

Simulace CNC frézky v systému Vericut

Tomáš Januška

Bakalářská práce
2009/2010



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická
Ústav výrobního inženýrství
akademický rok: 2009/2010

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Tomáš JANUŠKA**
Studijní program: **B 3909 Procesní inženýrství**
Studijní obor: **Technologická zařízení**

Téma práce: **Simulace CNC frézky v systému Vericut**

Zásady pro vypracování:

1. Vypracujte literální studii na dané téma.
2. Zpracujte model frézky v systému Vericut.
3. Srovnajte digitální simulaci a reálné obrábění na zkušebním dílu.
4. Vyhodnoťte výsledky.

Rozsah práce:

Rozsah příloh:

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

Seznam odborné literatury:

Dle doporučení vedoucího BP.

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Jakub Černý

Ústav výrobního inženýrství

Datum zadání bakalářské práce:

19. února 2010

Termín odevzdání bakalářské práce:

2. června 2010

Ve Zlíně dne 19. ledna 2010



doc. Ing. Petr Hlaváček, CSc.
děkan



doc. Ing. Miroslav Maňas, CSc.
vedoucí katedry

Příjmení a jméno:

Obor:

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 ¹⁾;
- 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 ²⁾;
- beru na vědomí, že podle § 60 ³⁾ 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 ³⁾ odst. 2 a 3 mohu užít své dílo – diplomovou/bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování diplomové/bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tedy pouze k nekomerčnímu využití), nelze výsledky diplomové/bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem diplomové/bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Ve Zlíně

.....

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

ABSTRAKT

Tato bakalářská práce se zabývá simulací CNC frézky v systému Vericut. Vychází z teoretického základu technologie třískového obrábění zejména frézování, v přímé návaznosti na nasazení výpočetní techniky do technické praxe. Praktická část zahrnuje zpracování CAD modelu simulovaného stroje, vytvoření kinematické sestavy, přípravu CNC programů a samotnou simulaci CNC programu na virtuálním stroji.

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

ABSTRACT

This bachelor thesis deals with a simulation of CNC milling machine in the Vericut system. It is based on the theoretical concept of the cutting operation technology, in particular of the milling, in direct linkup on an application of the computing technique into technical practices. Practical part includes the way of processing of a CAD model of a simulated machine, creation of a kinematic assembly, preparation of CNC milling machines programs and simulation of CNC program on the virtual machine itself.

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

Děkuji vedoucímu bakalářské 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 bakalářské práce.

OBSAH

ÚVOD	10
I TEORETICKÁ ČÁST	11
1 ZÁKLADY TRÍSKOVÉHO OBRÁBĚNÍ	12
2 MECHANISMUS TVORBY TRÍSKY	13
3 TYPY OBRÁBĚNÍ	14
3.1 FRÉZOVÁNÍ	14
3.2 SOUSTRUŽENÍ.....	15
3.3 BROUŠENÍ	17
3.4 VRTÁNÍ	18
3.5 HOBLOVÁNÍ A OBRÁŽENÍ.....	19
3.6 PROTAHOVÁNÍ A PROTLAČOVÁNÍ	20
4 ZÁKLADNÍ TYPY STROJŮ PRO FRÉZOVÁNÍ	21
4.1 KONVENČNÍ STROJE	21
4.1.1 Konzolové frézky	21
4.1.2 Stolové frézky	21
4.1.3 Rovinné frézky	22
4.1.4 Speciální frézky.....	22
4.2 CNC STROJE.....	22
4.2.1 Frézky.....	23
4.2.2 Soustruhy.....	24
4.2.3 Multifunkční centra	24
5 NÁSTROJE PRO FRÉZOVÁNÍ	25
6 CAD/CAM SYSTÉMY	26
6.1 HISTORIE	26
6.2 CAD SYSTÉMY	29
6.2.1 Neparametrické CAD systémy.....	29
6.2.2 Parametrické CAD systémy	30
6.2.3 Asociativní CAD systémy.....	30
6.2.4 CAD systémy se synchronní technologie	30
6.3 CAM SYSTÉMY	30
7 SHRUTÍ TEORETICKÉ ČÁSTI	31
II PRAKTICKÁ ČÁST	32
8 TVORBA MODELU STROJE	33
8.1 MĚŘENÍ ROZMĚRŮ SKUTEČNÉHO STROJE.....	33
8.2 TVORBA CAD MODELU STROJE.....	34
9 VIRTUÁLNÍ MODEL STROJE	37
9.1 DEFINICE KINEMATIKY STROJE.....	37
9.2 TVORBA ŘÍDICÍHO SYSTÉMU	38
10 TVORBA NC PROGRAMU	39

10.1	CAD MODEL SOUČÁSTI	39
10.2	NC OPERACE	40
10.3	POSTPROCESING	42
11	SIMULACE CNC STROJE	43
12	REÁLNÉ OBRÁBĚNÍ	46
12.1	HRUBOVACÍ OPERACE	46
12.2	DOHRUBOVÁVACÍ OPERACE	46
12.3	DOKONČOVACÍ OPERACE	47
	ZÁVĚR	48
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	49
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	51
	SEZNAM OBRÁZKŮ	52
	SEZNAM TABULEK.....	54
	SEZNAM PŘÍLOH.....	55

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 dokáží odhalit konstrukční nedostatky bez nutnosti výroby prototypu nebo ověřovací série. Tato zjištění se zahrnou do konstrukčních úprav. Dále se data předají k přípravě NC-kódu. Programátor připraví NC-kód pomocí softwaru CAM. Většina CAM softwarů má integrovanou simulaci pro ověření správnosti dráhy nástroje. Následuje uložení NC-kódu pomocí postprocesoru, tím je zajištěna srozumitelnost instrukcí pro konkrétní stroj.

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

Ve své práci bych se rád věnoval řešení problematiky kvalitního ověření NC-kódu pomocí specializovaného softwaru pro verifikaci a optimalizaci NC-kódu.

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.

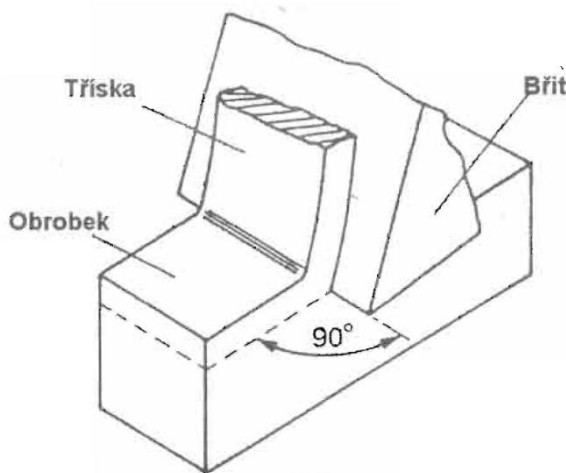
Stroj – má být ideálně tuhý, bez vůlí a vibrací. Všechny pohyblivé části by měly být lehké konstrukce, abychom omezili vliv setrvačných sil. Stroj musí mít dostatečný výkon, otáčky, případně posuvy tak, aby byla zajištěna obrobiteľnosť.

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

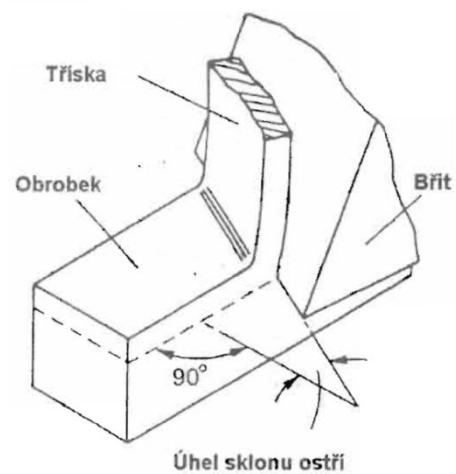
Obrobek – musí být pevně upnut. Základní vlastnosti při třískovém obrábění je řezivost. Je závislá na fyzikálních a mechanických vlastnostech, geometrii břitu, řezných podmínkách a řezném prostředí. Jednoduchým kritériem pro hodnocení řezivosti je závislost mezi časem a řeznou rychlostí.

2 MECHANISMUS TVORBY TŘÍSKY

Podstata všech obráběcích operací může být znázorněna podle obr. 1 a obr. 2. Obr. 1 představuje ortogonální – volné řezání (ostří je kolmé na směr řezného pohybu). Jde o dvou-rozměrný problém, který se realizuje při zapichování, frézování frézami s přímými zuby, hoblování, protahování apod. Na obr. 2 je zobrazeno vázané řezání, jež představuje třírozměrný problém, a realizuje se při podélném soustružení, vrtání, frézování frézami se šikmými zuby apod. [7]

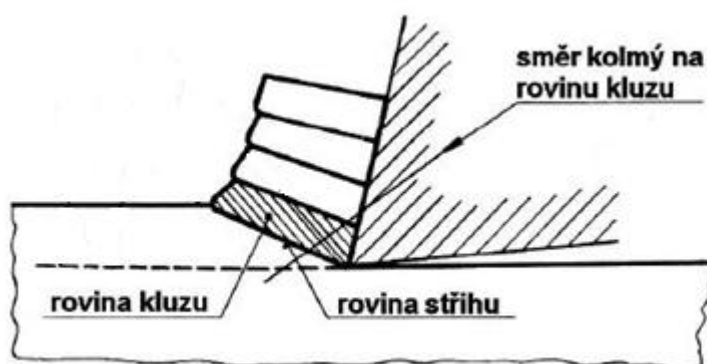


Obr. 1. Ortogonální – volné řezání [1]



Obr. 2. Ortogonální – vázané řezání [1]

Řezná část nástroje (břit) je tvořena dvěma plochami (čelem, po němž odchází tříška, a hřbetem), jejichž průsečnicí je ostří. Relativním pohybem nástroje vůči obrobku vzniká tříška (odříznutá a deformovaná vrstva materiálu). Její druh je závislý na obráběném materiálu a řezných podmínkách (hloubka řezu, posuv, řezná rychlost), eventuálně na dalších pracovních podmínkách (např. řezné kapaliny), které určují daný případ obrábění. [1]



Obr. 3. Vznik třísky [7]

3 TYPY OBRÁBĚNÍ

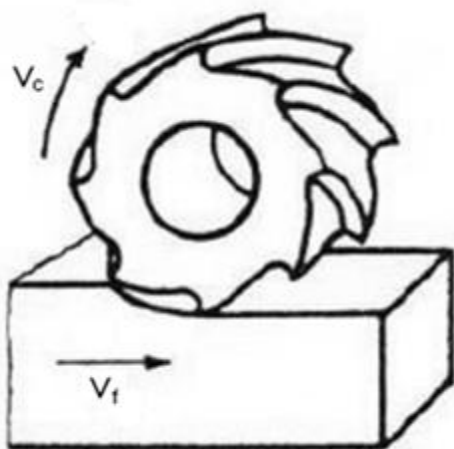
3.1 Frézování



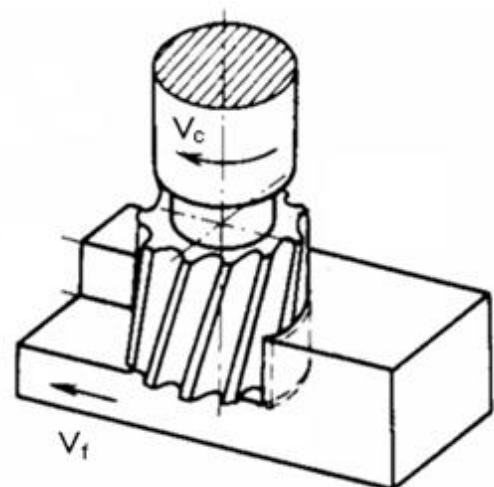
Obr. 4. Frézování [8]

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. 5. Válcové frézování [7]

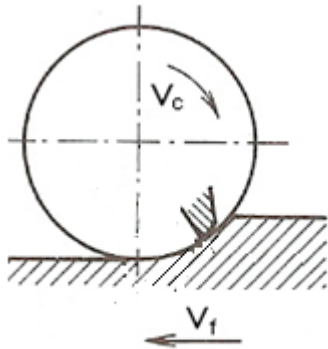


Obr. 6. Čelní frézování [19]

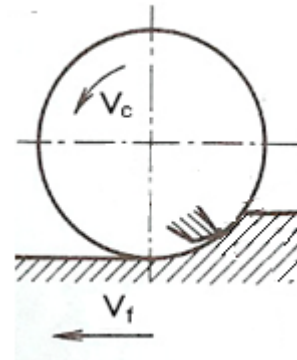
Další rozdělení je dle směru otáčení nástroje vůči obrobku:

- 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 (rázky), také na výslednou přesnost a kvalitu povrchu.



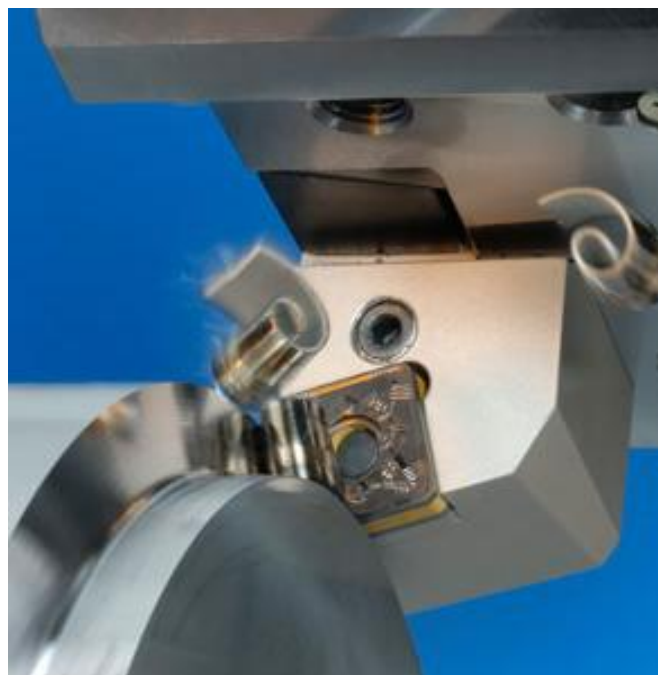
Obr. 7. *Sousledné frézování* [2]



Obr. 8. *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.

3.2 Soustružení



Obr. 9. *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 obroku je řeznou rychlostí, kterou lze vypočítat dle vztahu (1):

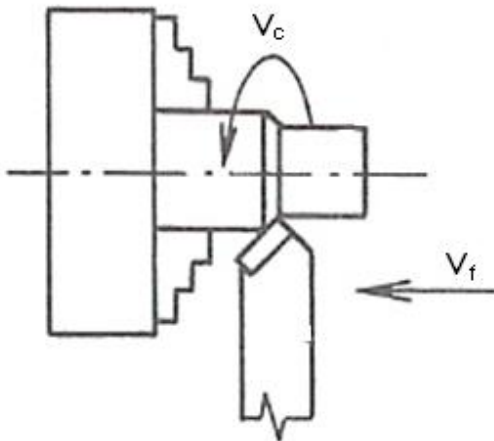
$$v_c = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000} \quad (1)$$

kde

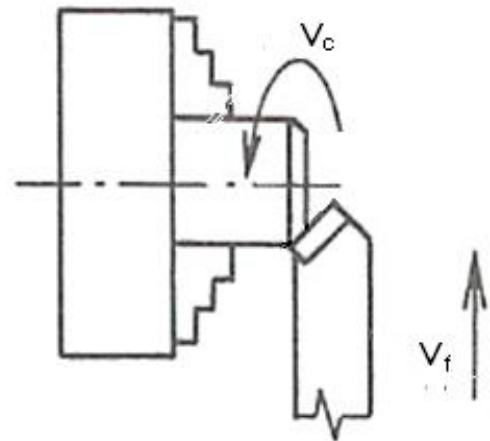
v_c řezná rychlost [$\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$],

D průměr obráběné plochy [mm],

n počet otáček [min^{-1}],



Obr. 10. Podélné soustružení [2]

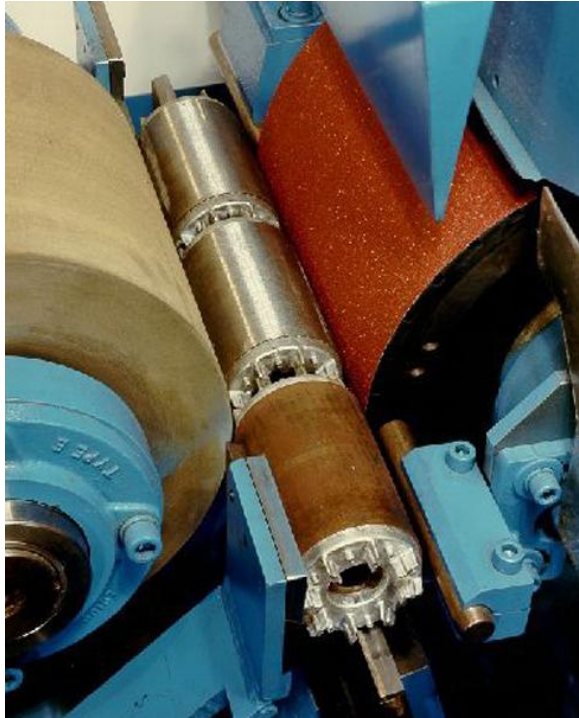


Obr. 11. Příčné soustružení [2]

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

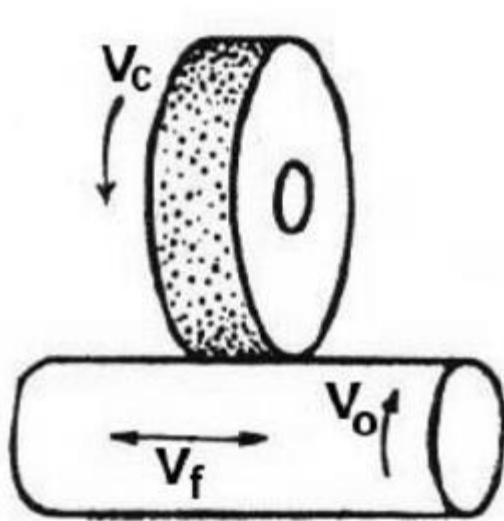
Dále můžeme na soustruzích provádět vrtání, vystružování, řezání závitů, vroubkování, válečkování atd.

3.3 Broušení

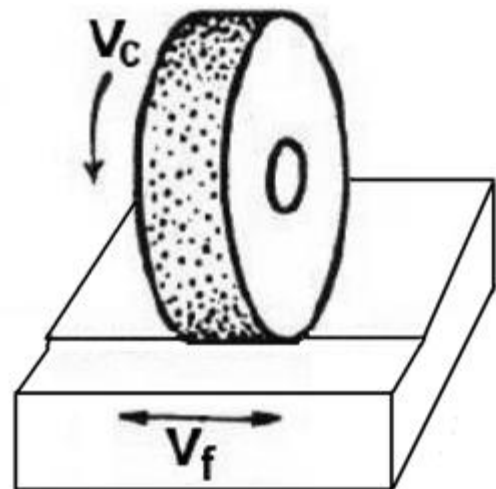


Obr. 12. Broušení [10]

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.



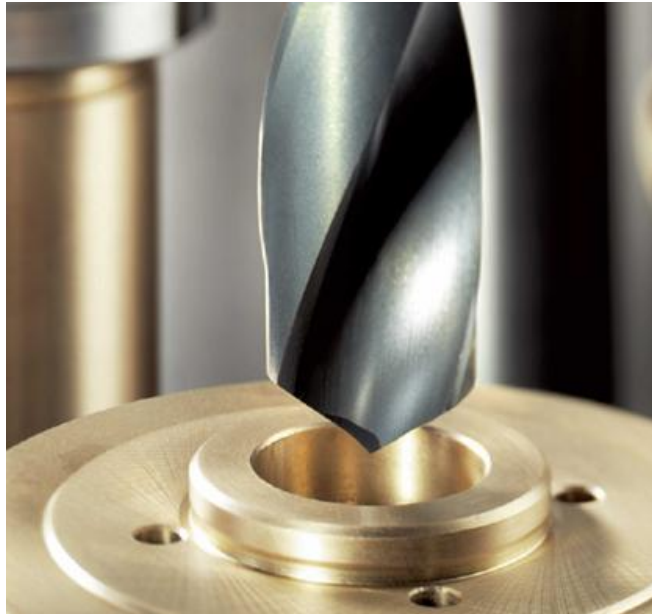
Obr. 13. Broušení válcových ploch [7]



Obr. 14. Broušení rovinných ploch [7]

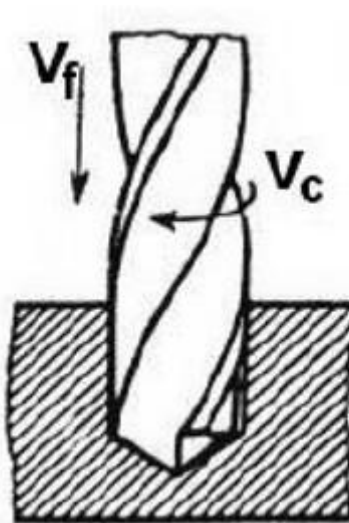
Broušením lze obrábět vnější i vnitřní válcové plochy, vnější i vnitřní kuželové plochy, rovinné plochy, kulové plochy. Dle konstrukce stroje a tvaru brusného kotouče lze brousit i velmi komplikované plochy např. obráběcí nástroje.

3.4 Vrtání



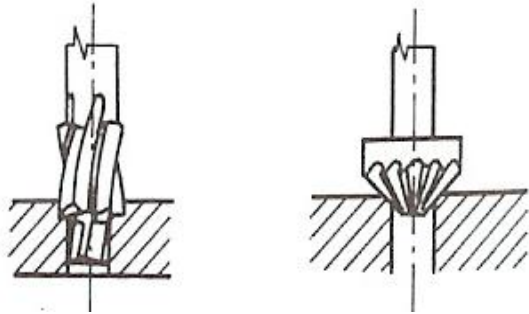
Obr. 15. Vrtání [9]

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

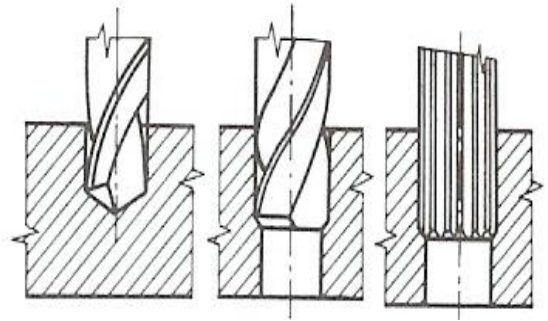


Obr. 16. Vrtání [16]

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

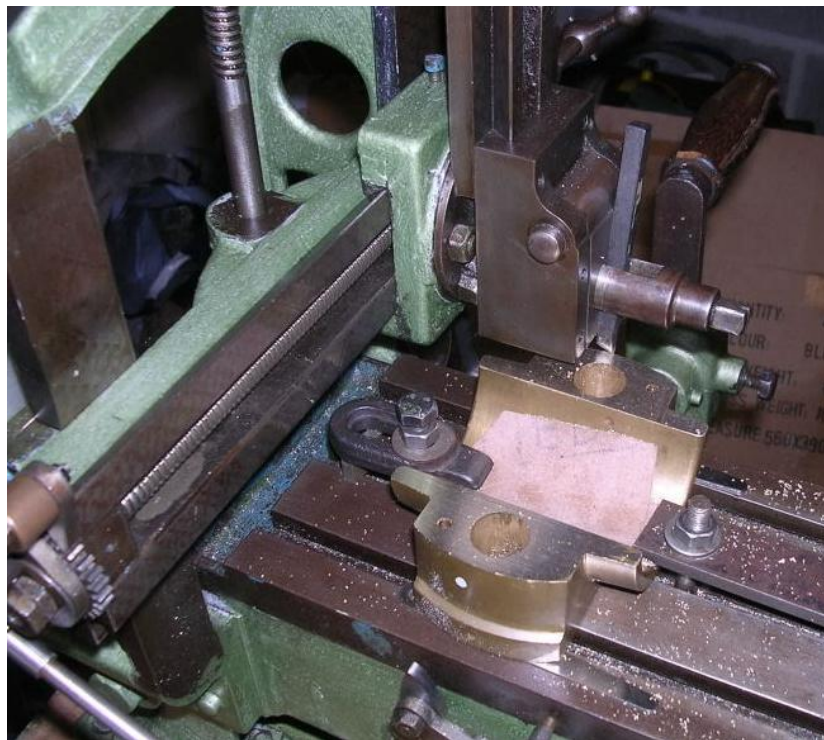


Obr. 17. Zahlubování pro šrouby [2]



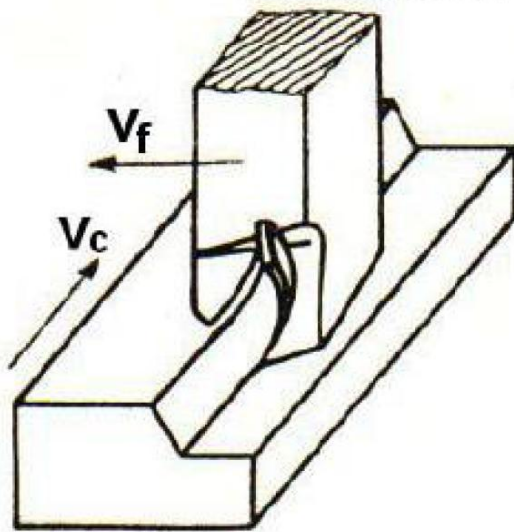
Obr. 18. Obrábění přesné díry [2]

3.5 Hoblování a obrážení

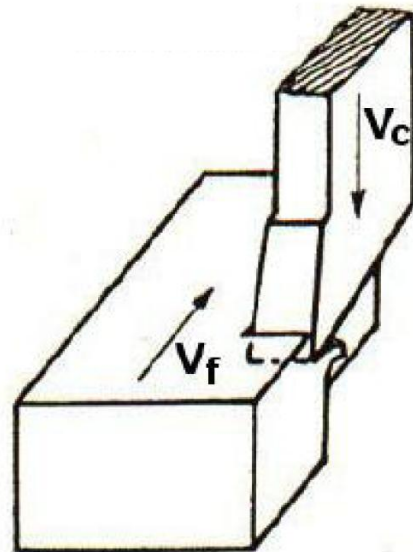


Obr. 19. Hoblování [11]

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



Obr. 20. Hoblování [7]

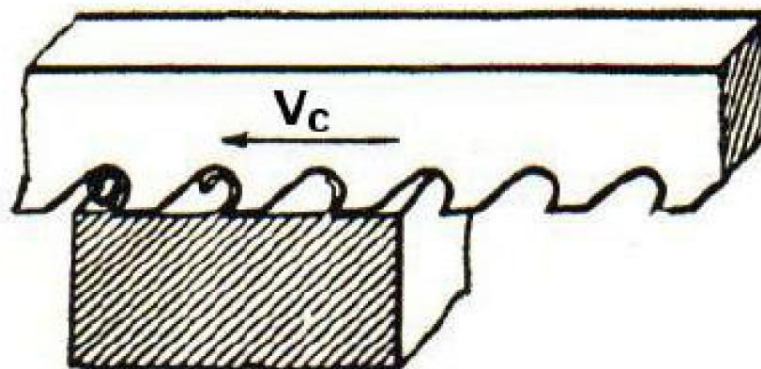


Obr. 21. Obrážení [7]

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

3.6 Protahování a protlačování

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



Obr. 22. Protahování [7]

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

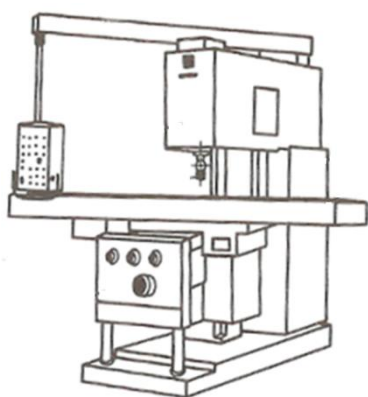
4 ZÁKLADNÍ TYPY STROJŮ PRO FRÉZOVÁNÍ

4.1 Konvenční stroje

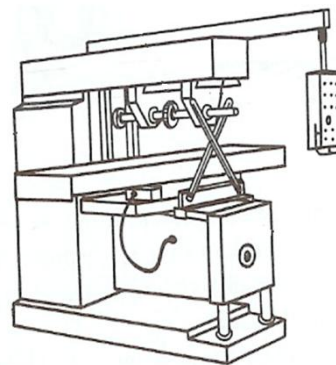
4.1.1 Konzolové frézky

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. 23. Svislá konzolová frézka [2]

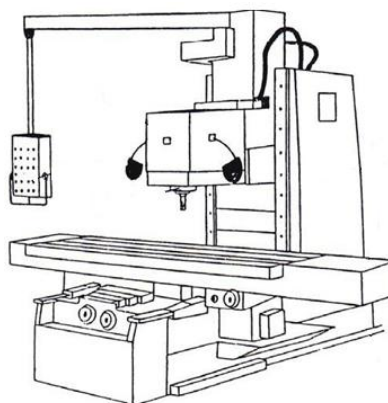


Obr. 24. Vodorovná konzolová frézka [2]

4.1.2 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.

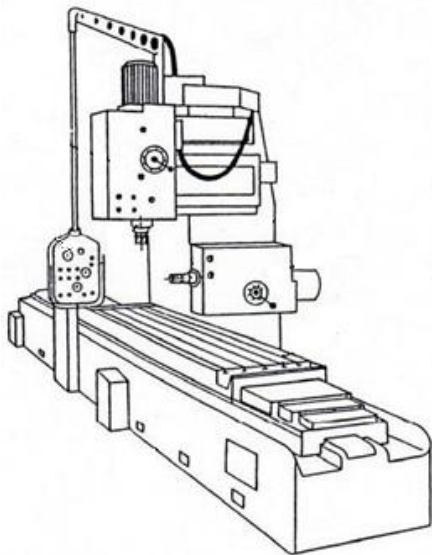
Stroje se vyrábí jako vodorovné (horizontální), nebo svislé (vertikální).



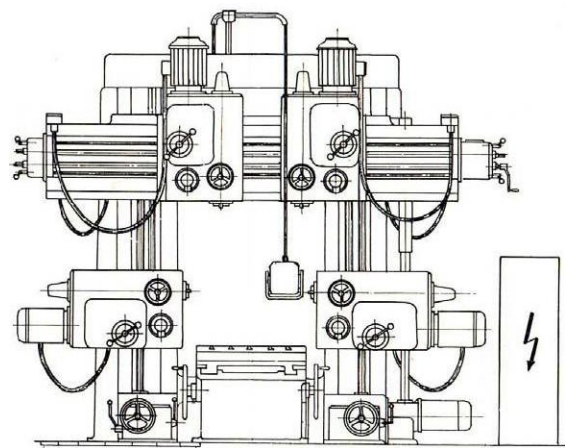
Obr. 25. Stolová frézka [7]

4.1.3 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 stroje, které jsou osazeny oběma typy vřetene. Tato obráběcí zařízení velkých rozměrů se vyrábí jako portálové.



Obr. 26. Rovinná frézka [7]



Obr. 27. Rovinná portálová frézka [7]

4.1.4 Speciální frézky

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

4.2 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.

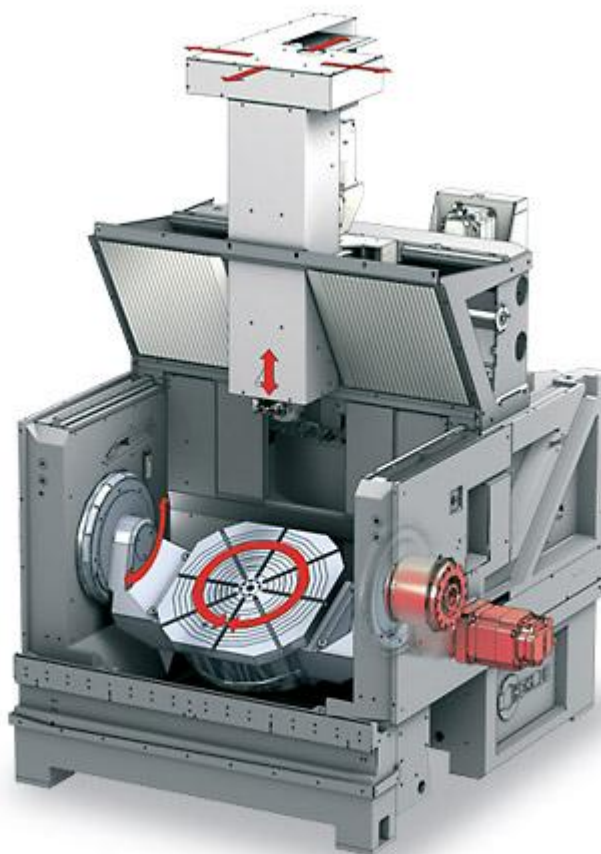
4.2.1 Frézky

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 jsou přidány dvě rotační osy.

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. Nežádka se vyskytují i stroje, které mají jednu rotační osu umístěnou na obecném vektoru.

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

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



Obr. 28. 5-osá frézka Hermle C30/C40 [6]

4.2.2 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 vřetene. U CNC soustruhu bývá nožová hlava za vřetenem, nezřídka 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. 29. CNC soustruh MAZAK Quick Smart 200 [12]

4.2.3 Multifunkční centra

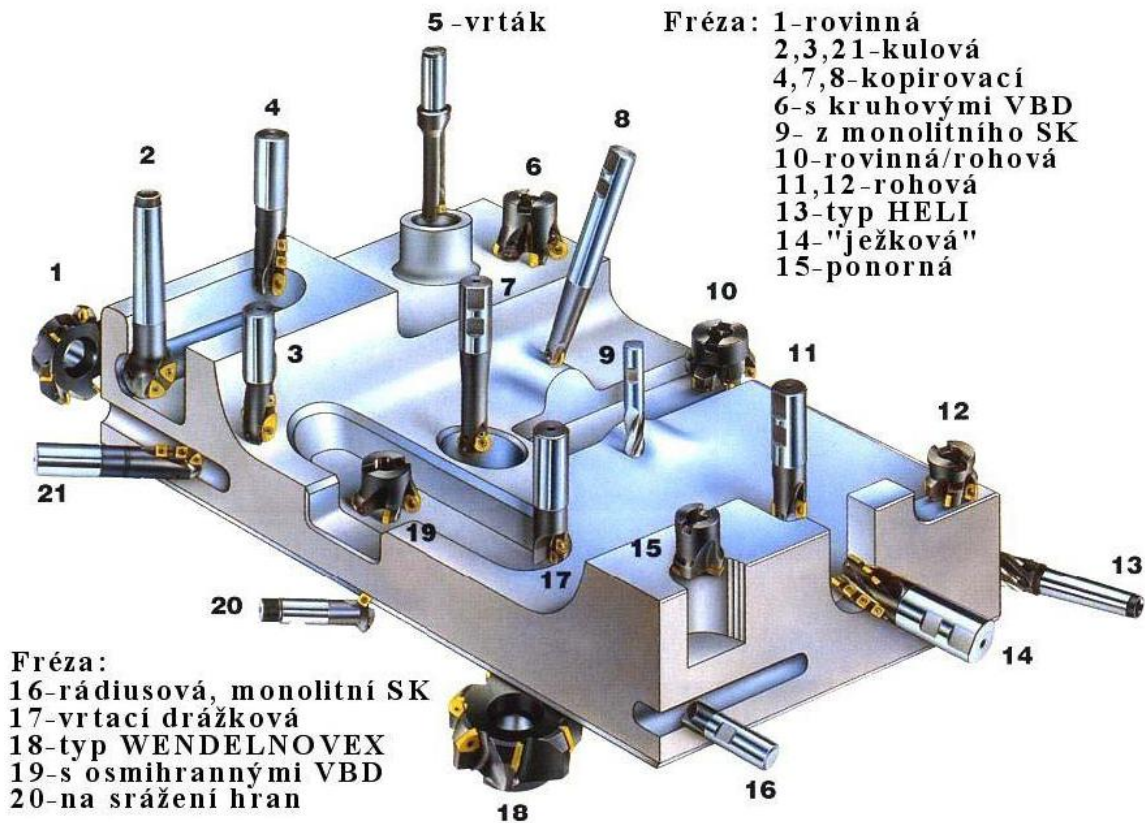
Za multifunkční centra jsou považovány stroje, které umožňují provádět obrábění pomocí různých technologií. Typicky soustružení-frézování nebo soustružení-broušení atd.

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. 30. Multifunkční centrum MAS MULTICUT 500 [13]

5 NÁSTROJE PRO FRÉZOVÁNÍ



Obr. 31. Frézy firmy Walter [7]

Frézy jsou několikabřité nástroje, na nichž jsou břity uspořádány na 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]

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. 32. 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 patřili: 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]

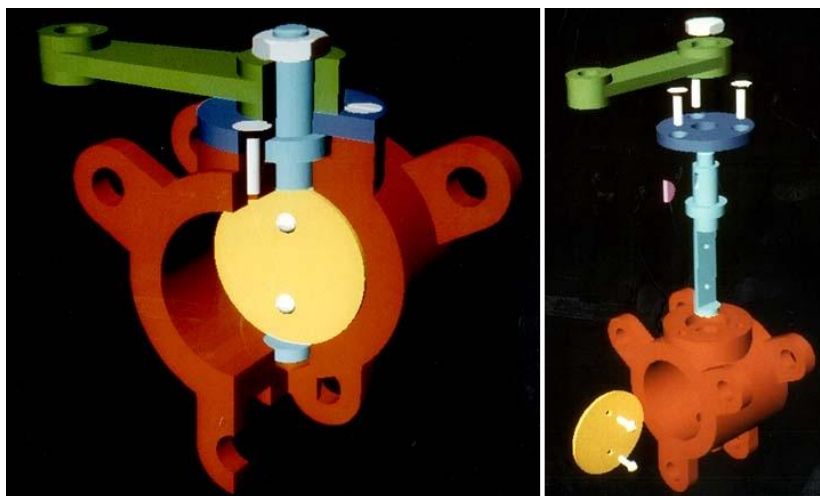
1973 – United Computing představila systém **UNI-GRAPHICS**. Software disponoval základními 2D možnostmi. [5]



Obr. 33. 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. 34. 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 nejstarší způsob práce. V jejím průběhu práce nevznikají žádné záznamy o historii modelů a ostatních entit. Takto vytvořená data mají nejmenší objem dat. Největší nevýhodou je velmi obtížná editace již vytvořených prvků. Pokud například vytvoříme úsečku

pomocí jejího počátečního bodu, délky a úhlu od osy „X“, v budoucnu již nelze tyto hodnoty znovu nalézt a upravit.

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

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.

7 SHRNU TÍ TEORETICKÉ ČÁSTI

V teoretické části byly shrnuty základní pojmy třískového obrábění a popis hlavních principů vybraných technologií. Byly představeny základní typy a konstrukční varianty obráběcích strojů zejména frézek. Druhá část byla zaměřena na CNC stroje a CAx systémy, které jsou nezbytné pro moderní výrobní proces.

II. PRAKTICKÁ ČÁST

8 TVORBA MODELU STROJE

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

8.1 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 vodicích ploch jednotlivých os a v na sebe kolmých rovinách tak, aby nedošlo ke zkreslení reálné kinematiky stroje.



Obr. 35. Frézka AZK – HWT [14]

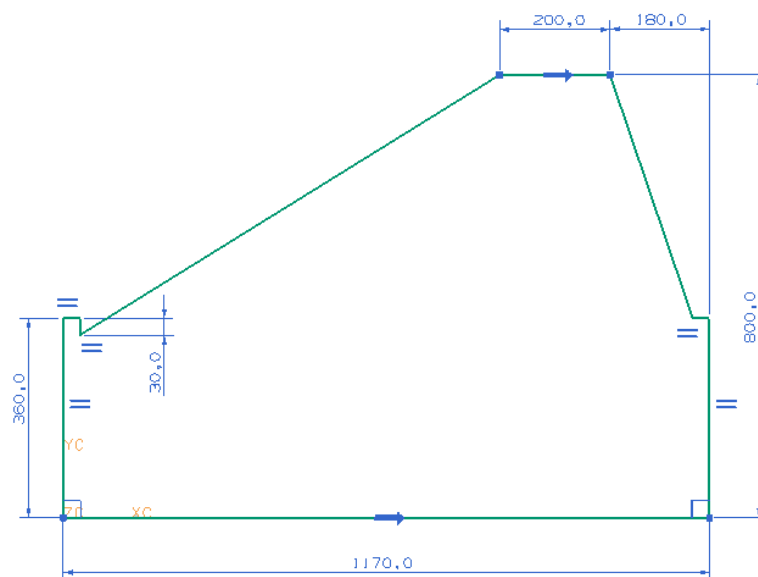
8.2 Tvorba CAD modelu stroje

Pro práci byl zvolen software NX, jenž je vyvíjen společností SIEMENS PLM SOFTWARE a patří mezi nejvýznamnější produkty na trhu.

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

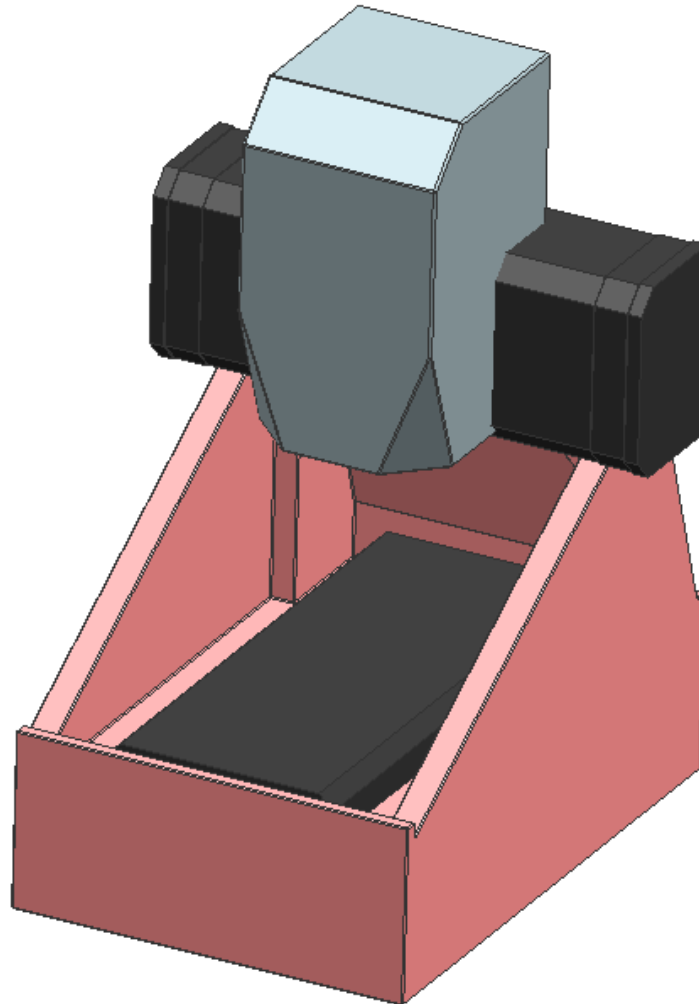
- Modelování pomocí prvků je velmi vhodné pro vytváření prizmatických dílů. Model vzniká pomocí přidávání předdefinovaných prvků, u kterých uživatel definuje rozměry a pozici vzhledem k okolní geometrii.
- Modelování pomocí skicáře je metodou používanou v drtivé většině CAD systémů. Uživatel vytváří 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. 36. 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.

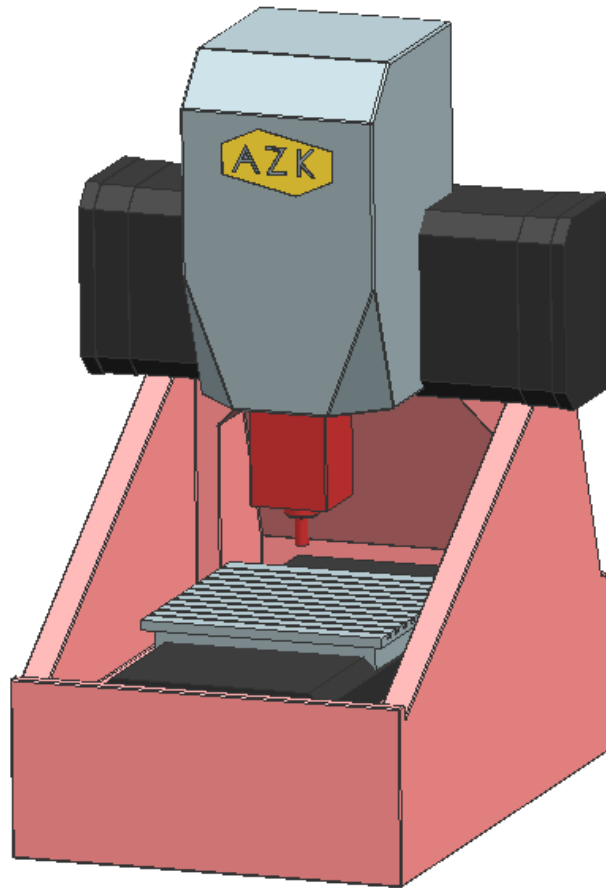


Obr. 37. Sestava základních částí stroje

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. 38. Kompletní CAD model stroje

Po dokončení modelování byla provedena kontrola všech důležitých rozměrů a jejich porovnání se skutečným stroje. 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.

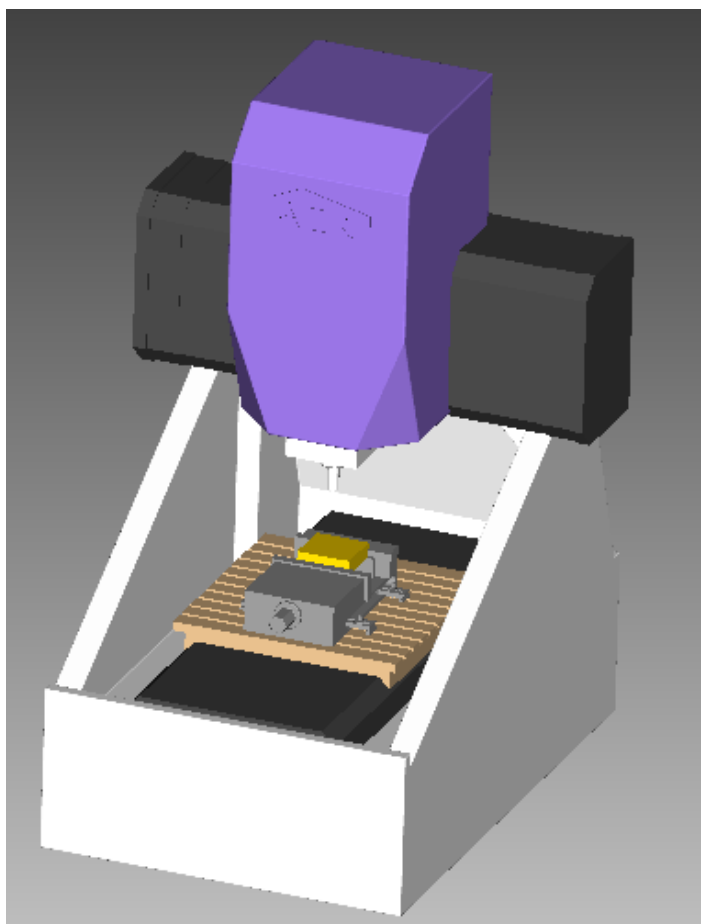
9 VIRTUÁLNÍ MODEL STROJE

Definice kinematiky do modelu stroje probíhala v softwaru Vericut. Předání dat z NX do systému Vericut proběhlo pomocí neutrálního formátu STP.

Nejdříve bylo nutno ověřit skutečný rozsah os na stroji, který se velmi často liší od údajů udávaných výrobcem. Tzv.: X 400 mm, Y 400 mm a Z 200 mm. Skutečný rozsah os: X 415 mm, Y 407 mm a Z 209 mm.

9.1 Definice kinematiky stroje

Tvorba stroje v systému Vericut probíhala podobně jako tvorba sestavy v NX. Do předpřipravené stromové struktury byly vkládány jednotlivé komponenty. Toto uspořádání přímo odpovídá souvislostem na stroji např. stůl je vázán na jeho vedení a tvoří posuvovou osu „Y“, na stůl je následně vázán svěrák a obrobek. Po vložení všech komponentů byly definovány rozsahy jednotlivých os, upínací pozice polotovaru a vkládací pozice nástrojů.

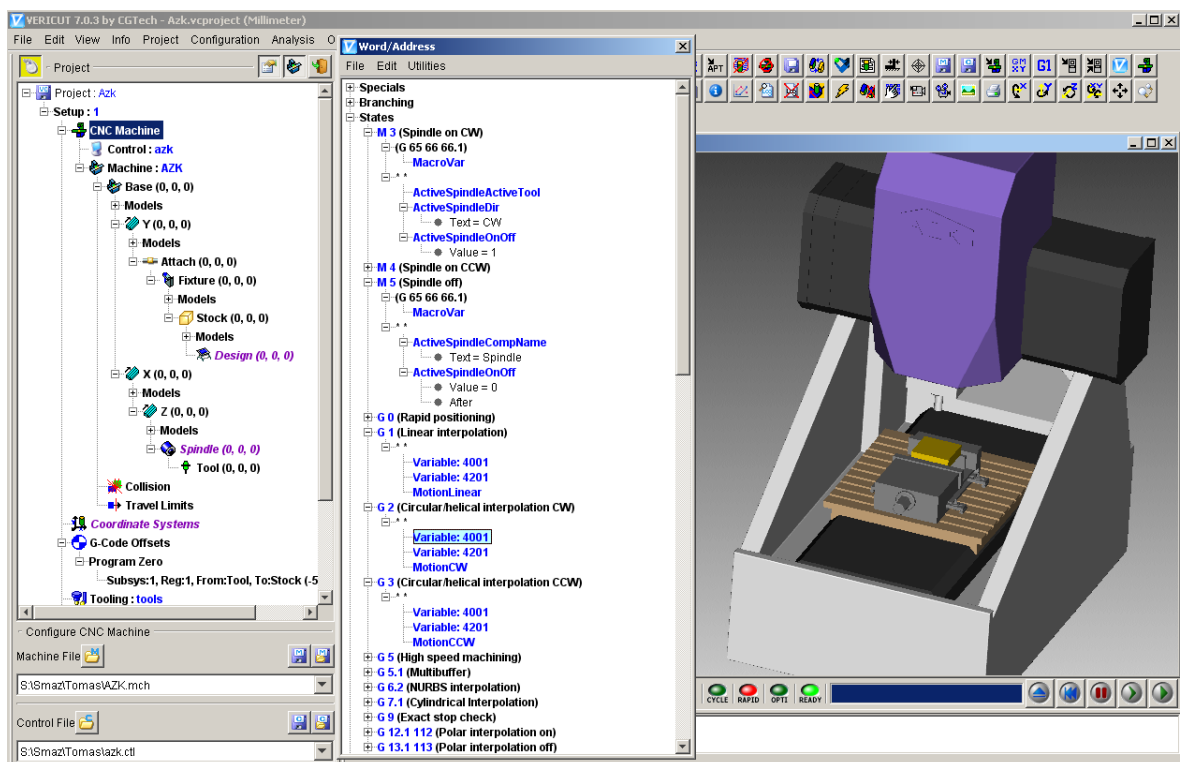


Obr. 39. Model stroje Vericut

9.2 Tvorba řídicího systému

Řídicí systém zajišťuje překlad instrukcí z NC-kódu na pohyby stroje, zapínání, případně vypínání různých módů stroje a dalších přídatných funkcí. Konfigurace se děje v definičních parametrech softwaru a pomocí maker.

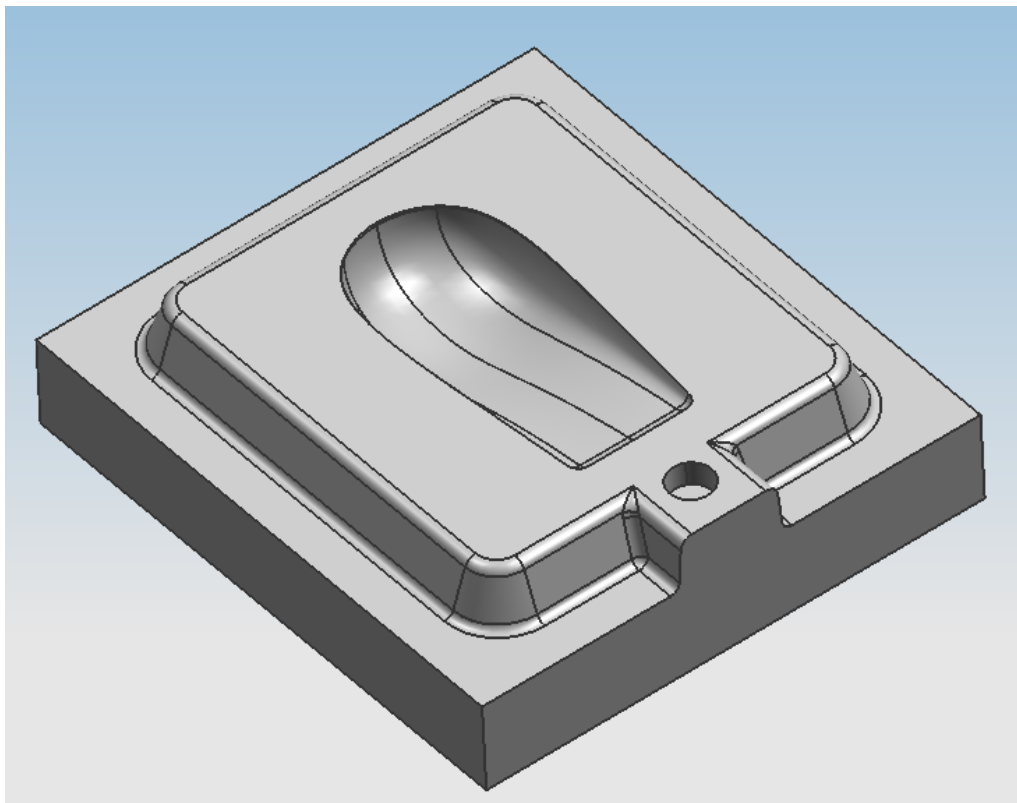
Pro stroj AZK byl zvolen předkonfigurovaný řídicí systém FANUC-ISO, jehož struktura nejlépe odpovídá NC-kódu pro naše zařízení. Konfigurace byla upravena dle skutečného stroje, potřeb a zvyklostí při používání AZK. Vymazáno bylo zejména ovládání chladicí jednotky a funkce zabezpečující automatickou výměnu nástroje, která byla plně nahrazena ruční. Bylo nutno změnit konfiguraci kružnic. Nově bylo vytvořeno makro pro práci s délkovou korekcí nástroje.



Obr. 40. Tabulky pro definici řídicího systému

10 TVORBA NC PROGRAMU

Pro simulaci bylo nutno zvolit součást, která nebude příliš velká a přitom tvarově dostatečně komplexní tak, aby bylo možno verifikovat různé typy pohybu. Nulový bod pro výrobu této součásti byl vzhledem k upínání do svěráku umístěn na horní roh polotovaru. Pro naše účely byl zvolen materiál „Necuron 605“ a vzhledem k tomuto faktu byly vybrány i technologické podmínky.



Obr. 41. Tvárník formy na rukojeť

10.1 CAD model součásti

Pro tento účel byla zvolena lisovací forma pro výrobu rukojeti nože pro ořez přetoků na pneumatikách. Tato forma byla na fakultě technologické vyráběna a následně zde byly lisovány i rukojeti. Model byl vytvořen v softwaru Catia V5. Byl načten přímo do softwaru NX, v kterém vznikaly technologické operace.

10.2 NC operace

Při tvorbě operací proběhl nejprve výběr obráběné geometrie, polotovaru a kontrolní geometrie (čelisti svěráku). Nulový bod pro obrábění byl vzhledem ke způsobu upínání nastaven na horní roh polotovaru. Následně byly určeny přídavky pro hrubování, dohrubování a dokončování. Také byla určena bezpečná rovina, kterou využívá nástroj pro přejezdy rychloposuvem.

Pro správnou volbu nástrojů a strategií bylo nutno model důkladně proměřit, zejména rozměry dutiny a velikosti rádiusů. Vzhledem k rozměrům dílce a možnostem stroje byly zvoleny nástroje průměru 8 mm pro hrubování a dohrubování, pro dohrubování rádiusu a dokončování byl vybrán kulový nástroj o průměru 4 mm. Nástroje byly nadefinovány včetně držáků tak, aby bylo možno správně určit vyložení.

První operace (obr. 41) byla vytvořena frézou o průměru 8 mm s nulovým přídavkem na horní ploše polotovaru jako rovinné řádkování.

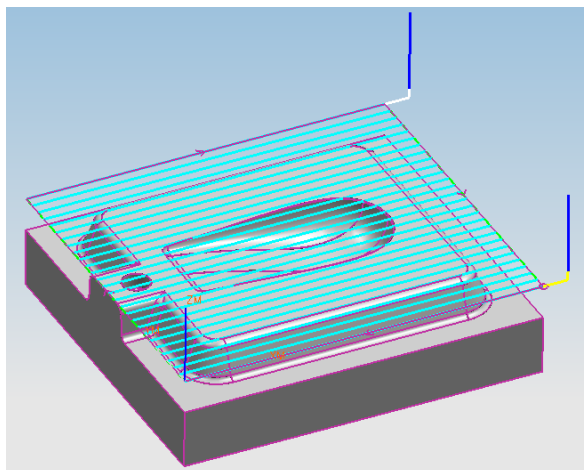
Druhá operace (obr. 42) byla tvořena jako základní hrubování po vrstvách s prvky vysokorychlostních obrábění. Nástroj byl použit stejně jako u předešlé operace o průměru 8 mm. Přídavek byl zvolen 0,5 mm pro tvarové části. Na spodní plochu byla nastavena jedna vrstva s menším přísuvem a nulovým přídavkem.

Pro třetí operaci (obr. 43) bylo zvoleno řádkování tvarových ploch a vybrány plochy dutiny formy. Přídavek byl nastaven 0,5 mm. Nástrojem pro tuto operaci byla kulová fréza o průměru 8 mm. Pro usnadnění přepolohování nástroje byl nastaven přesah dráhy nad hranu dutiny.

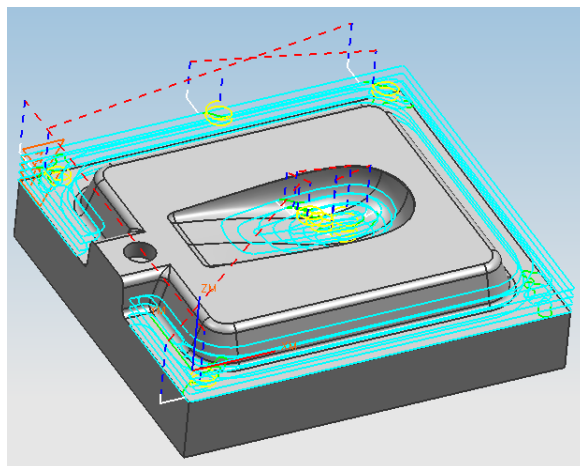
Čtvrtá operace (obr. 44) byla nastavena pomocí dohrubovacího cyklu. Po nastavení parametru přebytečného materiálu na 1,5 mm byla generována dráha na vnitřních rámusech. Jelikož je velikost rádiusu 2 mm, byla zvolena kulová fréza o průměru 4 mm.

Pátá operace (obr. 45) byla vytvořena pomocí metody obrábění strmých ploch. Pro ideální obrobení celého tvaru, který obsahuje horní a dolní přechodový rádius a šikmou plochu, byl zadán parametr pro nastavení velikosti přísvu na „optimalizováno“. Díky tomu je rozložení vrstev proměnlivé, což zajistí stejnou drsnost po celém profilu.

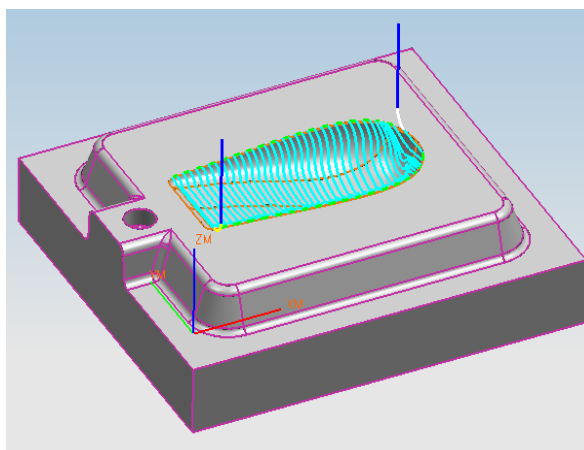
Pro poslední operaci (obr. 46) byla vybrána metoda „kapsování“. Dráha je vytvářena ofsety podél hrany vybrané dutiny. Nástrojem pro obě dokončovací dráhy byla kulová fréza průměru 4 mm a nulový přídavek.



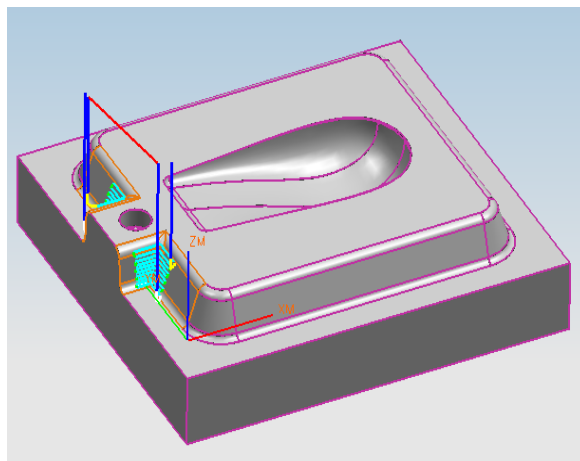
Obr. 42. Operace 1



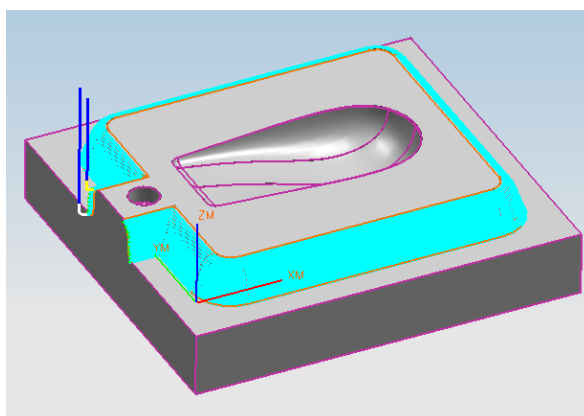
Obr. 45. Operace 2



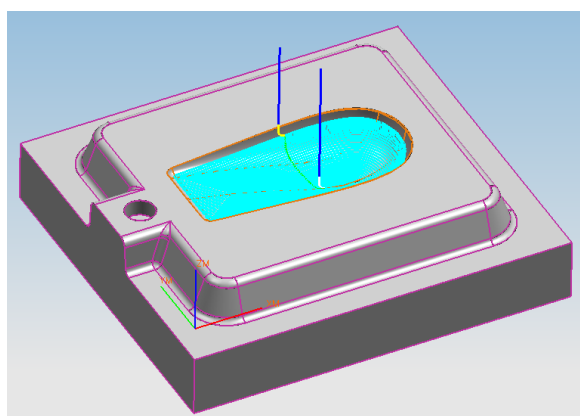
Obr. 43. Operace 3



Obr. 46. Operace 4



Obr. 44. Operace 5



Obr. 47. Operace 6

10.3 Postprocesing

Postprocesing slouží k překladu obecného popisu dráhy nástroje uvnitř CAM systému na formátovaný kód, který dokáže číst řídicí systém stroje.

Jelikož stroj nemá zásobník nástrojů, bylo nutno zajistit ruční výměnu. Dle zvyklostí byly operace generovány postupně podle nástrojů.

```
;Univerzita Tomase Bati Zlin, UVI
;Soucast: RUCKA_SIROKA_komplet_up_stp
;Operace: FR1
;Datum: 10 May 2010
;vytvoril: Tomas_Januska
%
N0010 G40 G17 G90
;Nazev operace: PLANAR_MILL
;Nastroj: FR8-0
;Prumer: 8.00 mm
;Zaobleni rohu : 0.00 mm
N0020 T01 M06
N0030 G00 X125. Y0.0 S0 M03
N0040 G43 Z30. H00
N0050 Z3.
N0060 G01 Z0.0 F1250. M08
N0070 X117.
N0080 X0.0
N0090 Y3.926
N0100 X117.
N0110 Y7.852
N0120 X0.0
N0130 Y11.778
N0140 X117.
N0150 Y15.704
```

Obr. 48. Ukázka NC-kódu

11 SIMULACE CNC STROJE

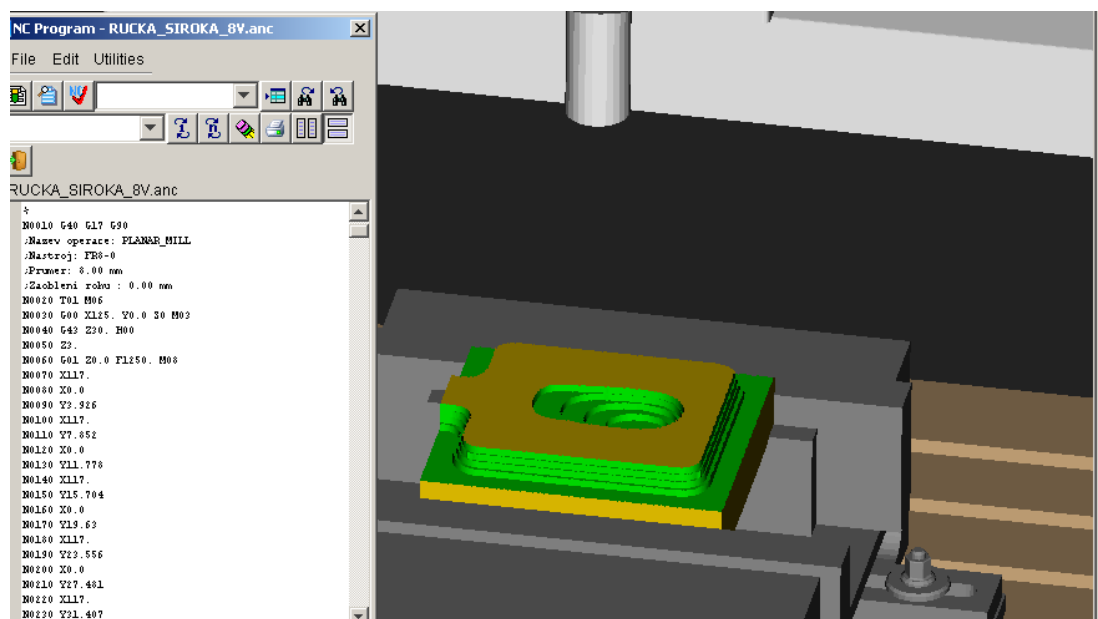
Před zahájením simulace byla vytvořena knihovna nástrojů, včetně upínačů. Jelikož stroj nepodporuje automatickou výměnu nástrojů, byly po načtení NC-programů přiděleny nástroje jednotlivým operacím ručně, což nejlépe odpovídá skutečnému stavu při reálné práci na stroji.

Dále byly vybrány komponenty pro kontrolu případné kolize. V našem případě: vřeteno, svěrák a stůl. Kontrola střetu nástroje a obrobku s jeho libovolnou částí se vykonává automaticky. Také je kontrolováno najetí nástroje do materiálu při nezapnutých otáčkách nebo rychloposuvem.

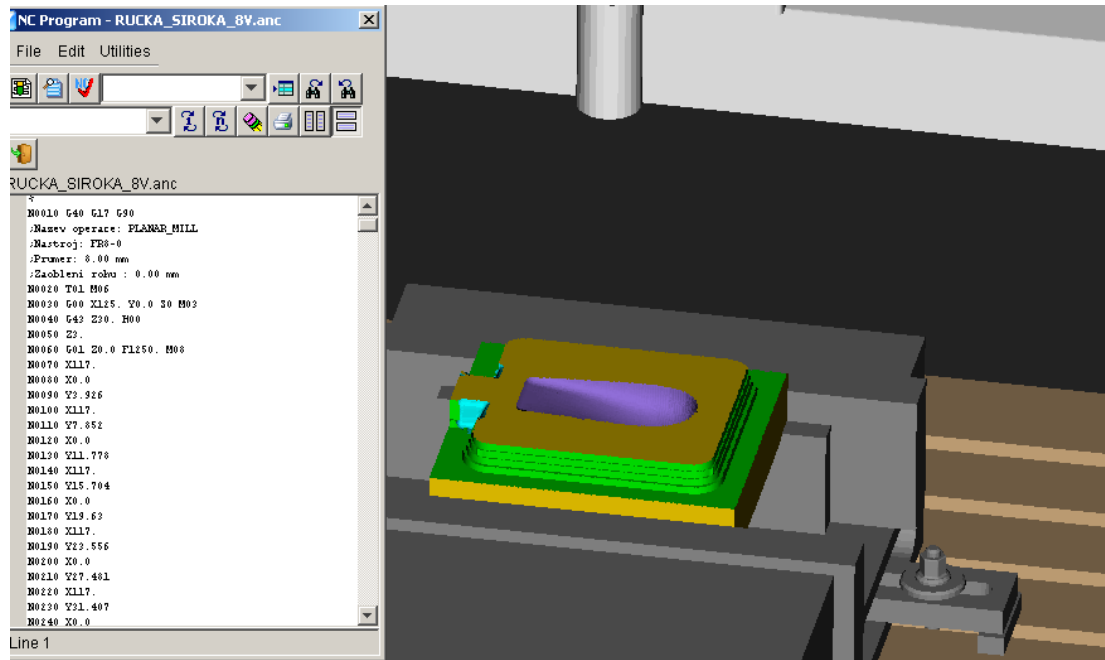
Byl vložen model dílce a polotovaru. Ten slouží k porovnání s modelem, který vznikl v průběhu simulace. Tímto lze velmi snadno odhalit přebytečný, případně chybějící materiál.

Následně byl zvolen nulový bod na levém předním rohu součásti. Tento postup opět přesně kopíruje posloupnost pracovních činností, které provádí operátor před spuštěním reálného obrábění na stroji.

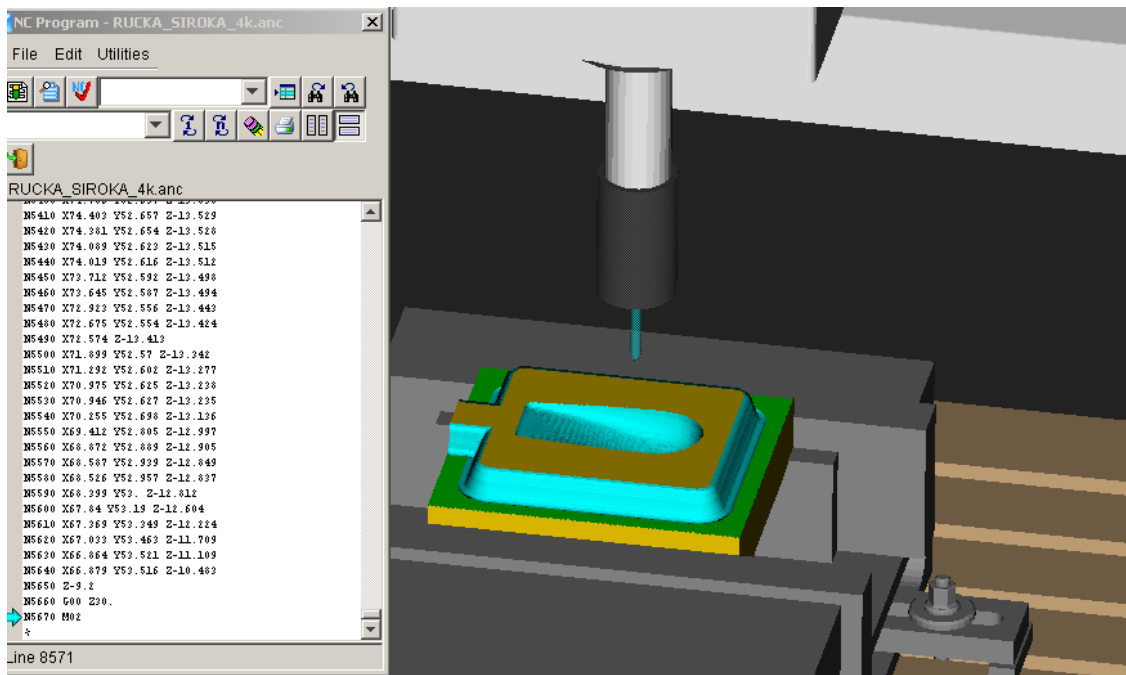
Pro rutinní používání je samozřejmě možno využívat různé převodníky, šablony a přednastavené operace tak, aby programátor byl simulací zatěžován co možná nejméně.



Obr. 49. Simulace - po hrubování



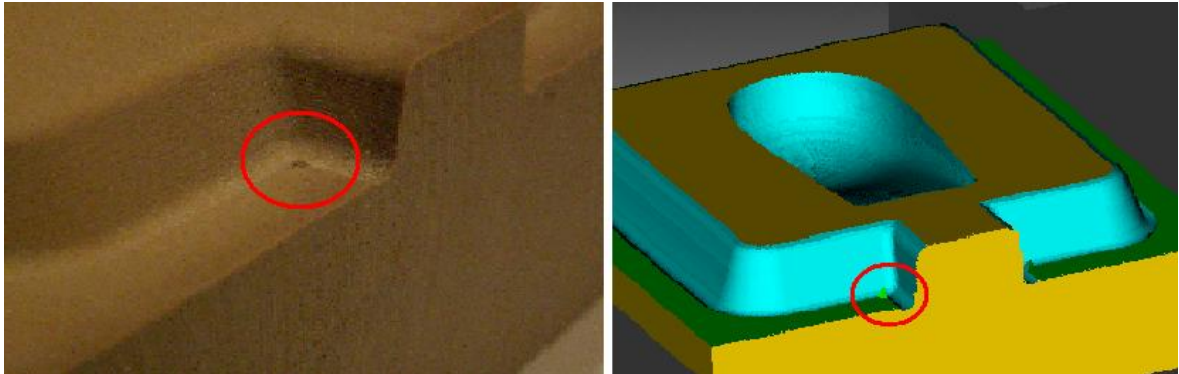
Obr. 50. Simulace - po dohrubování



Obr. 51. Simulace – dokončený díl

Simulace všech operací proběhla bez detekce kolize. V průběhu simulace byla zaznamenána vizualizace pohybu stroje pro následné porovnání s reálným obráběním na CNC stroji. Na konci simulace byl zkontrolován report, který neobsahoval žádné chyby ani varovná hlášení.

V průběhu simulace byla odhalena malá oblast neodebraného materiálu. Stejný výstupek materiálu zůstal na obrobku i po reálném obrábění. Na srovnání (obr. 52) je vidět tato partie v levé části obrázku na hotovém dílu a na pravé straně na modelu v systému Vericut.



Obr. 52. Porovnání reálného a simulovaného dílu

Z reportu, který vytváří Vericut po každé simulaci, je také možno vyčíst strojní časy jednotlivých operací. V následující tabulce (tab. 1) je vidět srovnání strojních časů, které byly získány ze systému NX, Vericut a měřením při obrábění na skutečném CNC stroji.

Tab. 1. Srovnání strojních časů

	NX	Vericut	CNC
1. Operace	0:02:43	0:03:03	0:03:05
2. Operace	0:04:20	0:05:18	0:05:08
3. Operace	0:01:12	0:01:48	0:03:31
4. Operace	0:00:15	0:00:43	0:00:51
5. Operace	0:05:31	0:06:07	0:06:29
6. Operace	0:02:40	0:03:29	0:03:58

Rozdíly v časech, které jsou uvedeny v tab.1, byly způsobeny dynamikou stroje. V systému NX se dynamika stroje vůbec neprojevuje. Strojní čas je vypočítáván pouze z délky dráhy nástroje a posuvu pro jednotlivé typy pohybu. Systém Vericut umožňuje nastavení akcelerace a decelerace pro jednotlivé osy stroje. Hodnoty pro zrychlení byly získány z technické specifikace stroje. Hodnoty získané ze systému Vericut jsou výrazně přesnější. Rozdíl byl pravděpodobně způsoben nepřesnou hodnotou zrychlení, která je v technické specifikaci uvedena pouze obecně, nikoliv pro jednotlivé osy.

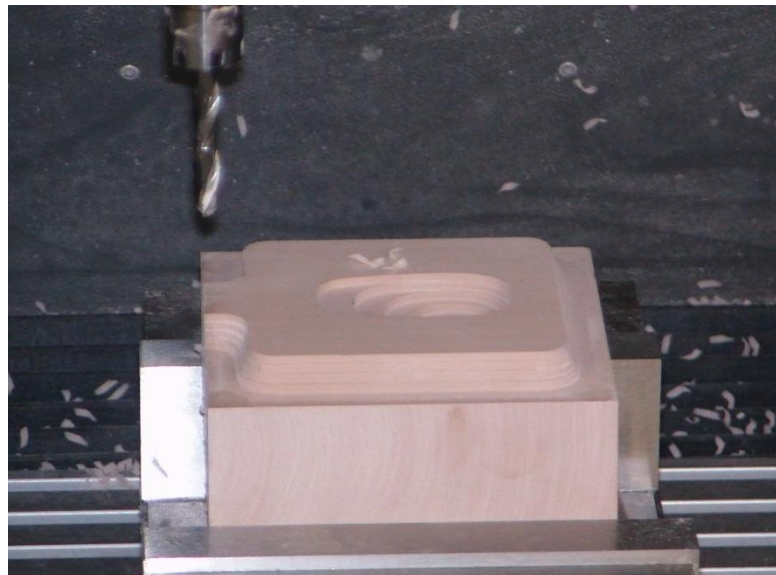
12 REÁLNÉ OBRÁBĚNÍ

NC-programy, které byly vytvořeny v NX a zkontrolovány v systému Vericut, byly do stroje předány pomocí flash disku.

Před první hrubovací operací byla srovnána horní plocha dílce, která byla opracována pouze pilou. Tato plocha následně sloužila pro ustavování nástrojů v ose Z.

12.1 Hrubovací operace

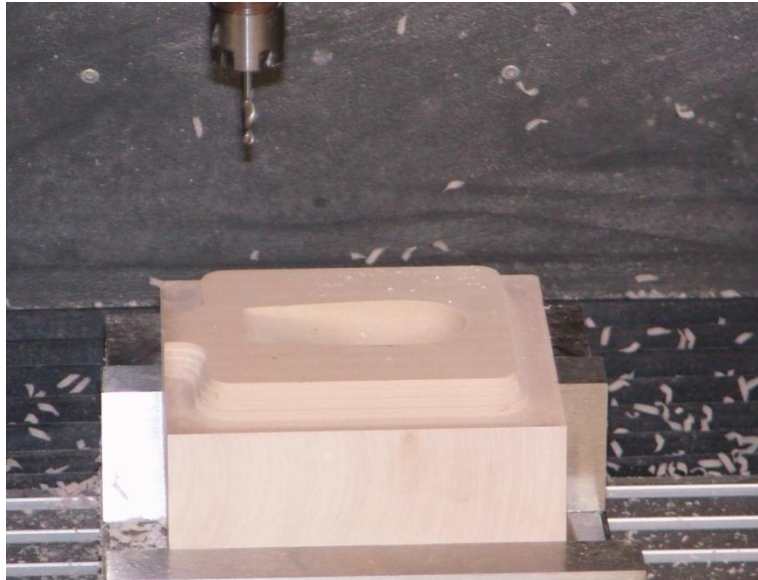
Hrubovací operace odebrala největší objem materiálu čelní-válcovou frézou o průměru 8 mm, kterou je možné zavrtávat, což bylo nutné pro obrobení dutiny. Operace odebrala materiál po vrstvách s krokem v ose Z o velikosti 3 mm.



Obr. 53. Díl po hrubování

12.2 Dohrubovací operace

Po hrubování zůstalo velké množství zbytkového materiálu v dutině a ve vnitřních rádiusech na obvodu tvarové části. Tento materiál byl v dutině odebrán kulovou frézou o průměru 8 mm pomocí řádkování. Vnitřní rádius byl obroben kulovou frézou o průměru 4 mm. Tento nástroj odebíral materiál postupně od shora dolů. Po těchto operacích byl na součásti rovnoměrný přídavek o velikosti 0,3 mm mimo horní plochy, která měla finální rozměr.

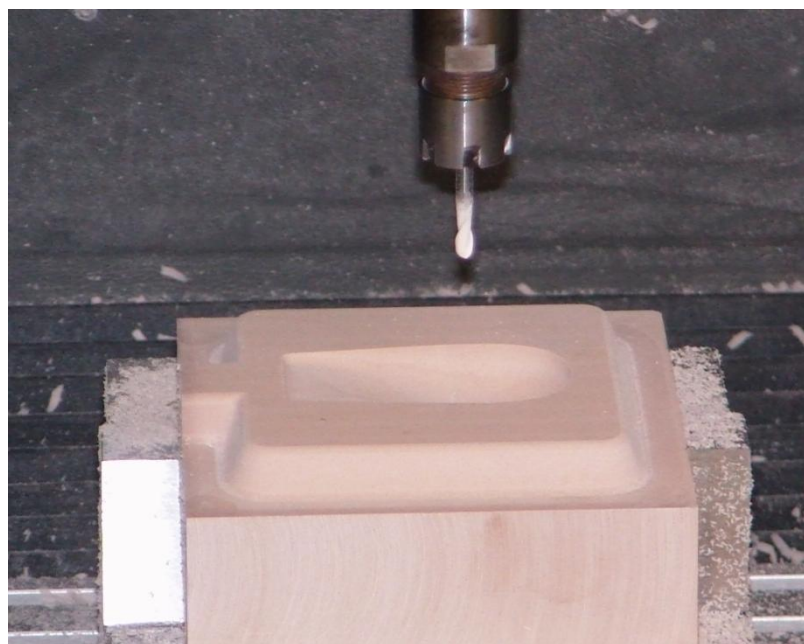


Obr. 54. Díl po dohrubování

12.3 Dokončovací operace

Obě dokončovací operace používají kulovou frézu o průměru 4 mm. První obráběla tvarovou plochu na obvodu součásti. Tato partie byla tvořena drahami po vrstvách s proměnlivou výškou kroku. Tímto bylo zajištěno optimální obrobení šikmé plochy i radiusů z obou stran tvaru.

Poslední operace dokončila dutinu. Nástroj najel do záběru po rádiusu pod hranu dutiny. Nástroj kopíroval obvod dutiny a pokračoval do středu.



Obr. 55. Hotový díl

ZÁVĚR

Cílem této bakalářské práce bylo prověření možností virtuálního obrábění na CNC stroji pomocí softwaru VERICUT a celkového ověření spolehlivosti simulace. Porovnáním vizualizace modelu a skutečného stroje bylo prokázáno, že pohyby reálného i virtuálního stroje jsou identické. Z toho vyplývá, že pokud bude systém VERICUT nakonfigurován správně a bude dodržena technologická kázeň, čímž je zejména myšleno správné upnutí obrobku, je simulace naprosto věrná.

Další efekt při nasazení tohoto řešení je i dokonalejší plánování výroby díky získání mnohem přesnějších strojních časů, než jsme schopni získat z CAM systémů, které většinou nezohledňují zrychlení.

U simulace obrábění se projevují úspory při předcházení havárií, ale i zkrácením časů potřebných pro náběh výroby. Při havárii vzniká škoda na obrobku, stroji a samozřejmě je nutno připočítat i náklady spojené s odstávkou stroje. Ani úspory spojené s náběhem výroby nejsou zanedbatelné. V technické praxi se velmi často setkáváme s tím, že operátor stroje při výrobě první součásti série sníží rychlost posuvu. Tento fakt se velmi výrazně projevuje na nákladech v malosériové nebo kusové výrobě.

Dosud se výrobní podniky zaměřily zejména na modernizaci strojního parku případně nasazení CAD/CAM systémů. Řešení pro simulaci CNC strojů a dalších částí výroby bývají často opomíjena. Na základě této práce doporučuji předvýrobní kontrolu reálného NC-kodu hlavně pro zařízení s komplikovanou kinematikou, kde hrozí velké riziko střetu nástroje potažmo vřetene s libovolnou částí. Také kontrola vnitřního kodu CAM systémů je v současné době již nedostatečná a je třeba nezávisle testovat výstupní NC-kod, který ovládá CNC stroj. V současné době je požadováno podniky zvýšení celkové produktivity při zachování stávajících výrobních prostředků. Díky tomuto trendu se zvýší používání simulačních softwarů nejen pro verifikaci CNC strojů, ale i pro řešení kompletních výrobních linek, robotů a lidské práce.

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>.
- [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>.
- [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. Vydání 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] MÁDL, Jan, KAFKA, Jindřich, VRABEC, Martin, DVOŘÁK, Rudolf. *Technologie obrábění 2. Díl*. Skripta ČVUT, Praha.
- [16] MÁDL, Jan, KAFKA, Jindřich, VRABEC, Martin, DVOŘÁK, Rudolf. *Technologie obrábění 3. Díl*. Skripta ČVUT, Praha.
- [17] VLACH, B. a kol. *Technologie obrábění a montáže*, SNTL, Praha, 1990.
- [18] VIGNER, M., PŘIKRYL, Z. a kol. *Obrábění*, SNTL, Praha, 1984.
- [19] *Pavkřej: technologie obrábění* [online]. [cit. 2010-02-10]. Dostupný z WWW: <<http://www.pavkrej.wz.cz/web/texty/frez.doc>>.
- [20] KOČMAN, K., PROKOP, J. *Technologie obrábění*. 2. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM Brno, s.r.o., prosinec 2005. 270 s. ISBN 80-214-3068-0.
- [21] RAO, P. N. *CAD/CAM: principles and applications*. New Delhi, Tata McGraw-Hill Publishing Company Limited, 2006, 707 s , ISBN 0-07-058373-0.

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

CAD	Computer Aided Design.	
CAM	Computer Aided Manufacturing.	
CAE	Computer Aided Engineering.	
PLM	Product Lifecycle Management	
NC	Numerical Control	
CNC	Computer Numeric Control	
v_c	Řezná rychlost	m.min^{-1}
v_f	Rychlost posuvu	m.min^{-1}
D	průměr	mm
n	otáčky	min^{-1}
π	Ludolfovo číslo	

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1. Ortogonální – volné řezání [1].....	13
Obr. 2. Ortogonální – vázané řezání [1]	13
Obr. 3. Vznik třísky [7].....	13
Obr. 4. Frézování [8].....	14
Obr. 5. Válcové frézování [7]	14
Obr. 6. Čelní frézování [19].....	14
Obr. 7. Sousedné frézování [2]	15
Obr. 8. Nesousedné frézování [2]	15
Obr. 9. Soustružení [8].....	15
Obr. 10. Podélné soustružení [2]	16
Obr. 11. Příčné soustružení [2]	16
Obr. 12. Broušení [10]	17
Obr. 13. Broušení válcových ploch [7]	17
Obr. 14. Broušení rovinných ploch [7]	17
Obr. 15. Vrtání [9]	18
Obr. 16. Vrtání [16]	18
Obr. 17. Zahlubování pro šrouby [2]	19
Obr. 18. Obrábění přesné díry [2].....	19
Obr. 19. Hoblování [11].....	19
Obr. 20. Hoblování [7].....	20
Obr. 21. Obrázení [7].....	20
Obr. 22. Protahování [7]	20
Obr. 23. Svislá konzolová frézka [2]	21
Obr. 24. Vodorovná konzolová frézka [2].....	21
Obr. 25. Stolová frézka [7]	21
Obr. 26. Rovinná frézka [7].....	22
Obr. 27. Rovinná portálová frézka [7]	22
Obr. 28. 5-osá frézka Hermle C30/C40 [6]	23
Obr. 29. CNC soustruh MAZAK Quick Smart 200 [12].....	24
Obr. 30. Multifunkční centrum MAS MULTICUT 500 [13].....	24
Obr. 31. Frézy firmy Walter [7].....	25
Obr. 32. CAD systém DAC [5].....	27

Obr. 33. CAD/CAM systém UNI-GRAPHICS [5].....	28
Obr. 34. Objemový modelář UniSolid [5]	28
Obr. 35. Frézka AZK – HWT [14]	33
Obr. 36. Tvořící skica	34
Obr. 37. Sestava základních částí stroje	35
Obr. 38. Kompletní CAD model stroje.....	36
Obr. 39. Model stroje Vericut.....	37
Obr. 40. Tabulky pro definici řídicího systému.....	38
Obr. 41. Tvárník formy na rukojeť	39
Obr. 42. Operace 1	41
Obr. 43. Operace 3	41
Obr. 44. Operace 5	41
Obr. 45. Operace 2	41
Obr. 46. Operace 4	41
Obr. 47. Operace 6	41
Obr. 48. Ukázka NC-kódu	42
Obr. 49. Simulace - po hrubování.....	43
Obr. 50. Simulace - po dohrubování.....	44
Obr. 51. Simulace – dokončený díl.....	44
Obr. 52. Porovnání reálného a simulovaného dílu.....	45
Obr. 53. Díl po hrubování.....	46
Obr. 54. Díl po dohrubování.....	47
Obr. 55. Hotový díl	47

SEZNAM TABULEK

Tab. 1. Srovnání strojních časů.....	45
--------------------------------------	----

SEZNAM PŘÍLOH

P I. DVD nosič

PŘÍLOHA P I: DVD NOSIČ

- CAD data stroje
- Model Vericut
- CAM data zkušebního dílu
- NC programy
- Záznam simulace
- Záznam obrábění