uživatelského vzoru .....</i>	<i>73</i>

---

<i>Obr. 65. Menu „CAM session configuration“ .....</i>	<i>73</i>
<i>Obr. 66. Uživatelská paleta .....</i>	<i>74</i>
<i>Obr. 67. Menu „template petting“ .....</i>	<i>74</i>
<i>Obr. 68. Frézka AZK – HWT [14] .....</i>	<i>75</i>
<i>Obr. 69. Tvořící skica .....</i>	<i>76</i>
<i>Obr. 70. Sestava základních částí stroje .....</i>	<i>77</i>
<i>Obr. 71. Kompletní CAD model stroje .....</i>	<i>78</i>
<i>Obr. 72. Menu „Machine component“ .....</i>	<i>79</i>
<i>Obr. 73. Menu „Axis“ .....</i>	<i>80</i>
<i>Obr. 74. Kinematický strom stroje .....</i>	<i>80</i>
<i>Obr. 75. Definice stroje do knihovny .....</i>	<i>81</i>
<i>Obr. 76. Menu „Machine library“ .....</i>	<i>82</i>
<i>Obr. 77. Simulace stroje .....</i>	<i>83</i>
<i>Obr. 78. Průvodce instalací .....</i>	<i>84</i>

## SEZNAM PŘÍLOH

P I. DVD nosič

## **PŘÍLOHA P I: DVD NOSIČ**

- instalační balíček postprocesoru
- instalační balíček dílenské dokumentace
- instalační balíček kinematického modelu stroje
- záznam simulace stroje