

Pětiosé CNC frézování a tvorba programových modulů

Bc. Jaroslav Šimoník

Diplomová práce
2011

 Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav výrobního inženýrství

akademický rok: 2010/2011

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: Bc. Jaroslav ŠIMONÍK

Osobní číslo: T09576

Studijní program: N 3909 Procesní inženýrství

Studijní obor: Výrobní inženýrství

Téma práce: Pětiosé CNC frézování a tvorba programových modulů

Zásady pro vypracování:

- 1. Teoretická studie z dané oblasti**
- 2. Návrh a tvorba CAD modelů součástí**
- 3. Tvorba programových modulů pro pětiosé frézování v daných CAM programech**
- 4. Verifikace a výroba prototypů**
- 5. Výstupem práce je programová dokumentace k jednotlivým modulům**

Rozsah diplomové práce:

Rozsah příloh:

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

Seznam odborné literatury:

Štulpa, M. CNC Obráběcí stroje a jejich programování. BEN, Praha, 2008, ISBN 978-80-7300-207-7.

Jandečka, K. Postprocesory a programování NC strojů. Ústí nad Labem, 2007.

Smid, P. CNC programming handbook: a comprehensive guide to practical CNC programming. Industrial Press Inc. New York, 2003, 508 p., ISBN 0-8311-3158-6.

Rao, R. N. CAD/CAM: principles and applications. Tata McGraw-Hill Publishing Company Limited. 2006, 253 p., ISBN 0-07-058373-0.

Vedoucí diplomové práce:

Ing. Ondřej Bílek, Ph.D.

Ústav výrobního inženýrství

Datum zadání diplomové práce:

14. února 2011

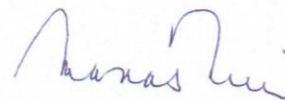
Termín odevzdání diplomové práce:

13. května 2011

Ve Zlíně dne 12. ledna 2011



doc. Ing. Petr Hlaváček, CSc.
děkan



doc. Ing. Miroslav Mañas, CSc.
ředitel ústavu

Příjmení a jméno: **Jaroslav Šimoník**

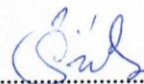
Obor: **Výrobní inženýrství**

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 10.5.2011



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 nevdělečně 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 vzdělávacímu 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). 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 přihlídí k výši výdělku dosaženého školou nebo školským či vzdělávacím zařízením z užití školního díla podle odstavce 1.

ABSTRAKT

V diplomové práci se zabývám tvorbou CAD modelů v softwaru CATIA V5R16 určených pro tvorbu modulů, pomocí CAM softwaru. Základní informace o obrábění (frézování) a CNC obrábění jsou uvedeny v teoretické části. V praktické části byly vytvořeny CAD modely a následně byly vytvořeny v Softwarech SolidCAM R10 a Siemens NX7.5 moduly. Určitá část CAD modelů byla vyrobena na 5tiosém stroji FC 3800 MACH a tyto výrobky byli použiti přímo jako plnohodnotné dílce pro danou výrobu.

Klíčová slova: Obrábění frézování, CNC frézování, 5osé CNC frézování, tvorba modulů

ABSTRACT

The thesis deals with the creation of CAD models in the CATIA V5R16 software designed for the creation of the modules, using CAM software. Basic information processing (milling) and CNC machining are shown in the theoretical part. The practical part of the CAD models were created and subsequently developed in the Software and SolidCAM R10 Siemens NX7, 5 modules. Some of the CAD models were made for 5-axis machine FC MACH 3800 and these products were used directly as a full panel for the production.

Key words: Milling, CNC milling, 5 axis CNC milling, production modules

Poděkování:

Děkuji vedoucímu své diplomové práce Ing. Ondřej Bílek Ph.D. za odborné vedení, ochotně poskytnuté rady, za čas a pozornost, kterou mi věnoval při vypracování diplomové práce. Dále také děkuji firmě Modelárna Přerov s.r.o., která mi poskytla prostor a vybavení pro vypracování části diplomové práce.

OBSAH

I.	TEORETICKÁ ČÁST	12
1	OBRÁBĚNÍ FRÉZOVÁNÍM	13
1.1	FRÉZOVÁNÍ.....	13
1.1.1	<i>Základní způsoby frézování.....</i>	<i>13</i>
1.1.2	<i>Frézování sousledné a nesousledné</i>	<i>14</i>
1.2	NÁSTROJE.....	15
1.3	NÁSTROJOVÉ MATERIÁLY	16
1.4	ŘEZNÉ PODMÍNKY	17
1.5	DOSAŽITELNÉ PŘESNOSTI V ZÁVISLOSTI NA ZPŮSOBU FRÉZOVÁNÍ	19
2	CNC OBRÁBĚCÍ STROJ, PRINCIP A ŘÍZENÍ.....	20
2.1	DEFINICE	20
2.2	SCHÉMA CNC OBRÁBĚCÍHO STROJE A JEHO ŘÍZENÍ	21
2.3	TESTY PROGRAMŮ A SIMULACE.....	23
2.4	SOUŘADNICOVÝ SYSTÉM.....	24
2.5	NULOVÉ A DALŠÍ VZTAŽNÉ BODY NA CNC STROJÍCH	27
2.6	URČENÍ NULOVÉHO BODU OBROBKU A POSUNY SOUŘADNICOVÉ SOUSTAVY	29
2.6.1	<i>Posun souřadnicové soustavy, nulového bodu stroje pomocí funkcí G54 až G59</i>	<i>29</i>
2.6.2	<i>Stanovení souřadnicové soustavy, nulového bodu obrobku na stroji dotekem nástroje.....</i>	<i>30</i>
2.7	KOREKCE NÁSTROJŮ	31
2.7.1	<i>Korekce délkové</i>	<i>32</i>
2.7.2	<i>Korekce rádiusové.....</i>	<i>33</i>
2.7.3	<i>Pojem interpolace, pojem inkrement.....</i>	<i>34</i>
3	STRUKTURA ŘÍDÍCÍHO PROGRAMU.....	35
3.1	SLOŽENÍ PROGRAMU V BLOKU	35
3.1.1	<i>Příklady a vysvětlení některých funkcí pro CNC frézku</i>	<i>37</i>
3.2	PROGRAMOVÁNÍ CNC STROJŮ POMOCÍ CAD/CAM SYSTÉMŮ	39
3.3	MOŽNOSTI OBRÁBĚNÍ PŘI POUŽITÍ VYSPĚLÝCH CAD/CAM SYSTÉMŮ.....	41
3.4	ZPŮSOBY PĚTIOSÉHO PROGRAMOVÁNÍ	46
3.4.1	<i>Základní informace pro pětiosé programování.....</i>	<i>46</i>
3.4.2	<i>Popis výpočtu úhlů A a B pro pětiosé řízení</i>	<i>46</i>
3.5	VERIFIKACE U PĚTIOSÝCH APLIKACÍ OBRÁBĚNÍ.....	47
3.6	MOŽNÉ KONSTRUKCE PĚTIOSÝCH CNC STROJŮ.	48
3.7	INTELIGENTNÍ STROJE, ADAPTIVNÍ ŘÍZENÍ, AKTIVNÍ KONTROLA A TECHNICKÁ DIAGNOSTIKA CNC STROJŮ.....	49
4	SHRNUTÍ TEORETICKÉ ČÁSTI.....	50
5	CÍLE PRAKTICKÉ ČÁSTI.....	50
II.	PRAKTICKÁ ČÁST	51

6	NÁVRH A TVORBA CAD MODELŮ SOUČÁSTÍ.....	52
6.1	TVORBA CAD MODELU.....	52
6.2	SEZNAM VYTVOŘENÝCH CAD MODELŮ.....	53
7	TVORBA PROGRAMOVÝCH MODULŮ PRO PĚTIOSE FRÉZOVÁNÍ V SOFTWARECH SIEMENS NX7.5 A SOLIDCAM R10.....	55
7.1	ROZDĚLENÍ CAD MODELŮ PRO TVORBU CAM MODULŮ.....	55
7.2	TVORBA CAM MODULU PODSTAVEC1 V SOFTWARE SIEMENS NX7.5.....	56
7.2.1	<i>Tvorba operace hrubování.....</i>	58
7.2.2	<i>Tvorba operace načisto zarovnání.....</i>	59
7.2.3	<i>Tvorba operace hrubování tvar1.....</i>	60
7.2.4	<i>Tvorba operace načisto tvar1.....</i>	61
7.2.5	<i>Tvorba operace načisto bok1.....</i>	61
7.2.6	<i>Tvorba operace načisto bok2.....</i>	62
7.2.7	<i>Tvorba operace načisto bok3.....</i>	63
7.2.8	<i>Tvorba operace načisto bok4.....</i>	63
7.2.9	<i>Tvorba operace načisto bok5.....</i>	64
7.2.10	<i>Tvorba operace načisto bok6.....</i>	64
7.2.11	<i>Tvorba operace načisto tvar2.....</i>	65
7.2.12	<i>Tvorba operace načisto tvar3.....</i>	65
7.2.13	<i>Strojní časy pro vytvořené operace vypočtené v softwaru Siemens NX7.5.....</i>	66
7.2.14	<i>Verifikace obrobku po odsimulování všech operací.....</i>	66
7.3	TVORBA CAM MODULU VRTULE1 V SOFTWARE SIEMENS NX7.5.....	67
7.3.1	<i>Tvorba operace hrubování tvaru.....</i>	70
7.3.2	<i>Tvorba operace hrubování zadní části lopatky.....</i>	71
7.3.3	<i>Tvorba operace načisto horní část náboje.....</i>	72
7.3.4	<i>Tvorba operace načisto zadní část lopatky.....</i>	72
7.3.5	<i>Tvorba operace načisto přední část lopatky.....</i>	73
7.3.6	<i>Tvorba operace načisto část náboje.....</i>	74
7.3.7	<i>Strojní časy pro vytvořené operace vypočtené v softwaru Siemens NX7.5.....</i>	75
7.3.8	<i>Verifikace obrobku po odsimulování všech operací.....</i>	76
7.4	TVORBA CAM MODULU PRO CAD MODEL PODSTAVEC1 V SOFTWARE SOLIDCAM R10.....	77
7.4.1	<i>Tvorba operace hrubování tvaru.....</i>	77
7.4.2	<i>Tvorba operace načisto zarovnání.....</i>	78
7.4.3	<i>Tvorba operace hrubování tvar1.....</i>	79
7.4.4	<i>Tvorba operace načisto tvar1.....</i>	79
7.4.5	<i>Tvorba operace načisto bok1 až 6.....</i>	80
7.4.6	<i>Tvorba operace načisto tvar2.....</i>	81
7.4.7	<i>Tvorba operace načisto tvar3.....</i>	82
7.4.8	<i>Strojní časy pro vytvořené operace vypočtené v softwaru SolidCAM R10.....</i>	82
7.4.9	<i>Verifikace obrobku po odsimulování všech operací.....</i>	83
7.5	TVORBA CAM MODULU PRO CAD MODEL VRTULE1 SOLIDCAM R10.....	85

7.5.1	<i>Tvorba operace hrubování tvaru.....</i>	85
7.5.2	<i>Tvorba operace hrubování zadní části lopatky.....</i>	86
7.5.3	<i>Tvorba operace načisto horní část náboje.....</i>	88
7.5.4	<i>Tvorba načisto zadní část lopatky.....</i>	88
7.5.5	<i>Tvorba načisto přední část lopatky.....</i>	89
7.5.6	<i>Tvorba operace načisto část náboje.....</i>	90
7.5.7	<i>Strojní časy pro vytvořené operace vypočtené v softwaru SolidCAM R10.....</i>	91
7.5.8	<i>Verifikace obrobku po odsimulování všech operací.....</i>	92
8	VÝROBA PROTOTYPŮ.....	93
8.1	STROJ PRO VÝROBU PROTOTYPŮ.....	93
8.2	SOFTWAREVÉ VYBAVENÍ STROJE.....	94
8.3	POUŽITÉ NÁSTROJE PRO VÝROBU.....	95
8.4	FOTO DOKUMENTACE VÝROBY PROTOTYPU PODSTAVEC1.....	96
8.5	FOTO DOKUMENTACE VÝROBY PROTOTYPU VRTULE1.....	98
9	POROVNÁNÍ PRÁCE V SOFTWARE SIEMENS NX7.5 A SOFTWARE SOLIDCAM R10..	101
10	ZÁVĚR.....	103
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	104
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	105
	SEZNAM OBRÁZKŮ.....	106
	SEZNAM TABULEK.....	110
	SEZNAM PŘÍLOH.....	111

ÚVOD

Vývoj z oblasti výrobních strojů ve strojírenském průmyslu je v současnosti z velké části dán využitím výpočetní techniky. Řízení a automatizace strojů při použití výpočetní techniky a příslušných softwarů zvyšuje zásadním způsobem jejich technickou hodnotu tím, že provádí rychle, spolehlivě a přesně opakované činnosti, nahrazuje člověka, tedy zvyšuje produktivitu a jakost

První programované stroje, označované jako NC stroje, byly řízeny programem, který byl vyznačen na děrném štítku nebo na děrné páse. V této podobě se prosadily ve výrobě zejména složitějších součástí při odpovídající opakovatelnosti. Tyto stroje postupem vývoje a zdokonalování byly vybavovány počítačem, což znamenalo zrod CNC strojů. Počítač podstatně zjednodušil a urychlil programování, řízení stroje a uchování dat pro jejich opětné použití. Výkony počítačů a stále vylepšované softwarové vybavení rostou velmi rychlým tempem, též konstrukce strojů prošly značným vývojem, už i na pohled se liší od tzv. konvenčních strojů a zastanou více technologických operací. Relativně se dostupnost tedy ceny CNC strojů vzhledem k jejich výkonům snižují, avšak nárok na jakost produkovaných výrobků stoupá, a tak se staly tyto stroje nezbytnou součástí jednotlivých výrobních odvětví.

Teoretická část této práce popisuje technologii obrábění frézováním a NC, CNC řízení.

Praktická část je zaměřena na tvorbu CAD modelů a dále tvorbu CAM modulů v softwarech SolidCAM R10 a Siemens NX7.5.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 OBRÁBĚNÍ FRÉZOVÁNÍM

1.1 Frézování

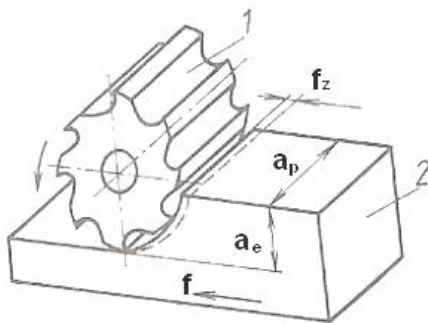
Je technologický proces, obrábění rovinných nebo tvarových ploch, vnitřní nebo vnějších, vícebřitým nástrojem. Frézují se obvykle rovinné plochy nebo tvarové přímkové nebo zborčené plochy. Kopírovací a NC frézky umožňují frézovat obecné tvarové plochy.

Nástroj pro frézování se nazývá fréza je obvykle vícebřítý. Z hlediska tuhosti je výhodné, je-li v záběru s obrobkem více břitů současně. Při frézování koná nástroj hlavní řezný pohyb (rotační) a obrobek koná pohyb posuvný obvykle přímočarý, někdy otáčivý, nebo obecný pohyb po prostorové křivce.

Řezný proces je přerušovaný, jednotlivé zuby nástroje postupně vcházejí a vycházejí z materiálu a odebírají třísku proměnného průřezu. [1]

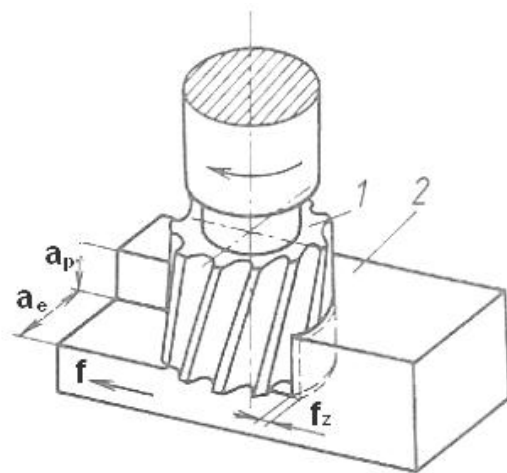
1.1.1 Základní způsoby frézování

- Frézování obvodem válcové frézy – obrázek 1.
- Frézování čelem čelní frézy – obrázek 2.



Obr. 1. Frézování obvodem válcové frézy [1]

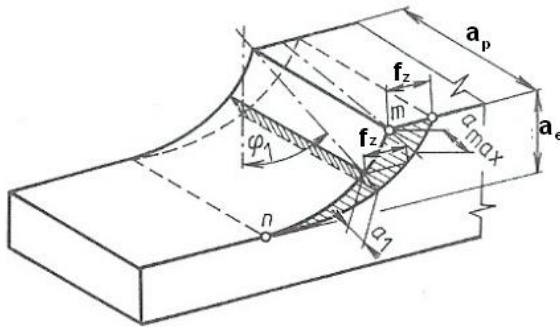
1 – fréza, 2 – obrobek, a_p – šířka obrobku, a_e – hloubka řezu, f – posuv, f_z – posuv na zub



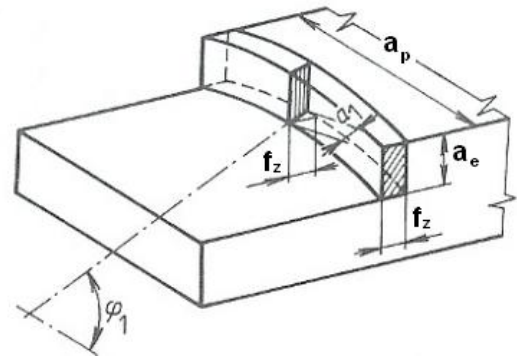
Obr. 2. Frézování čelem čelní frézy [1]

1 – fréza, 2 – obrobek, a_p – šířka obrobku, a_e – hloubka řezu, f – posuv, f_z – posuv na zub

Při frézování válcovou frézou řeže fréza zuby na obvodě, při čelním frézování řeže současně zuby na obvodě a na čele. Průřez třísky odebíraný jedním zubem frézy je znázorněn na obrázku 3. a 4.



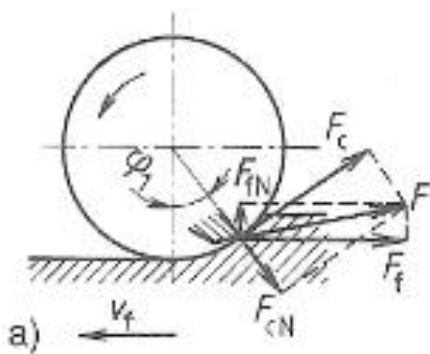
Obr. 3. Průřez třísky odebíraný při válcovém frézování
 a_p – šířka obrobku, a_e – hloubka řezu, f_z – posuv na zub, a_1 – tloušťka třísky pro úhel φ_1 , a_{max} – maximální tloušťka třísky



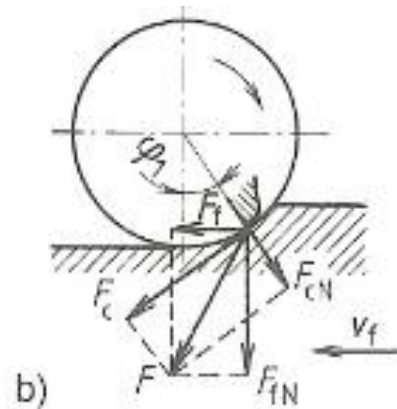
Obr. 4. Průřez třísky odebírané při čelním frézování
 a_p – šířka obrobku, a_e – hloubka řezu, f_z – posuv na zub, a_1 – tloušťka třísky pro úhel φ_1

1.1.2 Frézování sousledné a nesousledné

Podle smyslu otáčení frézy vůči směru posuvu dělíme frézování na nesousledné (protisměrné) obrázek 5a. a sousledné obrázek 5b.



Obr. 5a. Frézování nesousledné [1]
 F – řezná síla, f_c, f_{cN}, F_f, F_{fN} – složky řezné síly, v_f – rychlost posuvu, φ_1 – úhel okamžité polohy zubu



Obr. 5b. Frézování sousledné [1]
 F – řezná síla, f_c, f_{cN}, F_f, F_{fN} – složky řezné síly, v_f – rychlost posuvu, φ_1 – úhel okamžité polohy zubu

Řezný pohyb je složen ze dvou pohybů. Otáčivého (pohyb frézy) a přímočarého (pohyb obrobku). Výsledný relativní pohyb ostří vůči obrobku je zkrácená cykloida. Vzhledem k malé rychlosti posuvu proti obvodové rychlosti frézy se tato cykloida blíží kružnici.

Délku dráhy, kterou urazí obrobek během pootočení frézy o jednu zubovou rozteč, nazýváme posuvem na zub f_z . Vzdálenost mezi dráhami po sobě následujících břitů, měřena v radiálním směru, je tloušťka třísky a_e . Nejvyšší možná hodnota (a_{max}) je rovna posuvu na zub. Při nesousledném frézování válcovou frézou se mění tloušťka třísky od nuly do a_{max} . Při nesousledném frézování čelní frézou se tloušťka třísky mění od určitého minima do maxima, kde je rovna posuvu na zub, a opět do minima. Při sousledném frézování je průběh změny tloušťky třísky opačný. Při sousledném frézování působí vodorovná složka síly ve směru posuvu a svislá složka přitlačuje obrobek ke stolu frézky. Zub frézy zabírá v místě maximální tloušťky třísky. Při nesousledném frézování působí vodorovná složka síly proti směru posuvu a svislá složka obrobek zvedá. Zub zabírá z nulové tloušťky třísky. V tomto případě způsobuje zaoblení ostří, že zub začne řezat až po dosažení určité tloušťky třísky, předtím dochází pouze k pěchování materiálu a ke tření hřbetu o obrobek. Tím se zvyšuje opotřebení břitu nástroje a zhoršuje se kvalita obrobene plochy. Z tohoto hlediska je sousledné frézování výhodnější, vyžaduje však, vymezení vůle v posunovém mechanismu stroje.

1.2 Nástroje

Frézy je možné dělit z různých hledisek zejména podle umístění břitů, tvaru zubů, průběhu ostří, upínání a konstrukce.

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

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

Podle tvaru zubů jsou frézy

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

Podle průběhu ostří zubů frézy

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

Podle upínání dělíme frézy

- Stopkové – s kuželovou stopkou (Kužel Morse nebo ISO) nebo s válcovou stopkou.
- Nástrčné

Podle konstrukce rozeznáváme frézy

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

1.3 Nástrojové materiály

Celistvé frézy se vyrábějí z rychlořezných ocelí buď obráběním, nebo přesným litím, frézy menších rozměrů se vyrábějí jako celistvé ze slinutých karbidů. Frézy s vyměnitelnými břitovými destičkami mají zuby tvořené vyměnitelnými destičkami z rychlořezné oceli, slinutého karbidu, řezné keramiky nebo polykrystalického kubického nitridu boru. Těleso frézy je vyrobeno z konstrukčních ocelí vyšší pevnosti. Břítové destičky mohou být k tělesu připájeny nebo různými způsoby mechanicky upnuty. Důležitou podmínkou kvalitního frézování je minimální axiální a radiální házení frézy. To je u ostřených fréz dáno házením trnu a nepřesnostmi upnutí a ostření, u fréz s vyměnitelnými břitovými

destičkami kromě nepřesností upnutí i výrobní toleranci tělesa frézy a destiček. Axiální a radiální házení by se mělo pohybovat v setinách milimetrů. Upnutí nástroje musí zaručit maximální tuhost a minimální radiální a axiální házení nástroje. Nástrčné frézy se upínají na trn. Trn je ukončen kuželem ISO nebo Morse, který přenáší točivý moment z vřetene třením a unášecími kameny. Točivý moment z upínacího trnu na frézu se přenáší perem nebo kameny. Frézy s válcovou stopkou se upínají do sklíčidla s upínací kleštinou. Frézy kuželovou stopkou ISO se upínají buď přímo, nebo s redukcí do vřetene frézy. Upnutí je jištěno šroubem, procházejícím vrtáním vřetene. Točivý moment se přenáší třením a unášecími kameny. Frézy se stopkou Morse se upínají do vřetene přímo nebo pomocí redukce a jistí se stejně jako frézy se stopkou ISO. Točivý moment se přenáší pouze třením.

Obrobek se upíná na pracovní stůl frézky. Upínání obrobků musí být dostatečně tuhé, aby zaručilo nehybnost obrobku a odolnost proti vzniku chvění. Obrobek však nesmí být upínací silou deformován. K upínání se používají strojní svěráky, upínky se šrouby a opěrkami, jed noučelové upínací přípravky, stavebnicové upínací přípravky.

Při navrhování upnutí obrobku je třeba uvažovat předpokládaný směr působení řezné síly, její velikost a proměnlivost. [1]

1.4 Řezné podmínky

Volba řezných podmínek je závislá na vlastnostech nástroje, stroje, obrobku i prostředí a na požadovaných parametrech frézovaných ploch obrobku. Je proto vhodné se řídit doporučeními výrobce nástrojů, uváděnými v katalogích a příručkách Posuv na zub by měl klesnout pod 0,05 mm – pak už se začíná projevovat vliv poloměru ostří břítu nástroje.

Na frézce se volí otáčky vřetene a rychlost posuvu stolu, ostatní požadované hodnoty je nutné vypočítat.

Velikost řezné rychlosti v_c (obvodové rychlosti frézy)

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

D - je průměr frézy (mm)

n – otáčky vřetene (\min^{-1})

Rychlost posuvu stolu frézky v_f (udává se v $mm \cdot min^{-1}$. Z hlediska záběru zubů je důležitější hodnota posuvu na zub f_z).

$$s_z = \frac{v_f}{z \cdot n} (mm) \quad (2)$$

z – je počet zubů frézy.

Posuv na otáčku f_o (představuje dráhu, kterou urazí obrobek za jednu otáčku frézy)

$$f_o = f_z \cdot z (mm) \quad (3)$$

Průřez třísky, odebírané jedním zubem frézy

$$S_z = a_p \cdot a_e (mm^2) \quad (4)$$

a_p – je tloušťka třísky (mm)

a_e – šířka třísky (mm)

Maximální průřez třísky odebírá zub frézy v okamžiku, kdy je tloušťka třísky maximální.

$$S_{z \max} = a_{e \max} \cdot a_e \quad (5)$$

Řezné síly působící na zub frézy jsou na obr. 5. Hlavní složkou řezné síly F_{ci} , působící na jeden zub frézy, vypočteme z měrného řezného odporu p a plochy průřezu S odebírané třísky.

$$F_{ci} = p \cdot S(N) \quad (6)$$

Točivý moment M_k na fréze

$$M_k = \frac{d_f}{2} \sum_1^{z'} F_{ci} (N \cdot m) \quad (7)$$

z' - je počet zubů frézy v záběru.

d_f – průměr frézy

Počet zubů frézy v záběru

$$z' = \frac{\varphi_{\max}}{2\pi} \cdot z \quad (8)$$

φ_{\max} – záběrový úhel frézy ($^\circ$)

z – počet zubů frézy (–)

Efektivní výkon potřebný pro frézování

$$P_{ef} = v_c \cdot \sum_1^{z'} F_{ci}(W) \quad (9)$$

1.5 Dosažitelné přesnosti v závislosti na způsobu frézování

Velký sortiment nástrojů a řada způsobů frézování umožňují dosáhnout široké škály jakosti obrobenej plochy. Kromě geometrie nástroje a způsobu frézování je přesnost rozměrů a tvaru i jakost obrobenej povrchu ovlivněna mnoha dalšími parametry, jako jsou řezné podmínky, přesnost seřízení nebo naostření nástroje, tuhost stroje atd. V tabulce 2. jsou uvedeny některé orientační hodnoty dosahované přesnosti a drsnosti. Použitím speciálních úprav geometrie břítu lze docílit podstatně lepších hodnot drsnosti povrchu. Drsnost povrchu závisí výrazně na velikosti posuvu a řezné rychlosti, na poloměru špičky břítu nástroje atd. Dosažitelná přesnost záleží významně na tuhosti a přesnosti obráběcího stroje.

[1]

Tab. 1. Dosažitelné přesnosti v závislosti na způsobu frézování

Způsob frézování	Přesnost IT	Drsnost povrchu Ra (μm)
Válcovou frézou RO		
Hrubování	10 až 13	6,3 až 25
Načisto	8 až 11	1,6 až 6,3
Čelní frézou RO		
Hrubování	10 až 13	6,3 až 25
Načisto	6 až 11	1,6 až 3,2
Frézovací hlavou s břitý SK	7 až 11	1,6 až 6,3

2 CNC OBRÁBĚCÍ STROJ, PRINCIP A ŘÍZENÍ

2.1 Definice

Číslicově řízené výrobní stroje (CNC) jsou charakteristické tím, že ovládání pracovních funkcí stroje je prováděn řídicím systémem, pomocí vytvořeného programu. Informace o požadovaných činnostech jsou zapsány v programu pomocí alfanumerických znaků. Vlastní program je dán posloupností oddělených skupin znaků, které se nazývají bloky nebo věty. Program je určen pro řízení silových prvků stroje a zaručuje, aby proběhla požadovaná výroba součásti. Stroje jsou „pružné“, lze je rychle přizpůsobit jiné (obdobné) výrobě a pracují v automatizovaném cyklu, který je zajištěn číslicovým řízením. Stroje CNC se uplatňují ve všech oblastech strojírenské výroby (obrábění, tváření, montáž, měření) a jejich typickými představiteli, které se používají pro výcvik programátorů a obsluhy, jsou soustruhy a frézky.

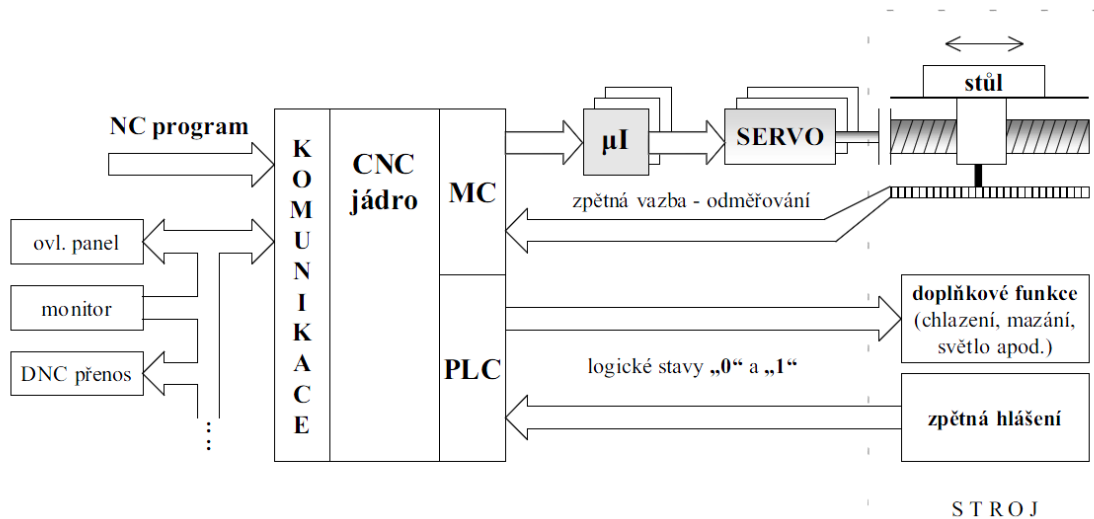
Informace, které program obsahuje, lze rozdělit na:

Geometrická – Popisují dráhy nástroje, které jsou dány rozměry obráběné součásti, způsoby jejího obrábění a popisující příjezd a odjezd nástroje k obrobku a od něho. Jde tedy o popis drah nástroje v kartézských souřadnicích, kdy pro tvorbu programu potřebujeme rozměry z výrobního výkresu. V programu je uveden popis v osách X, Z u soustruhu, v osách X, Y, Z u frézky (u 5 osé frézky v osách X, Y, Z, A, C, další případy dle konstrukce stroje a náročnosti výrobku), danými funkcemi, které stanoví norma ISO 19106 a také jednotliví výrobci řídicích systémů.

Technologické – Stanovují technologii obrábění z hlediska řezných podmínek (jsou to zejména otáčky nebo řezná rychlost, posuv případně hloubka třísky).

Pomocné – Jsou to informace, povely pro stroj pro určité pomocné funkce (např. zapnutí čerpadla chladící kapaliny, směr otáček vřetene atd.)

2.2 Schéma CNC obráběcího stroje a jeho řízení



Obr. 6. Zjednodušené blokové schéma CNC systému [10]

Počítač – Jedná se o průmyslový počítač s nainstalovaným řídicím systémem, který je součástí stroje. Z hlediska obsluhy je dán obrazovkou a ovládacím panelem. Pomocí ovládacího panelu lze provádět potřebné příkazy nutné při ruční obsluze, pro seřizování CNC obráběcího stroje a pro práci v dalších režimech stroje. Též umožňuje pomocí příslušného softwaru řídicího systému vytvářet požadovaný CNC program. Program také můžeme vytvořit mimo stroj a do jeho řídicího systému ho nahrát. Program se ukládá v paměti a pro vlastní práci se vyvolá příkazem.

Řídicí obvody – V těchto obvodech se logické signály převádějí na silnoproudé elektrické signály, kterými se přímo ovládají jednotlivé části stroje – motory včetně a posuvů, ventily atd.

- Řídí stroj pomocnými funkcemi
- Řídí dráhu nástroje pohybovými funkcemi, které popisují geometrii pohybu v osách X, Y, a Z.

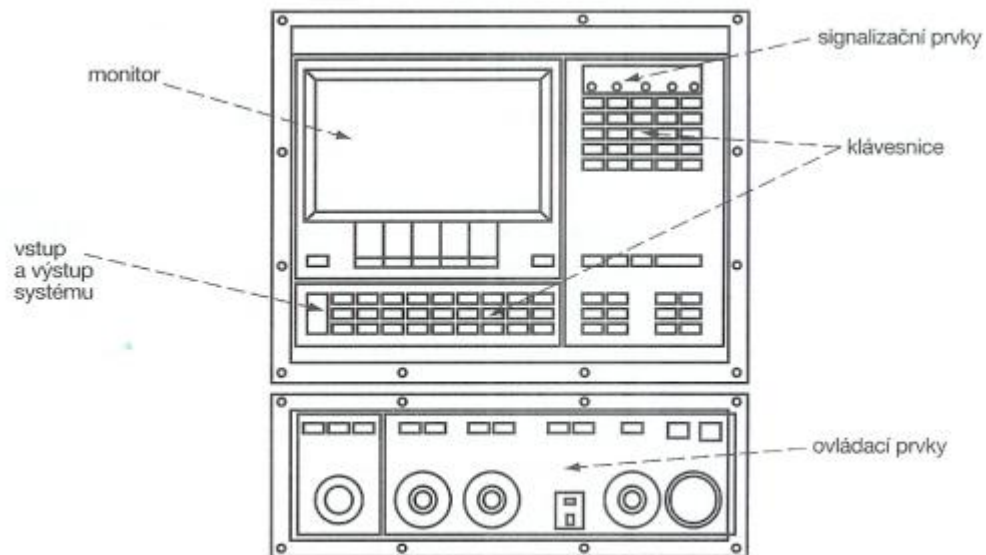
Interpolátor – Řeší dráhu nástroje, která je zadaná geometrií a výpočty délkových a rádiusových korekcí nástroje. Vypočítává tedy ekvidistantu pohybu bodu výměny nástroje, která je vzdálena o vypočítané korekce od požadovaného geometrického obrysu. Zaručuje geometrickou přesnost výrobku.

Porovnávací obvod – Stroj musí být vybaven zpětnou vazbou (až na výjimky u jednoduchých CNC strojů určených většinou pro výcvik obsluhy), která přenáší informace o dosažených geometrických hodnotách suportů v souřadných osách, v jednotlivých bodech dráhy pohybu. Tyto souřadnice se porovnávají s hodnotami, které jsou zadány programem (a upraveny v interpolátoru). Pokud je zjištěn rozdíl, pohony posuvů dostanou povel k dosažení požadovaných hodnot souřadnic. Stroj musí být vybaven odměřováním, např. pomocí pravítek umístěných na suportech, které slouží k zjištění dosažených souřadnic.

Řídicí panel se dělí na několik částí, lišících se svým významem

- Vstup dat – část alfanumerická, pomocí níž se ručně zapisuje např. program, data o nástrojích, seřízení stroje, strojní konstanty atd.
- Ovládání stroje – část speciální, pomocí které se pohybuje nástrojem nebo obrobkem, spouští se otáčky vřetene, ovlivňuje se ručně velikost posuvů, otáček apod.
- Volba režimu práce – lze volit ruční režim, automatický režim a speciální režim.
- Aktivace pamětí – vyvolání jednotlivých druhů pamětí.
- Aktivace testů – vyvolání testů programů a testů stroje, simulací programů.
- Obrazovka – slouží ke kontrole prováděných činností.
- Přenosný panel – (je spojen kabelem s řídicím panelem) slouží k ovládání základních pohybových funkcí stroje tak, jako základní část klávesnice. Umožňuje při seřizování a ovládání stroje přejít obsluze do míst, která poskytují dokonalejší možnost vizuální kontroly.

[3]



Obr. 7. Řídící panel CNC stroje – ukázka jednoho z mnoha provedení [3]

2.3 Testy programů a simulace

Pod pojmem test CNC programu se rozumí testování napsaného programu, kdy se nesimulují pohyby. Test upozorní na geometrické nesrovnalosti, neproveditelné programové kroky a případně na narušení pracovního prostoru

Simulace obrábění je součástí práce programátora a to včetně testu – upozorní na chybný blok v programu. Každý software ručního a automatizovaného (CAD/CAM systémy) programování umožňuje provést simulaci obrábění. Simulací nelze odstranit všechny možné chyby v CNC programu, záleží na použití řídicím systémem, případně, na použitém simulačním programu. Simulace snižují pravděpodobnost havárie stroje s obrobkem, snižují možné procento zmetků, poškození nebo zničení nástroje, případně poškození stroje. Umožňují možnost kontroly dráhy pohybu nástroje, rozměrů obrobku, kontrolu strategie obrábění. Nelze simulovat upínání obrobku a řezné podmínky. Nastavené řezné podmínky v programu (otáčky, posuv, hloubka třísky) při pohybu nástroje na obrazovce napoví, jak při zadaných řezných podmínkách bude probíhat obrábění na reálném stroji. Tedy řezné podmínky a dále tvar třísky, výkon stroje, síly, které drží obrobek a nástroj je nutné ověřit v praxi.

Simulace obrábění dle CNC programu poskytuje následující možnosti

(tyto možnosti závisí na použitém softwaru)

Slouží k ověření správnosti vytvořeného programu pohybem nástroje při obrábění. Pracovní pohyb i rychloposuv může být zrychlen či zpomalen, nebo prováděn v režimu B-B tak, aby měl programátor (obsluha, operátor) možnost sledovat dráhu nástroje. V případě nalezené chyby se program opravuje. Simulace programů je možné provádět mimo stroj na PC s daným softwarem (při tvorbě programu) a také přímo na CNC stroji.

Slouží k vykreslení dráhy nástroje na obrazovce, pro případné jejich úpravy, vyhodnocení, zda je zvolen správný způsob obrábění.

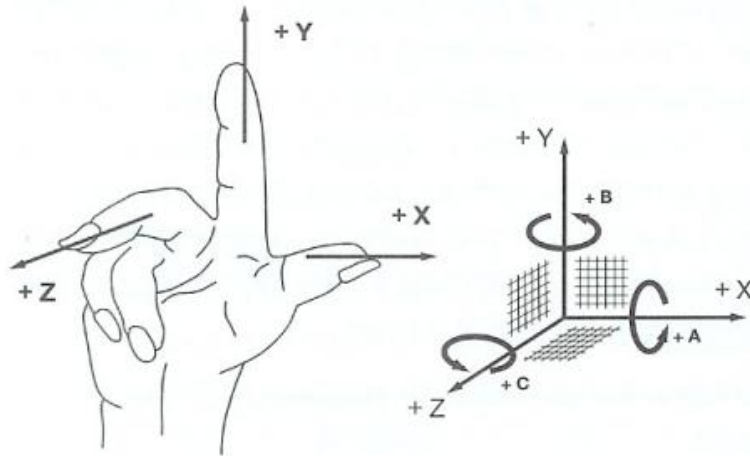
V případě, že software poskytuje pohled ve 2D – zobrazuje se výrobek jako na technickém výkrese v narysu, půdorysu a bokorysu. Ve 3D – zobrazuje se výrobek v axonometrickém pohledu prostorově, což umožňuje obrobek natáčet nebo v něm provádět řezy, popřípadě provádět i měření. Vše probíhá tak, aby programátor mohl ověřit kvalitu technologie výroby.

Pro odstranění možné kolize nástroje s upínačem (upínacím přípravkem), dávají současné software programování možnost nakreslení těchto překážek na obrazovku pro simulaci obrábění. Dále lze vykreslit držák s nástrojem (např. frézy, vrták atd.), kde mimo řezné hrany by též mohlo dojít k nežádoucí kolizi. Realizace uvedených možností napomáhá ke snížení pravděpodobnost havárie a tím zkrácení přípravných časů a snížená nákladů, které by bylo nutno vynaložit na prevenci.

2.4 Souřadnicový systém

Výrobní stroje používají kartézský systém souřadnic. Definice je dána normou ČSN ISO 19106 Terminologie os a pohybu. Systém je pravotočivý, pravoúhlý s osami X, Y, Z otáčivé pohyby, jejichž osy jsou rovnoběžné s osami X, Y, Z se označují jako A, B, C platí, že osa Z je rovnoběžná s osou pracovního vřetene, přičemž kladný smysl probíhá od obrobku k nástroji. Hodnoty se vyskytují i v záporném poli souřadnic.

Kartézský systém souřadnic je nutný pro řízení stroje, nástroj se v něm pohybuje podle zadaných příkazů z řídicího panelu CNC stroje nebo dle příkazů uvedených ve spuštěném CNC programu. Je nutný pro měření nástrojů. Podle potřeby lze souřadnicový systém posunovat a otáčet. V případě měření nástrojů (zjišťování korekcí) je umístěn v bodě výměny nástrojů nebo na špičce nástrojů.

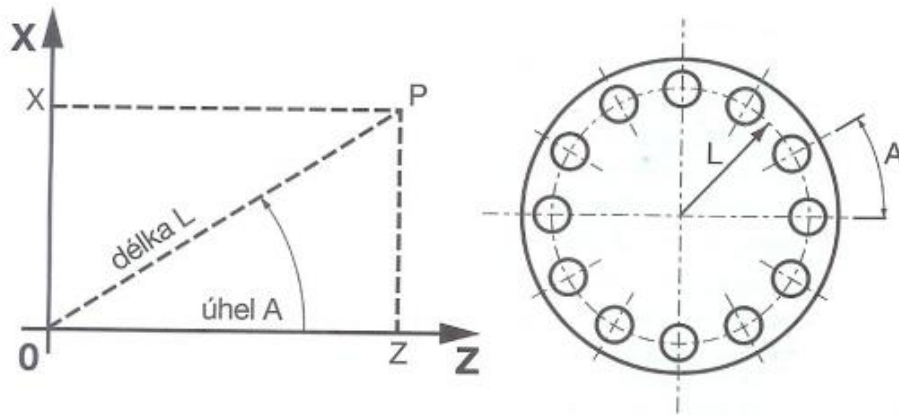


Obr. 8. Definování kartézských souřadnic – pravotočivá soustava systém 3 prutů. [3]

Programátor se v kartézském souřadnicovém systému nejčastěji setkává při tvorbě programů. V osách souřadnic popisuje výrobek – obrázek 8. Počátek souřadnic kartézského systému programátoři vkládají do nejvýhodnějšího místa na obrobku, který se nazývá Nulový bod obrobku. Nulový bod obrobku je výhodné umístit do takového místa, aby se co nejvíce zjednodušilo vyčítání jednotlivých geometrických bodů na obrobku. Konstruktor může napomoci technologovi – programátorovi, když bude respektovat zásady technologičnosti např. kótováním z jednoho místa, což je od měřicí základny tak, aby byly kóty přehledné. Tím ulehčí práci při programování a sníží se možnost vzniku chyb při výpočtu souřadnic z kót na výkrese.

Řídicí systémy CNC strojů používají kartézské souřadnice pro tvorbu CNC programů v těchto případech.

- Programování absolutní
- Programování přírůstkové (inkrementální) – osy kartézských souřadnic jsou vloženy na špičku nástroje (např. soustružnický nůž) nebo do osy rotace (vrták, fréza). O jakou hodnotu (v každé z os) se má posunout nástroj.
- Programování pomocí polárních souřadnic – z bodu, do kterého vložíme kartézské souřadnice, se stanovuje délka úhel, příklad obrázek 9.



Obr. 9. Definice bodu P pomocí úhlu a vzdálenosti (Praktické použití pro vrtání otvorů na roztečné kružnici) [3]

- Parametrické programování

V programech CNC se v závislosti na technickém řešení použitého stroje a náročnosti vyráběné součásti používá pro rozličné účely dané značení dalších os (doplňkových) souřadnicových systémů – přehled možností a použití uvádí následující tabulka.

Tab. 2. Přehled značení jednotlivých os

Souřadnicový systém CNC strojů – značení a použití jednotlivých os				
OSY - Druhy	↓	↓	↓	Určeno Pro
Základní osy	X	Y	Z	Geometrie pohybu nástroje
Rotační osy	A	B	C	Pokud konstrukce stroje umožňuje provádět přídavné rotační pohyby v osách, jsou tyto označeny A, B, C
Doplňkové osy	I	J	K	Parametry interpolace, které vyjadřují např. určení středu poloměru kontury oblouku na obrobku v souřadnicích. Stoupání závitu v jednotlivých osách
Sekundární terciální doplňkové osy	U	V	W	Přídavné pohyby v osách, např. hloubka třísky.
	P	Q	R	Většinou pro programování manipulátorů u strojů.

U obráběcích strojů s více osami, např. u vícevřetenového automatu, se osy indexují (např. Z_1Z_2 nebo $Z'Z''$ atd.) Obdobné je, když se na jednom stroji používá více na sobě nezávislých suportů. Frézka používá tři osy X, Y, Z – frézuje ve třech osách.

2.5 Nulové a další vztažné body na CNC strojích

Řídicí systém CNC stroje po zapnutí stroje aktivuje souřadnicový systém ve vlastním stroji.

Souřadnicový systém má svůj počátek – nulový bod, který musí být přesně stanoven. Podle použití mají nulové body své názvy. Na CNC strojích jsou i další důležité body.

M – Nulový bod stroje: Je stanoven výrobcem. Je výchozím bodem pro všechny další souřadnicové systémy a vztažné body na stroji. U soustruhů je nulový bod stroje M umístěn v ose rotace obrobku v místě čela vřetene. U frézy, v místě krajní polohy stolu frézky v obou osách – obvykle z pohledu obsluhy je to vlevo, vpředu.

W – Nulový bod obrobku: Nastaví je programátor pomocí dané funkce G v potřebném místě obrobku. Provádí se:

- a) posunutím souřadnicového systému – funkcí G54 až G59 (absolutně, přírůstkově) z nulového bodu stroje;
- b) indikuje se funkcí polohy nástroje – nástroj je definován v bodě souřadnicového systému, ze kterého vyplývá umístění nulového bodu.

Stanovení Nulového bodu obrobku je ovlivněno např.

- Kótováním na výkresu – základna, od které konstruktér kótoval (tak, aby kóty nebylo nutné přepočítávat)
- Souměrností výrobku (např. použití pro zrcadlení programu)
- Programátorskými zvyklostmi (osa – Z směřuje do materiálu), často se také při frézování umísťuje nulový bod na spodní stranu obrobku (osa – Z směřuje do stolu, +Z do materiálu a nad něj).

Umístění nulového bodu určuje programátor způsobem, který je závislý na použitém řídicím systému stroje a který vyplývá z možností stroje.

R – Referenční bod stroje: Je stanoven výrobcem a realizován koncovými spínači. Vzdálenosti nulového bodu stroje M a referenčního bodu stroje R jsou výrobcem přesně odměřeny v souřadnicové soustavě stroje a vloženy do paměti řídicího stroje jako strojní konstanty.

- Stroje, které mají přírůstkové odměřování polohy suportů – po zapnutí stroje, v ručním režimu a provedeném najetí do referenčního bodu, stroj „pozná“ svou polohu v souřadnicovém systému podle načtených souřadnic referenčního bodu.

- Stroje, které nemají zpětnou vazbu dosažené polohy nástroje – zařazení referenčního bodu do CNC programu vede k odstranění možných chyb. Mohou vznikat při interpolaci dráhy nástroje (kužely, rádiusy apod.). Mohou vznikat při zpoždění posuvů (např. zvýšeným třením), vzhledem k údajům, kterých již řídicí systém dosáhl. (Tyto chyby se opakováním drah nástroje – počtem vyráběných kusů – násobí.) Nájezdem do referenčního bodu se takto načtené chyby, které posouvají souřadnicovou soustavu, eliminují tím, že se načte správná poloha nástroje daná souřadnicemi referenčního bodu.

Stroje (převážně vyráběné v současnosti), které mají absolutní odměřování polohy, již nepoužívají referenční bod.

P – Bod špičky nástroje (soustruh): Je nutný pro stanovení délkové korekce a následně rádiusové korekce nástroje (tj. poloměru zaoblení špičky nástroje). Je to bod, jehož pohyb se teoreticky programuje (pokud se použijí rádiusové korekce).

F – Vztažný bod suportu nebo vřetene (pro vložení nástroje): Bod výměny nástroje na revolverové hlavě u soustruhu, u frézky je umístěn na čele vřetene a v ose její rotace. K bodu F se vztahuje délková korekce nástroje.

E – Bod nastavení nástroje: Bod na držáku nástroje, který se při upnutí ztotožní s bodem F (je nutný pro zjištění korekcí nástroje na přístroji mimo stroj).

dlouhé výpočty souřadnic. V těchto případech vzniká velké riziko chybného výpočtu, které může zapříčinit chybný rozměr, vadný výrobek.

Posunutí nulového bodu provedeme posunutím souřadnicového systému – funkcemi G54 až G59 z nulového bodu stroje M. Příklad je uveden pro program řídicího systému SINUMERIK:

- G54 (neuvádí se souřadnice) – posun souřadnicové osy, nulového bodu z čela vřetene na čela čelisti sklíčidla (absolutně). Uvedená vzdálenost 50(dle obrázku 8) je vložena do řídicího systému jako konstanta a platí pro dané sklíčidlo. Do téhož řídicího systému může být vloženo např. pro G55 hodnota (Z)60 – píšeme do programu G55, což platí pro jiné sklíčidlo. Obdobně lze řešit i pro další upínače lišící se velikostí vlastního tělesa nebo čelistí

- G58 X0 Z65 – již píšeme do CNC programu. CNC program provede další požadovaný posun nulového bodu (přírůstkově). Velikost posunu závisí na výkrese konkrétní součásti při volbě upínací základny a bodu, v němž programátor umístí nulový bod.

U jiných řídicích systémů je řešení stejné nebo obdobné. Některé řídicí systémy provádějí jen jeden posun, např. G54 X0 Z115 (X0 není nutno uvádět).

V případě frézek je obdobná situace: První posun se provádí na doraz při upínání (např. na horní hranu pevné čelisti svěráku a další posun řeší výšku materiálu nad čelistí).

2.6.2 Stanovení souřadnicové soustavy, nulového bodu obrobku na stroji dotekem nástroje

Tento způsob aktivizace souřadnicové soustavy - stanovení nulového bodu obrobku v požadovaném místě obrobku se používá u některých řídicích systémů. Principem je naškrábnutí čela obrobku nástrojem (případně přes „papírek“, pokud plocha na obrobku nesmí být poškozena nástrojem – vřeteno je zastaveno, nástroj se přibližuje pouze posuvem). Následuje potvrzení na stroji (případně zadáním velikosti přídatku na čele) a tím je určena pozice nulového bodu na obrobku v ose Z. Osa X se neřeší, pozice špičky nástroje je dána korekcemi nástroje.

V případě frézek je situace: najíždění nástrojem – ve třech souřadnicích, na tři plochy (obrázek 11). Po doteku bočních ploch obrobku v osách X a Y následuje pojezd nad obrobkem nástrojem o polovinu průměru nástroje. Následně najíždíme v ose Z na obrobek.

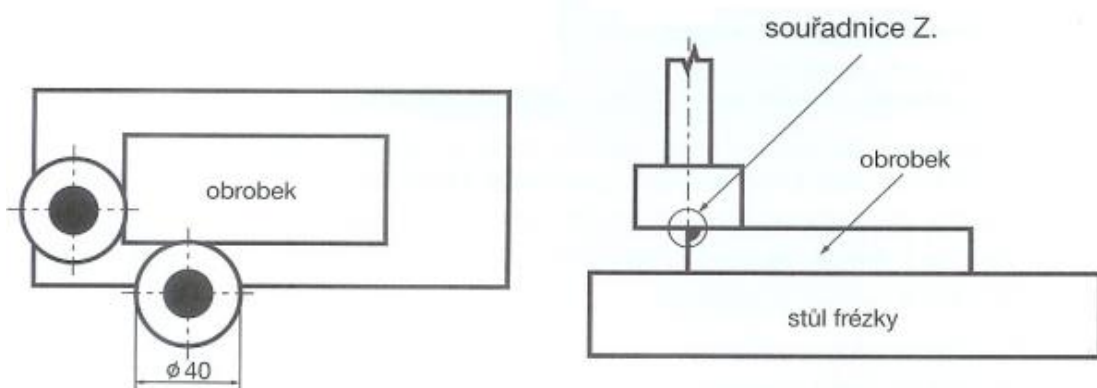
Takto jsme s osou rotace nástroje v nulovém bodě obrobku – tedy na obrazovce vynulujeme souřadnicovou soustavu.

Fréza najíždí z boku na obrobek

(postupně z jedné strany a následně druhé) a po pojezdu nad obrobkem o polovinu průměru v obou osách, bude svou osou nad nulovým bodem. Následuje vynulování souřadnic X, Y.

Fréza v bodě W (byl zadán na předním levém horním rohu obrobku)

Tento bod byl dosažen dotekem nástroje v ose Z. Následuje vynulování souřadnice Z.



Obr. 11 .Najíždění do nulového bodu na vertikální frézce – pohled shora a z boku [3]

Přesnost práce uvedené v bodech A) a B) lze zvýšit a z produktivnit dotekovými sondami, které jsou různé konstrukce (mechanické a elektrokontaktní) a signalizují dotek, případně zastaví posun stroje.

2.7 Korekce nástrojů

Korekce nástrojů se provádí z hlediska přesnosti výroby a hlavně z hlediska tvaru geometrie břitů nástroje. Převážné korekce se používají při změně tvaru břitu při opětovném přebroušení břitů.

Jedná se o korekce:

Korekce délkové – rozměry jsou uvedeny v osách souřadného systému. Velikost je vztahena k nulovému bodu výměny nástrojů (nástrojů s držákem) $E=F$.

Korekce rádiusové – velikost rádius špičky nástrojů (soustružnických strojů) a rádius fréz včetně stanovení polohy nástroje k obráběné ploše.

Korekce výsledná je superpozicí obou korekcí, která vytváří ekvidistantu kontury obrobku, po níž se pohybuje bod výměny nástroje F při obrábění.

Přístroje, určené pro zjišťování korekcí nástrojů, udávají délky nástroje v osách souřadnicové soustavy, velikost rádiusu a teoretickou špičku nástroje.

2.7.1 Korekce délkové

Jedná se o korekci délek jednotlivých souřadnicových osách.

A) Soustružnické nástroje – měří se v osách X, Z od vztažného bodu na držáku nástroje E=F po špičku nástroje od bodu P (např. soustružnický nůž).

B) Rotační nástroje – měří se v ose Z – od vztažného bodu na čele vřetene frézky, k čelu (fréza), špici (vrták), vrch polokoule (kolová fréza) rotačního nástroje.

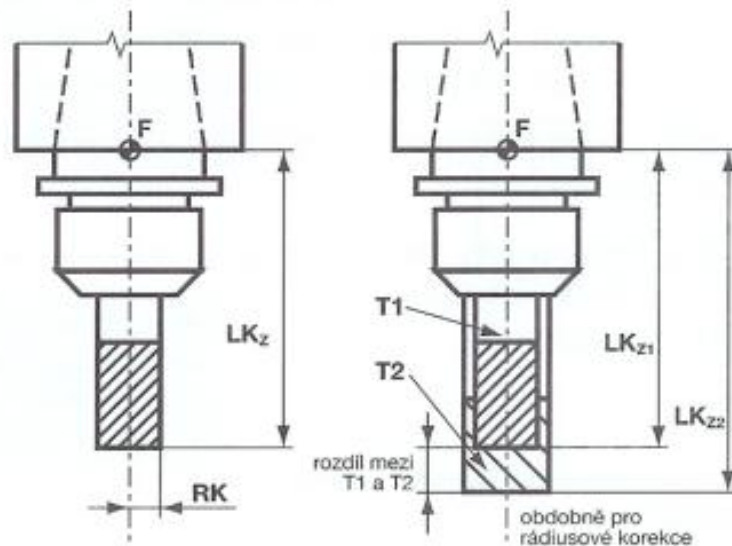
Zjištěné délky jednotlivých souřadnic musí znát řídicí systém, jelikož podle těchto údajů (a též uvedených rádiusových korekcí =poloměru frézy pro frézování vnější, vnitřní kontury) koriguje dráhy nástroje zapsané programátorem v jednotlivých blocích CNC programu. Zde jsou uvedeny dva způsoby zápisu:

1. Korekce délkové se zapisují do tabulky nástrojů, nejpoužívanější způsob je ve tvaru T1D1.

T1 značí nástroj na první pozici. D1 značí, že nástroj T1 má skutečně korekce, které jsou uvedeny pod symbolem D1. To platí i pro další značení nástrojů T2D2 atd. Pokud to řídicí systém stroje a charakter obrábění vyžadují, jsou zapisovány do téže adresy D také korekce rádiusové a poloha nástroje vzhledem k obráběné ploše.

2. Korekce délkové se zapisují u některých řídicích systémů přímo do programu při jeho tvorbě. Zapsány jsou u funkce M06 (ruční výměna nástroje) v adresách X Z (soustruh), Z (frézka).

Korekce délkové (i rádiusové). Zde se měří délkové korekce ve smyslu osy Z a poloměrem nástroje pro rádiusové korekce. Platí pro frézy různých druhů. Pro osové nástroje, jako jsou vrtáky, výhružníky, výstružníky apod., se uvádí pouze délkové korekce.



Obr. 12. Měření délkových korekcí nástroje – frézka [3]

2.7.2 Korekce rádiusové

Rádiusové korekce se v současnosti zjišťují u všech nástrojů, jelikož se samozřejmě očekává přesnost rozměrů a geometrie výrobku. (U jednoduchých strojů, které v řídicím systému nemají funkce G41 G42 a G40, nelze použít rádiusové korekce, ale lze vypočítat ručně ekvidistantu, která koriguje dráhu nástroje a do programu ji zadat.)

Z důvodů požadované geometrické přesnosti musíme provést korekční výpočty. Výpočty, které by byly velice pracné, řeší software v CNC programu. Funkce G41 nebo G42 zapíná matematický aparát, který vypočítává ekvidistantu která je vzdálená o poloměr rádius od zadané geometricky správné kontury. Po této ekvidistantě se pohybuje střed rádius špičky nástroje, tzn., že střed nástroje se pohybuje po ekvidistantě, která je rozdílná od zadaného CNC Programu. Funkce G40 matematický aparát vypíná.

Fréza má svým průměrem danou velikost rádius (totéž platí o rádius kulové frézy a dalších obdobných nástrojů). Pokud nebudeme počítat s touto korekcí, např. při frézování kontury, nebo tento fakt nepotřebujeme brát v úvahu (frézování drážky jak průměr frézy), budeme programovat, tedy i obrábět osou rotace nástroje.

Velikost rádiusu u výměnných plátků je známá z požadavku realizované dodávky výměnných plátků tak, jak uvádí výrobce ve svých katalogích. Rádius špičky nástroje soustružnického nože, pokud je vybroušen, lze zjistit mikroskopem.

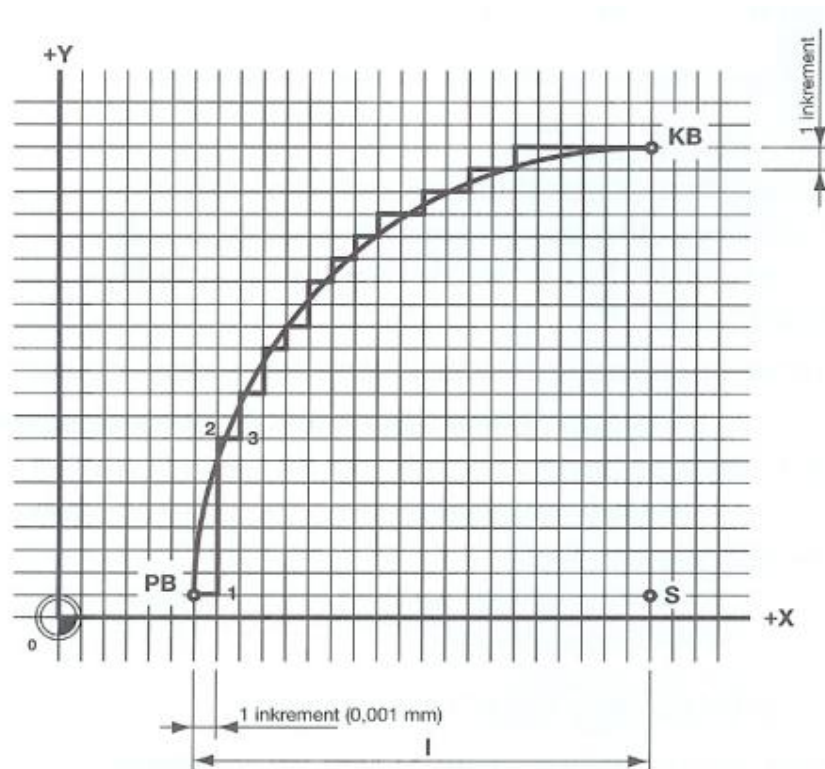
Průměry fréz, tedy jejich poloměry, jsou dány konstrukcí nástroje a lze je přeměřit, pokud dochází ke změnám.

Poloměry nástrojů (u fréz), rádius špiček nástrojů (u nožů) se zadávají spolu s korekcemi délkovými do tabulky nástrojů, která je součástí softwaru CNC programování. [3]

2.7.3 Pojem interpolace, pojem inkrement

Skutečná dráha nástroje vyplývá z dráhy bodu E=F (tj. bodu výměny nástroje), která je korigovaná zadanými korekcemi nástroje. Tyto informace jsou zpracovány v interpolátoru (obrázek 6). Interpolátor zpracovává interpolace lineární. Jedná se o pohyb mezi dvěma body, který musí být přímkový (funkce G01 pracovní posuv, G00 rychloposuv). Dále interpolátor zpracovává interpolace kruhové, kdy pohyb mezi dvěma body musí probíhat po kruhovém oblouku. Zde jsou dvě řešení, jak se dostat z jednoho bodu do druhého – ve směru (vpravo), nebo proti (vlevo) směru hodinových ručiček (funkce G02, G03). To vše může probíhat v rovině (dvě osy X, Z – soustruh, dvě osy X, Y frézka) nebo v prostoru (tři osy X, Y, Z – frézování a další víceosé obrábění). Z lineárních a rádiusových elementů se skládá jakákoli dráha nástroje.

Interpolátor a odměřovací zařízení nedávají spojitý signál, ale řadu pulsů. Regulační odchylka je rozdíl mezi signálem o požadované dráze (generuje interpolátor) a signálem o skutečně ujeté dráze (generuje odměřování) – oba signály se porovnávají a jejich rozdíl po zesílení se stává akční veličinou a slouží k provedení dráhy. Oba pracují po nenulových „skocích“, který říkáme přírůstky neboli inkrementy. Každý puls je signálem pro ujetí jednoho inkrementu (přírůstku) dráhy. Inkrement je nejmenší programovatelná (měřitelná) dráha. Body, do kterých vede řídicí systém nástroje, nejsou úsečky nebo oblouky, ale schodkovité čáry jednotlivých inkrementů mezi počátečním a koncovým bodem dráhy nástroje. Tyto schodkovité čáry a oblouky aproximují, nahrazují teoretické zadané křivky. Na přesnost geometrie má vliv, velikosti inkrementů – čím menší, tím lepší nahrazení. Používá se inkrement velikosti 0,001 mm. Obrázek 13. ukazuje skutečný tvar dráhy po oblouku. Obdobné znázornění by platilo při přímkovém pohybu funkcemi G01. G00, který není rovnoběžný s osami souřadnicové soustavy. [3]



Obr. 13. Interpolace dráhy kontury – inkrementy [3]

3 Struktura řídicího programu

Na začátku programu je před prvním řádkem (blokem) uveden znak %, za znakem je uvedeno číslo programu – to platí pro většinu řídicích systémů. Před tímto znakem lze uvádět informace, které stroj nezpracovává. Např. poznámky, jako je název součásti atd. Poznámky lze uvést i za znakem v programu, ale je nutné je dát do závorky. Jsou řídicí systémy, které tento znak nepožadují, potřebné poznámky se obvykle uvádějí v programu např. funkcí G.

3.1 Složení programu v bloku

Tab. 3. Obecný příklad složení programu

Příklad				Název	Poznámka
N05 G 00 X 0 Y 0 Z 0				blok (věta)	Doporučené pořadí adres jednotlivých slov ve větě je. N G (M) X Y Z F S T D, nemusí se dodržovat. Záleží na daném řídicím systému. Doporučuje se dodržovat pro větší přehlednost
N05	G 00	X 0	Y 0	příkaz (slovo)	
N	G	X	Y	adresa	
5		00		významová část	
0		0		rozměrová část	

Tab. 4. Význam nejpoužívanějších adres.

Písmeno	Význam	Poznámka
X Y Z	Základní osy souřadnicového systému (pohyb v osách).	Některá z uvedených písmen abecedy jsou pro výrobce řídicích systémů závazná, některá doporučená. Neobsazená písmena abecedy jsou volná, výrobci je obsazují dle specifik svých řídicích systémů. Podle možností daných stroji pro které jsou především určena.
A B C	Rotace kolem základních os.	
I J K	Parametry interpolace nebo stoupání závitu ve směru os.	
P Q R	Pohyb paralelně podél základních os.	
R	Některé systémy používají R jako parametr v podprogramech.	
U V W	Druhý pohyb paralelně se základními osami.	
T	Nástroj.	
D	Paměť korekce nástrojů.	
G	Přípravná geometrická funkce.	
M	Pomocná funkce.	
N	Číslo bloku (věty).	
F	Posuv.	
S	Otáčky vřetene. Konstantní řezná rychlost.	
L	Volání podprogramu.	

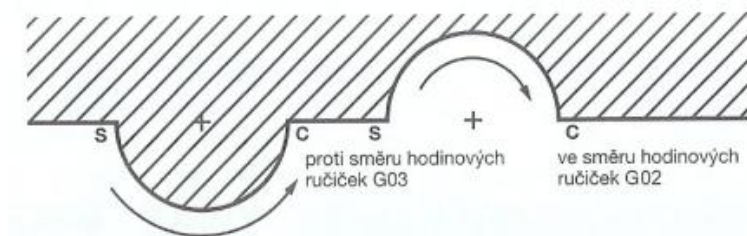
Věta (blok) musí začínat písmenem N a následuje číslo řádku. Čísluje se obvykle po desítkách, aby bylo možné dodatečné vložení dalších vět například při opravě programu. Řídicí systém obvykle seřazuje bloky podle čísel vzestupně a v tomto pořadí je čte a stroj vykonává zadané příkazy. Vzestupnost čísel slouží též pro lepší orientaci programátora v programu. Pokud by následující věta obsahovala některé stejné instrukce, nemusí se psát, jsou platné do té doby, než budou přepsány. Přípravné (hlavní) funkce G. Zpracovávají geometrické informace. Některé systémy připouštějí vložit i více G funkcí do jedné věty. Dvojmístné číslo se nemusí používat, pokud je první číslo 0. Pomocné funkce M- Vyvolávají činnosti mechanismu stroje. Některé se také týkají řídicího systému. Informace o dráze. Jsou zadány cílovým bodem v souřadnicích absolutně nebo přírůstkem. Funkce nástroje T. T a D se udávají obvykle dvojmístným číslem vzájemně souvisejícím. Posunové funkce F. Velikost posuvů je zadána v mm za minutu. Funkce otáček S. Velikost otáček je zadána v otáčkách za minutu, řezné rychlosti jsou v metrech za minutu.

Tab. 5. Použití nejdůležitějších funkcí G a M

Označení funkce	Název funkce	Použití	
G00	Lineární interpolace	Rychloposuvy	
G01		Pracovní posuvy	
G02	kruhová interpolace	Ve směru hodinových ručiček	
G03	(zhotovení rádiusů)	Proti směru hodinových ručiček	
		další adresy.	
Označení funkce	Název funkce	Použití	
G17	Pracovní rovina	Určení roviny, ve které se provádí pracovní posuvy a rychloposuvy.	
G18			X - Y
G19			Z - X
G33	Řezání závitu	Určuje se proměnlivá hloubka třísky a počet hlazení bez přídavku.	
G40	Zrušení korekcí	Vypnutí matematického aparátu vypočtu ekvidistanty.	
G41	Zapnutí korekce rádiusů	Výpočet dráhy nástroje (její ekvidistanty).	
G42		Ekvidistanta, nástroj vlevo od kontury.	
G45, G46, G47	Nájezdy nástrojem	Realizují se po přímce, rádiusu, oblouku pokud se požaduje plynulý přechod nástroje do řezu nebo z řezu	
G54 - G59	Posuvy nulového bodu	Posuvy absolutně i přírůstkově, na začátku i v průběhu programu.	
G99	Absolutní	Programování - popis drah nástroje v souřadnicové soustavě.	
G91	Přírůstkové	Programování - popis dráhy nástroje, o kolik se posune v osách.	
G92 (G50)	Omezení otáček	Stanoví velikost otáček, které neohrozí bezpečný chod stroje.	
M03	Otáčky vřetene	Ve směru hodinových ručiček	
M04		Proti směru hodinových ručiček	
M05	Zastavení vřetene		
M06	Výměna nástroje	Do této funkce se doplňují délkové korekce	
M07 - M08	Zapnutí čerpadla	Chlazení. Mazání obrobku při obrábění (možnost více čerpadel).	
M09	Vypnutí čerpadla		
M17	Konec podprogramu	Vrací do hlavního programu	
M30	Konec programu	Návrat na začátek hlavního programu.	

3.1.1 Příklady a vysvětlení některých funkcí pro CNC frézku

Stanovení směru obrábění. Ze startovacího bodu do bodu cílového lze dostat dvěma směry. Při obrábění kontury to musí určit programátor.



Obr. 14. Stanovení směru rádius funkcemi G02 a G03 [3]

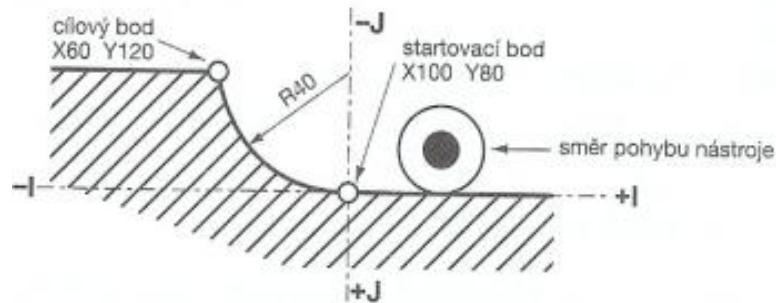
Určení funkce G02 a G03 (směr je odvozen od pravotočivé souřadné soustavy)

Obrábění rádius pomocí zadání velikosti R, pomocí souřadnic I, J, K. Jak ukazuje obrázek 15. na příkladu frézování (v rovině X, Y), do startovacího bodu vložíme souřadnicovou soustavu I, J – přírůstkově stanovíme střed rádius. Použijeme příslušné souřadnice k obráběné rovině

V případě soustružení je to I, K (obrábí se v souřadnicích X, Z).

Střed rádius se stanovuje přírůstkově, výjimečně se používá i absolutně.

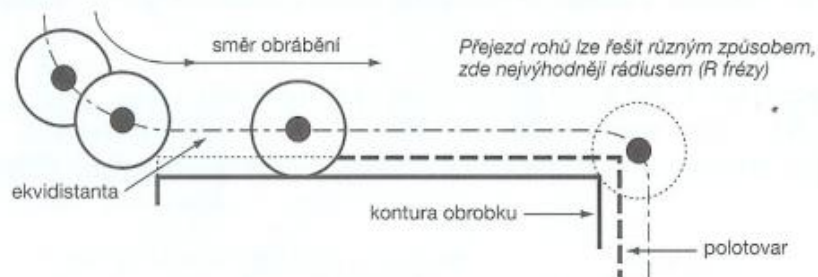
Při použití souřadnic I, J, K je menší pravděpodobnost způsobit chybu vůči zadávání pomocí R.



Obr. 15. Stanovení rádius použitím souřadnicové soustavy I, J [3]

Použití této funkce nabývá na stále větším významu u všech druhů obrábění.

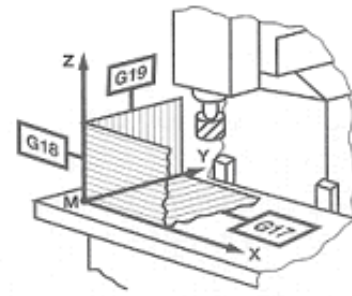
- 1) Plynulého nájezdu (bez rázů) nástrojem do materiálu (HSC- vysokorychlostní obrábění)
- 2) Při plynulém nájezdu na obrobenou plochu nevznikají vruby. Např. při výjezdu otupeným nástrojem a následně novým nástrojem pro dokončení obráběné plochy. Na obrázku 16. Je vyobrazen pohyb při plynulém zajíždění do třísky.



Obr. 16. Ukázka plynulého nájezdu nástroje po oblouku do třísky [3]

Obrábění v rovinách souřadnicové soustavy

Možné obrábění ploch v rovinách názorně ukazuje obrázek 17. Na frézkách je možné obrábět ve třech rovinách, zatímco soustruh obrábí pouze v jedné rovině



Tab. 6. Tabulka s funkcí G určená pracovním rovinám.

Funkce	Rovina obrábění	Rovina obrábění
G 17	X - Y	X - Y
G 18	Z - X	Z - X
G 19	Y - Z	Y - Z

Obr. 17. Svislá frézka a roviny obrábění [3]

3.2 Programování CNC strojů pomocí CAD/CAM systémů

Nabídka trhu poskytuje CAD/CAM systémy pro stejnou technologii výroby od různých softwarových firem v různém rozsahu a komfortu. Obsluha softwaru podle panelů nabídky je řešena různým způsobem, nemůže být dána žádná norma, která by sjednocovala postup práce a obsah příkazů. Příkazy jsou často vyjádřeny na obrazovce jedním, dvěma slovy. Softwary pokrývají různé strojírenské technologie výroby, které lze automatizovat. Dále jsou v modulech CAM řešeny sdružené technologie, které obsahují obráběcí centra, to značí, že na jednom stroji je možné např. soustružit i frézovat. [3]

CAD/CAM systémy realizují vyšší stupeň počítačové podpory než klasické (ruční) CNC programování. Výkres vytvořený v systému CAD se kopíruje pro další práci v modulu CAM. Programátorské rutinní vědomosti (funkce G, M, popis dráhy, možnosti cyklů atd.) není třeba uvádět. Vygenerují se automatizovaně pomocí zadávaných příkazů z převzaté kontury CAD ve 2D výkresu nebo z modelu ve 3D. Je výhodné před programováním očistit výkresy CAD od zbytečných prvků (např. kóty, razítko apod.).

CAD/CAM programování vyžaduje od uživatele vyšší znalosti obsluhy modulu CAM (často i znalosti obsluhy CAD, konstruktéři též mají znát možnosti programování CNC strojů a jejich obsluhy včetně technologie). Výše znalosti programátora CAN zaručuje kvalitu výsledného programu. Při náročném programování programátor často vyhotoví více variant programů daného obrobku a rozhoduje mezi nimi, vybírá takový program, jehož výroba je časově méně náročná, aniž by docházelo k ničení nástroje a stroje a byla zaručena požadovaná kvalita výroby. Modul CAM pracuje v dialogu s programátorem,

který odpovídá na kladené dotazy a na nabízené možnosti dle typu činnosti. Nabídka modulu CAM je směřována na body, jak je uvedeno následně, často i v jiném pořadí, což závisí na použitém softwaru :

Celková strategie obrábění, to značí jak postupovat zhotovení dílce – které operační úseky volíme a jejich pořadí (hrubování, hlazení, závity atd., u výroby forem je to také např. rampování, rastrování, offsetování).

Volba nástroje (tvar a rozměry) a bod výměny nástroje.

Řezné podmínky vztažné na nástroj a na obrobek pro danou strategii obrábění (programátor řezné podmínky aplikuje a upravuje na daný stroj v dílně).

Podmínky vlastního obrábění (při ručním programováním řešeno funkcemi G, M):

- Strategie obrábění daného operačního úseku vázaný na jeden nástroj;
- Poloha obrábění ke kontuře (G41, G42);
- Způsob obrábění (podél kontury, lineárně atd.);
- Chlazení, mazání nástroje;
- Případně další (ochrana proti možné kolizi s držákem nástroje atd.).

Následně procesor automatizovaně vyhotoví CL data pro od simulování programu. Provede se simulace zhotoveného programu – zda se jedné o zjištění možných vyskytujících se chyb, nejčastěji jsou neobrobené nebo podřezané plochy. Zde programátor doplní a opraví již zhotovený program.

Výběr post procesoru „překladače“ pro daný řídicí systém CNC stroje, na kterém zhotovíme daný výrobek.

Následuje automatizované vyhotovení programu CNC v modulu CAM, který se zapisuje v blocích v kódu ISO jako při ručním programování se specificky daného řídicího systému. Program se archivuje a posléze přenáší na určené stroje.

Program do stroje je nahrán v kódu ISO a lze ho z tohoto pohledu v řídicím systému stroje číst a případně opravovat.

Kvalita vyhotoveného programu je dána zkušeností a použitým programem.

Z hlediska programátora jsou dány:

- Znalost daného softwaru, který poskytuje různé možnosti řešení a jejich správné aplikování do daného programu .

- Znalost technických parametrů obráběcího stroje, pro který se programuje, a znalost jeho technického stavu.
- Technologie výroby, znalostí použitých nástrojů a optimální aplikace řezných podmínek na použitý nástroj a stroj atd.

Z hlediska použitého softwaru jsou dány:

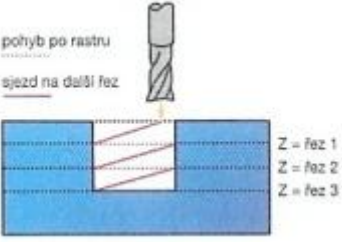
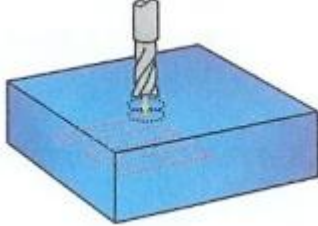
- Spolehlivost („padání“ software, bourání nástrojem do obráběné plochy, zbytečné přejezdy rychloposuvem), příjemnost a snadnost obsluhy softwaru.
- Možnosti školení a doškolení, servisu, obnovování vyšších verzí daného softwaru.

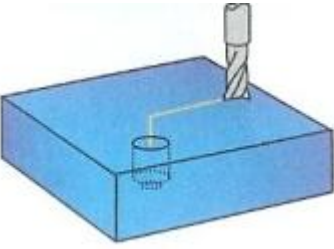
3.3 Možnosti obrábění při použití vyspělých CAD/CAM systémů

CAD/CAM systémy nabízejí vytváření různých strategií při obrábění, tyto snižují výrobní časy, zaručují kvalitu plochy a využívají možností moderních nástrojů. Zde jsou uvedeny strategie frézování. Tyto systémy také umožňují pracovat s již vytvořenými dráhami nástroje, tyto upravovat, spojovat a poskytují další možnosti.

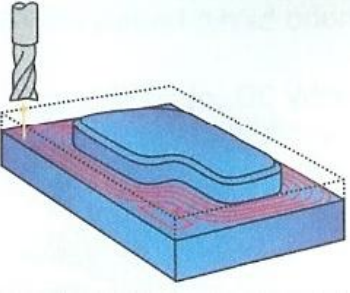
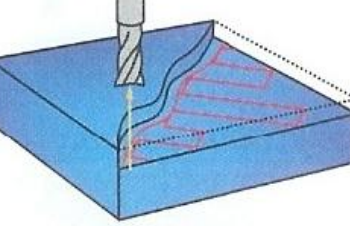
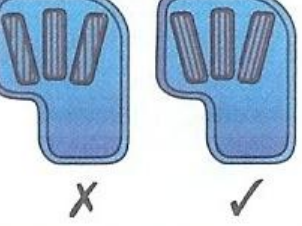
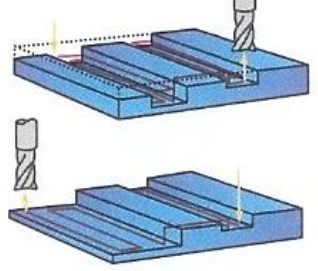
Vývoj nových nástrojů zasáhl do CNC obrábění – také výrobci software na toto reagovali vytvářením nových cyklů, které urychlují práci programátora, zaručují kvalitu práce při snížení času výroby a slučují operační úseky v jeden celek, v jeden nástroj. [3]

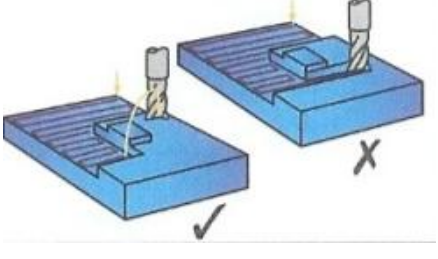
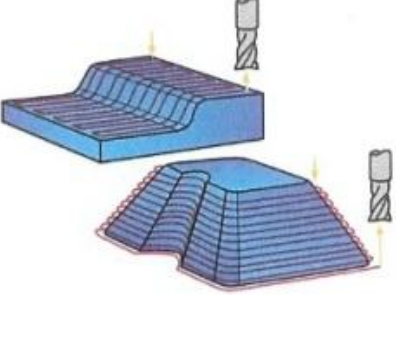
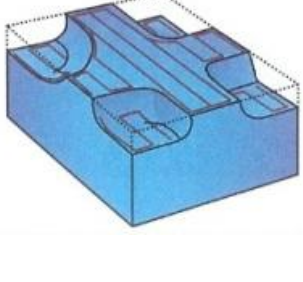
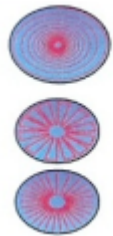
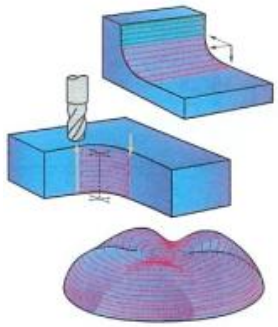
Tab. 7. Možnosti obrábění [3]

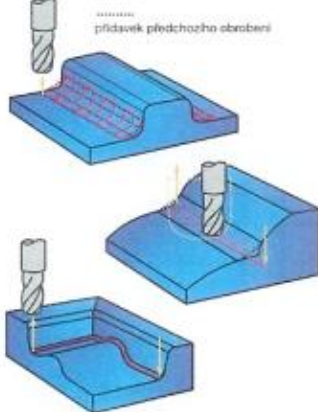
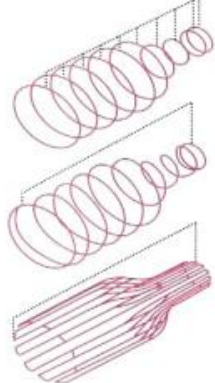
	<p>Ramování</p> <p>Sjetí pod úhlem, kdy se do materiálu postupně zabojuje fréza.</p> <p>Dovoluje použít výkonnou frézu, která nemá břity do středu rotace nástroje (nepoužívá se drážkovací fréza).</p>
	<p>Drážkovací fréza</p> <p>Zaboří se do materiálu a následuje frézování v rovině kolmé na osu rotace</p>

	<p>Předvrtání otvorů pro zaboření frézy</p> <p>Polohu je možné předdefinovat nebo ji navrhne příslušný software.</p> <p>Do otvoru najíždí fréza vícebřítá výkonná (frézuje se v rovině kolmé na osu rotace – nemusí se používat drážkovací fréza).</p>
---	---

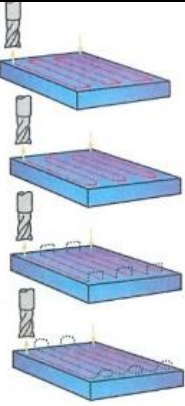
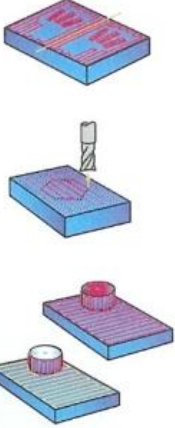
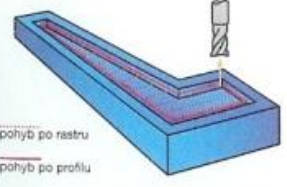
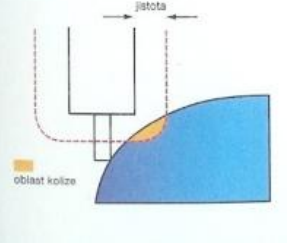
Tab. 8. Strategie obrábění ploch [3]

	<p>Frézování kontury (ofsetování, paralelní frézování)</p> <p>Frézuje se podél vytvořeného CAD tvaru. Postupně se odebrává materiál, až se dosáhne požadovaného tvaru. Frézuje se ve více vrstvách („Z“ výškách) a také ve spirále (rampování). Zhotovují se vnější i vnitřní tvary, u vnitřních je možné začít frézování od středu ke kontuře (začít uvnitř), nebo naopak – od kontury do středu (začít vně).</p>
	<p>Rastrování k profilu</p> <p>Je vhodné pro větší úběr materiálu, řeší se pod libovolným úhlem a s určitým překrytím průměru frézy. Vlastní tvar profilu se objíždí následně, lze jej též ojíždět i před rastrováním.</p>
	<p>Nastavení úhlu pohybu nástroje</p> <p>Je to optimální obrábění, pokud software dokáže upravit dráhy nástroje např. ve směru drážky.</p>
	<p>Drážkování</p> <p>Je zapotřebí, aby nástroj vyrobil jednu drážku a následně druhou – neobráběl ve stejných výškách všechny drážky současně.</p> <p>Přejezdy</p> <p>Je nutné, aby software vyhodnotil minimální výšky přejezdu – tak odstraní neúsporné dráhy a minimalizoval čas.</p>

	<p>Minimalizování záběrů plnou šířkou frézy</p> <p>Optimální záběr se uvádí jako $2/3$ až $3/4$ průměru frézy. Plný záběr, pokud nesnížíme řezné podmínky, značí přetížení nástroje, jeho otupení, případně havárii.</p>
	<p>Dokončení lze provádět rastrem</p> <p>Lze provádět rovnoběžně s osami, pod zvoleným úhlem a křížem. Použití závisí na sklonu ploch vůči dráze nástroje (má vliv na drsnost plochy). Obecně je rastrování použitelné pro plochy s mírným sklonem, až vodorovně.</p> <p>Dokončení lze provádět v konstantních „Z“ výškách</p> <p>Má smysl od určité strmosti až po kolmé stěny.</p>
	<p>Obrábění v hranicích</p> <p>Na povrchu modelu můžeme vyznačit (nakreslit) hranice a v nich provádět obrábění různými způsoby. Je výhodné u horizontálních a mírně skloněných ploch – není třeba obrábět celý povrch. Ve spojení se „Z“ výškami vznikají na výrobku velmi kvalitní plochy.</p>
	<p>Tyto strategie jsou výhodné pro kruhové (nebo blízké kruhu) plochy na výrobcích ve 2D.</p> <p>Frézování ve spirále – použití též pro plochy 3D, obdoba dokončování v „Z“ výškách, výhodné pro rychlostní obrábění (nástroj nemění směr- nemusí zpomalovat).</p> <p>Radiální frézování – frézuje se od středu a ke středu kruhu, spojení drah. Zadává se úhel, od kterého a do kterého se obrábí.</p>
	<p>Frézování projekcí – používá se pro vyšší kvalitu povrchu na složitých tvarech modelu.</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Rovinou (představa: z plochy, kterou definujeme a můžeme naklánět „ozářujeme“ různá zákoutí apod.) – tím můžeme na tyto plochy promítat individuální rastr. 2. Přímkou (představa: „ozáření přímkou – trubící zářivky“) – obrábíme dráhami: přímka, kruh, spirála, což je výhodné pro obrábění dutin. 3. Bodem (představa: „ozáření žárovkou – bodem“) – dráhy vznikají projekcí kruhu, spirály, radiály.

	<p>Zbytkové obrábění</p> <p>Toto obrábění odstraňuje zbytky materiálu, které zůstaly neobrobena po předchozím nástroji. Podmínkou je použití menšího nástroje – neobrobíme vše.</p> <p>Obrábění rohů</p> <p>Obrázky 1 a 2 – dráhu, směr nástroje lze volit.</p> <p>Obrábění perem</p> <p>Obrázek 3 – nástroj se pohybuje podél rohů obrobku.</p>
	<p>Rotační obrábění</p> <p>Ideální způsob, jak obrábět rotační dílce na frézce. Provádí se na stole frézky v přístroji, kde součást rotuje kolem X. Použit lze strategie:</p> <ul style="list-style-type: none"> -kruh -spirála -lineární <p>Metoda nutná pro tvarování reliéfů na rotačních plochách.</p>

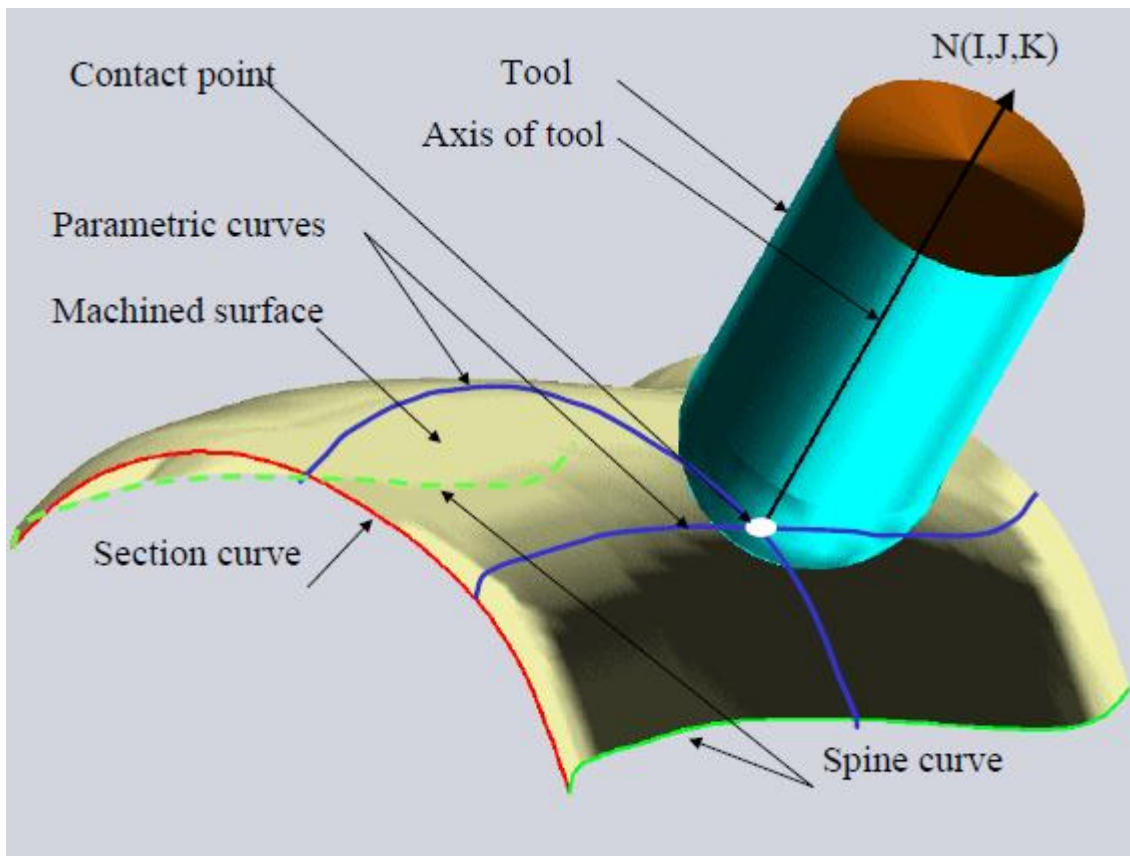
Tab. 9. Úpravy drah nástroje a kolize v programech CAD/CAM [3]

	<p>Editace drah nástroje</p> <p>1. Náběhy a propojení</p> <p>Ještě před obráběním na stroji je často nutné náběhy nástroje upravit, a to při vstupech a výstupech z materiálu. Navíc je třeba upravit a propojit dráhy nástroje při přejezdech mezi jednotlivými ostrůvky obrábění. Účelem modifikovaného programu je, aby byl optimální a doba obrábění byla minimální.</p>
	<p>2.Transformace drah</p> <p>Zrcadlení, posun, rotace – dávají nový duplikát, další obrábění z původního obrazce. Pozor na směr rotace nástroje.</p> <p>3.Limitování drah</p> <p>Lze provázet rovinou nebo křivkou pomocí myši. Tím omezíme obrábění na potřebnou míru a tím uspoříme čas.</p> <p>4.Spojení drah</p> <p>Dráhy obrábění jednotlivých strategií lze spojovat, a tak redukovat čas. Lze kombinovat v pořadí, které si zvolíme. Používáme i tam kde máme různé nástroje – a to pro použití na obráběcích centrech s výměníkem nástrojů.</p>
	<p>5.Odstranění a úpravy drah nástroje</p> <p>Z hlediska ekonomiky je to nutné, pokud nejsou efektivní pro výrobu. Jedná se o rychloposuvy a pracovní posuvy.</p>
	<p>Systémy kontrolují kolize nástroje a držáku</p> <p>Kontrolují: Zda došlo ke kolizi, hloubku střetu, místo kolize.</p> <p>Jedná se o dostatečné vysunutí nástroje a délku ostří nástroje.</p>

3.4 Způsoby pětiosého programování

3.4.1 Základní informace pro pětiosé programování

Na obrázku 21 je znázorněna tvarová plocha pro vysvětlení základních informací používaných při 5osém programování. Jedná se tedy především o Axis of tool- (osa nástroje), dále Contact point- (kontaktní bod nebo bod pro výpočet dráhy), Parametric curves- (parametrická křivka), Machined surface (povrch obrobku), Section curve- (vodící křivka), Spine curve- (pomocná křivka).



Obr. 18. Pětiosé programování základní informace [10]

3.4.2 Popis výpočtu úhlů A a B pro pětiosé řízení

VÝSLEDNÁ TRANSFORMACE (transformační matice TA): Nejprve se vypočte úhel B a potom A. Transformační matice pro komplexní transformaci v prostoru se získá jako součin transformačních matic (rotací kolem) X a Y, podobně pro jiné rotační osy.

$$\begin{array}{cc} \mathbf{X} - \text{matice} & \mathbf{Y} - \text{matice} \\ \left| \begin{array}{ccc} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos A & \sin A \\ 0 & -\sin A & \cos A \end{array} \right| \times & \left| \begin{array}{ccc} \cos B & 0 & -\sin B \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin B & 0 & \cos B \end{array} \right| \end{array}$$

Koeficient výsledné transformační matice se získá vynásobením podle principu:

$$ta_{11} = x_{11} \cdot y_{11} + x_{12} \cdot y_{21} + x_{13} \cdot y_{31}$$

$$ta_{12} = x_{11} \cdot y_{12} + x_{12} \cdot y_{22} + x_{13} \cdot y_{32}$$

$$ta_{33} = x_{13} \cdot y_{31} + x_{23} \cdot y_{23} + x_{33} \cdot y_{33}$$

Výsledná transformační matice TA má tvar:

$$\left| \begin{array}{ccc} \cos B & 0 & -\sin B \\ \sin A \sin B & \cos A & \sin A \cos B \\ \cos A \sin B & -\sin A & \cos A \cos B \end{array} \right|$$

Při tvorbě programu v daném softwaru není nutné výpočty úhlů a jiných okolností provádět. [2]

3.5 Verifikace u pětiosých aplikací obrábění

U 5osého řízení je z hlediska informovanosti programátora nutná strojní simulace. Tato simulace je nutná z hlediska pozice umístění obrobku na stole stroje, ale také plní funkci kontroly možných vzniklých kolizí. Především kolize mezi Nástrojem a částmi stroje. Důvodem proč tato simulace je využívána, že během pracovního cyklu může dojít k dosažení limity stroje, například (dosažení limitní polohy C osy rotace), v případě dosažení limity má většina strojů nastaveno přetočení do jiné polohy, nebo je možné toto přetočení definovat, aby pracovní cyklus mohl dál pokračovat. Při přetočení právě může dojít ke kolizi mezi nástrojem a strojem, proto je nutné tuto simulaci vždy provádět, aby nedošlo k poškození stroje. Dále strojní simulace informuje o dosažení limitních hodnot. Jedná se o například špatné usazení obrobku na stole stroje. U simulace strojní je vždy nutné mít odpovídající vyobrazení stroje a to z důvodu shodnosti mezi počítačovým modelem a skutečným strojem. Další simulací u 5osého obrábění je užívaná stejná simulace jako u standardního 3osého frézování. Tato simulace simuluje odebíraný materiál polotovaru a je schopná jej porovnávat s obrobkem. Při srovnávání polotovaru s obrobkem

nám simulace nabízí barevnou analýzu přídávků jak plusových tak i záporných. Mimo jiné tato simulace také zobrazuje kolize mezi nástrojem a obrobkem.

3.6 Možné konstrukce pětiosých CNC strojů.

Konstrukce pětiosých CNC strojů existují nepřeberné množství, vždy záleží u daného stroje na jeho principu užití ve výrobě a k účelům k jakým je užíván. Různé konstrukce se liší především kombinací A, B, C os a popřípadě přídatnými osy u CNC center. Různé provedení konstrukce je ovlivněno velikostí obráběných výrobků, přesností výroby či způsobu výroby. Na následujících obrázcích jsou různé typy CNC frézek.



Obr. 19. 5-ti osé CNC obráběcí centrum Hermle C40 dynamik [13]

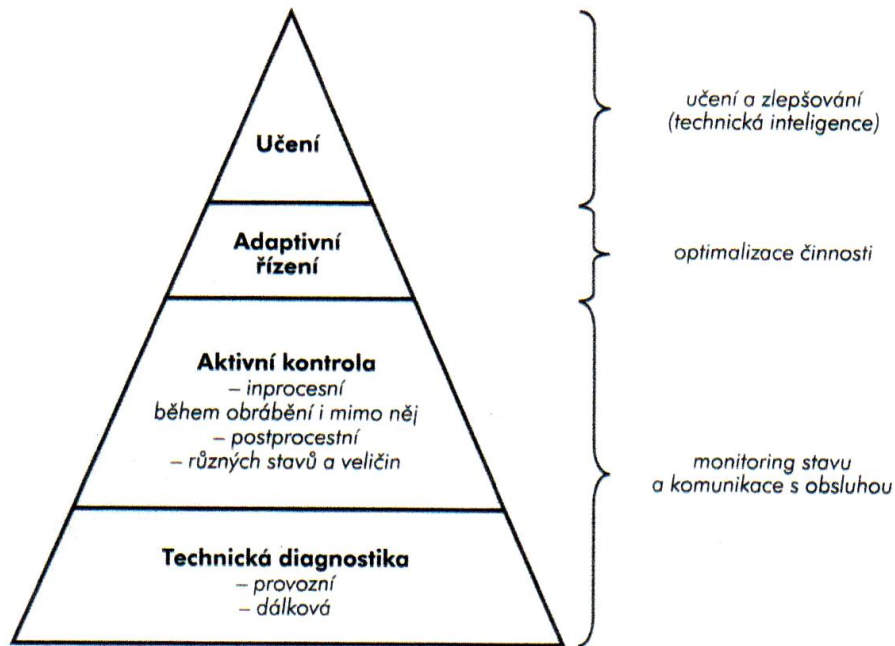


Obr. 20. 5-ti osé CNC obráběcí centrum Sahos Power [12]

3.7 Inteligentní stroje, adaptivní řízení, aktivní kontrola a technická diagnostika CNC strojů

Technická inteligence obráběcích strojů je v současné době zkoumána mnoha výzkumnými organizacemi a je tvořena několika úrovněmi. Na obrázku 21 jsou zobrazeny způsoby diagnostiky, kontroly, adaptivního řízení a učení. Adaptivní řízení obráběcích strojů. Jeho hlavním cílem je adaptivní řízení. Tím to způsobem jde o zvýšení produktivity obrábění a úsporami ve výrobních časech. Princip těchto úspor spočívá v regulaci řezných podmínek (především posuv vzhledem k dané řezné rychlosti). Adaptivní řízení usnadňuje přípravu programů, neboť osvobozuje programátora technologa od nutnosti programovat "optimální" řezné podmínky. Adaptivní kontrola obráběcích strojů. Hlavním úkolem systémů aktivní kontroly je automatická eliminace vlivu různých faktorů, která negativně ovlivňuje přesnost obrábění. Moderně koncipované systémy aktivní kontroly pak kromě výše uvedených vlastností přispívají k dalšímu zvyšování produktivity výroby zkrácením přípravných a vedlejších časů. Těchto přínosů je dosahováno do seřízení nástrojů v pracovní poloze na stroji, indikací opotřebení a poškození nástrojů a využití aktivní kontroly pro proměňování polotovarů obrobků, upnutých v poloze pro obrábění na stroji a na podkladě výsledků těchto měření provedou modifikaci. V závislosti na umístění

příslušných snímačů, způsobu měření a vyhodnocování výsledků měření a způsobů provádění korekčních zásahů se systémem aktivní kontroly se dělí do dvou základních typů. Aktivní kontrola inprocesní a post procesní. Technická diagnostika nahrazuje intuitivní empirický přístup k údržbě technického objektu přesným systematickým přístupem založeným na využití všech informací, které lze získat bez rozebrání objektu a detailního zkoumání jeho jednotlivých součástí. Zavedená technická diagnostika zvyšuje spolehlivost a bezpečnost provozu. [10]



Obr. 21. Způsoby diagnostiky, kontroly, adaptivního řízení a učení [10]

4 Shrnutí teoretické části

Teoretická část je zaměřena na problematiku týkající se programování CNC stroje, jednotlivé zásadní znalosti pro obecnou tvorbu NC kódu. Dále je teoretická část zaměřena na 5ti-osé řízení, verifikace a strojní simulace. Nutnou součástí teoretické části je taktéž teorie obrábění a její základy, které úzce souvisí s výrobou frézování.

5 Cíle praktické části

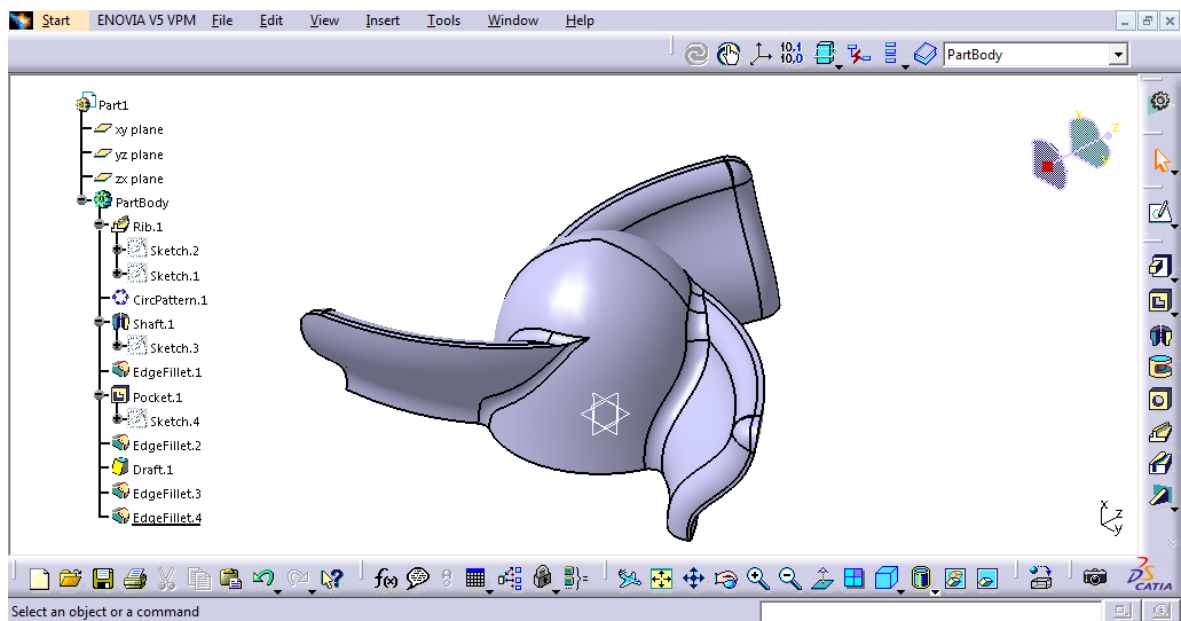
Cílem praktické části diplomové práce je vytvoření 12 CAD modelů v softwaru Catia V5R18. Dále vytvoření CAM modulů z daných CAD modelů v softwarech Siemens NX7.5 a SolidCAM R10. Pro zvolenou část CAD modelů následuje výroba prototypů. Zvolené CAD modely budou vyrobeny na stroji FC3800 MACH (5ti-osé obráběcí centrum od firmy Sahos).

II. PRAKTICKÁ ČÁST

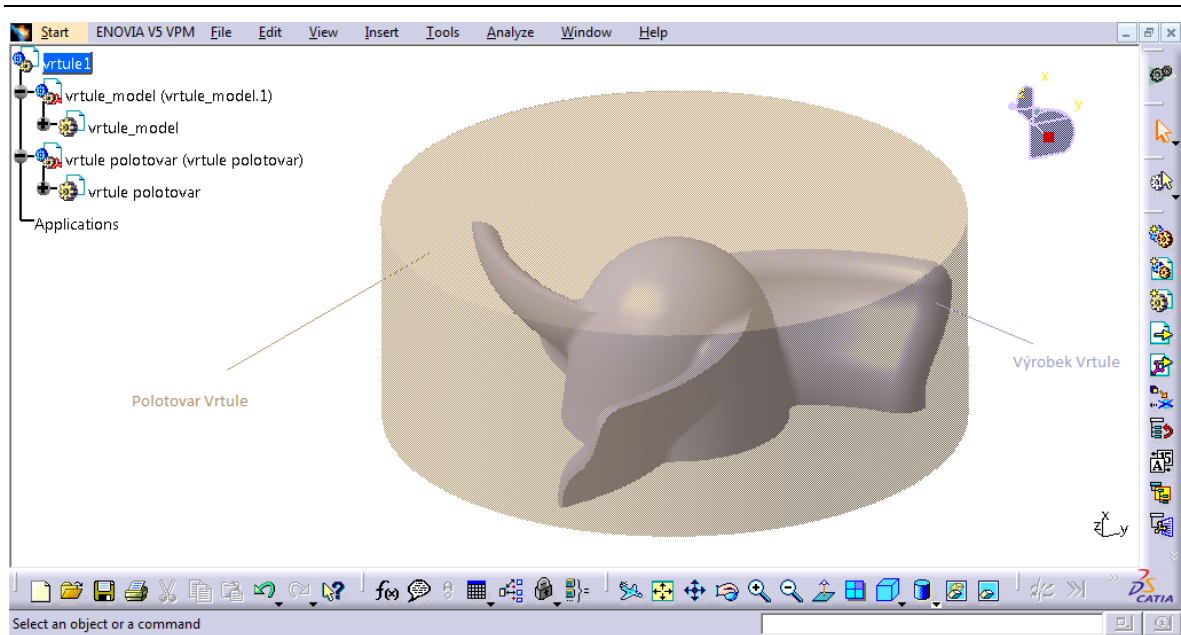
6 Návrh a tvorba CAD modelů součástí

6.1 Tvorba CAD modelu

Tvorba CAD modelů je vytvořena v softwaru Catie V5R18. Část CAD modelů je vytvořena z výkresové dokumentace, která je určena pro výrobu modelových zařízení pro slévárenskou technologii. Druhá část tvorby CAD modelů je vytvořena na základě vymyšlené konstrukce. Obrázek 22 zobrazuje Strom tvorby CAD modelu Vrtule1. K tvorbě CAD modelů určených pro následné vytvoření CAM programů, je v některých případech vytvořen i CAD model polotovaru. Na obrázku 23 je CAD model výrobku a polotovaru. Při tvorbě polotovaru daného výrobku je použito sestavy z důvodu návaznosti tvaru a jejich vazeb. Při tvorbě samotného výrobku bez polotovaru, je užita jen tvorba dílce. U CAD modelů, určených pro slévárenskou technologii je patrná rozměrová odlišnost, než u vymyšlených CAD modelů a to z důvodu technologického smrštění. Výstupem ze software Catie jsou CAD modely ve formátu CATPart, CATProduct dále jsou vygenerovány CAD modely ve formátu (stp) a to z důvodu načtení CAD modelu v software SolidCAM R10.



Obr. 22. Strom tvorby CAD modelu Vrtule1

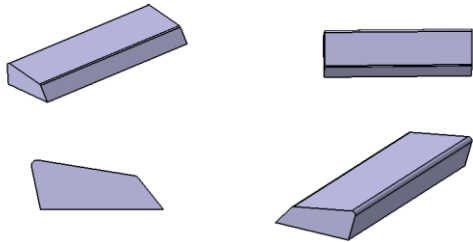
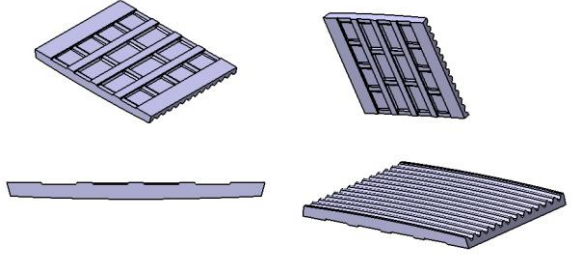
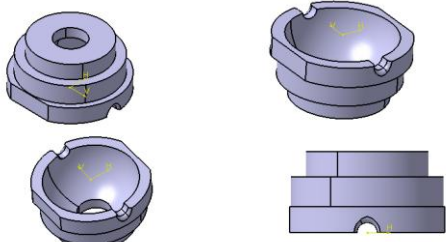
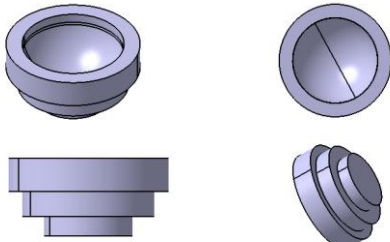


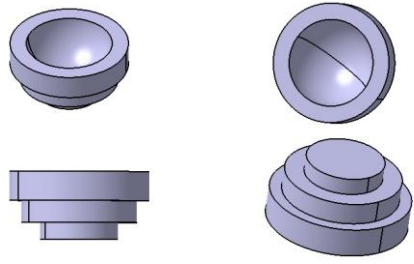
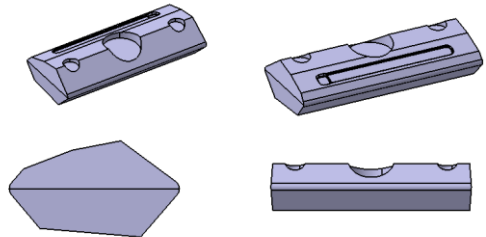
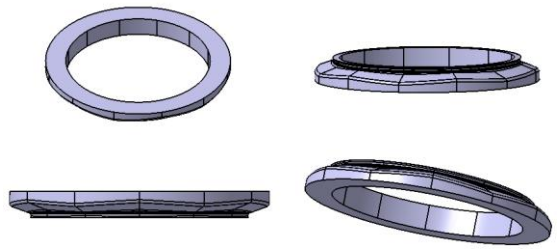
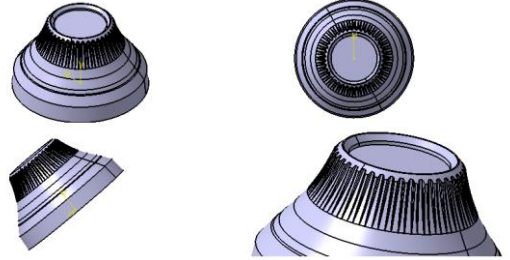
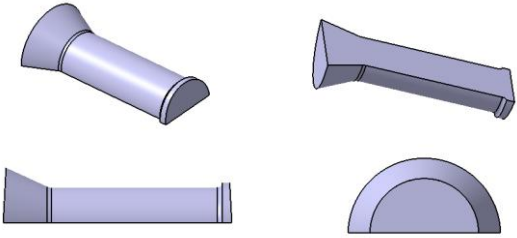
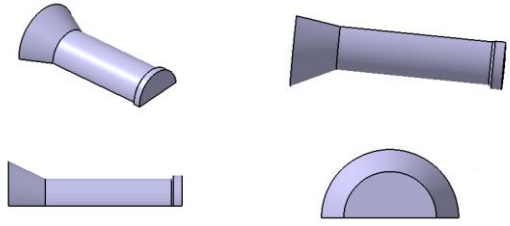
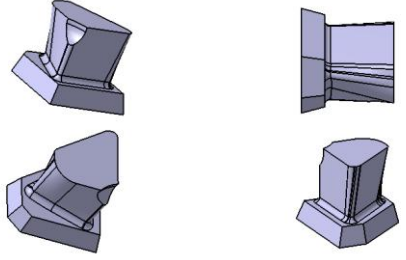
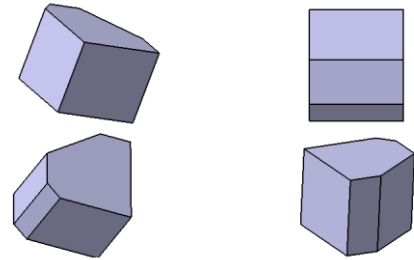
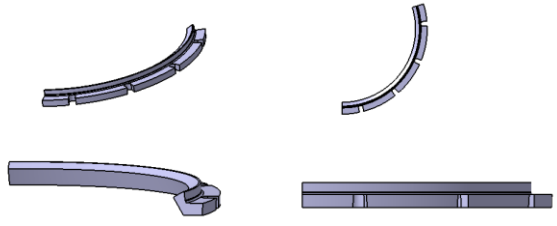
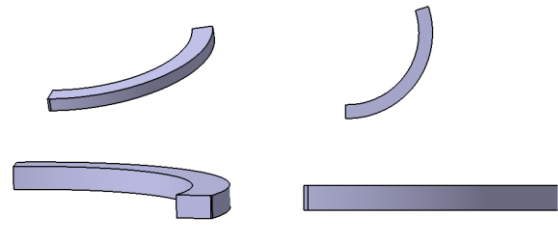
Obr. 23. Sestava CAD modelu výrobku a polotvaru

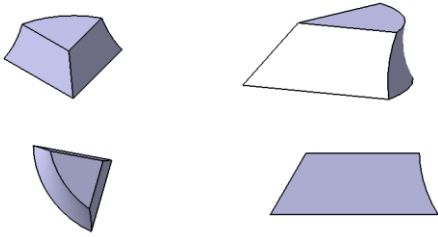
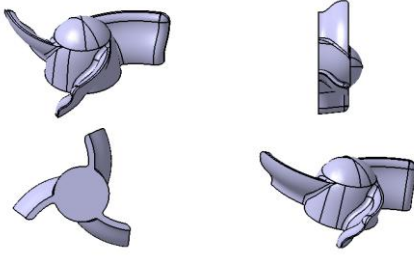
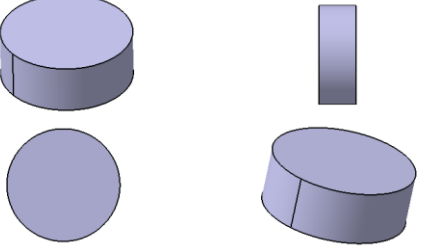
6.2 Seznam vytvořených CAD modelů

Tabulka 10 obsahuje seznam vytvořených CAD modelů vytvořených pro tvorbu CAM modulů. Tyto CAD modely jsou v příloze na DVD ve stromovém adresáři CAD modely.

Tab. 10. Seznam vytvořených CAD modelů

 <p>Čelist pevná</p>	 <p>Čelist pohyblivá</p>
 <p>Jaderník koule</p>	 <p>Jaderník polokoule</p>

 <p>Polotovár jaderník polokoule</p>	 <p>Kladivo1</p>
 <p>Kroužek3</p>	 <p>Kužel1</p>
 <p>Nálevka1</p>	 <p>Polotovár nálevka1</p>
 <p>Podstavec1</p>	 <p>Polotovár podstavec1</p>
 <p>Segment1</p>	 <p>Polotovár segment1</p>

 <p>Segment2</p>	 <p>Vrtule1</p>
 <p>Polotovar Vrtule1</p>	

7 Tvorba programových modulů pro pětiosé frézování v softwarech Siemens NX7.5 a SolidCAM R10

7.1 Rozdělení CAD modelů pro tvorbu CAM modulů

Rozdělení CAD modelů pro tvorbu CAM modulů bylo rozděleno na dvě poloviny. Jedna polovina CAD modelů je zpracována v softwaru Siemens NX7.5 a druhá polovina je zpracována v softwaru SolidCAM R10. Důvod rozdělení je ten, že CAM moduly vytvořené v SolidCAM R10 byly vytvořeny a přímo použity pro výrobu určenou pro slévárenskou technologii. Tedy k softwaru SolidCAM R10 byl užit post-procesor MACH 156, který je určen pro CNC pětiosé obráběcí centrum FC3800 MACH od firmy Sahos. Všechny CAM moduly jsou přiloženy na DVD ve formě příloh, názvy korespondují s vytvořenou tabulkou pro názvy a typy CAD modelů. Z důvodu obsáhlosti, ale také podobnosti tvorby CAM modulů jsou zvoleny dvě tvorby CAM modulu a to stejné jak pro Siemens NX7.5 tak i pro SolidCAM R10. Zvolenými CAD modely pro tvorbu CAM modulů jsou Podstavec1 a Vrtule1. Důvodem proč jsou vybrány stejné CAD modely je pro srovnání tvorby a odlišnosti softwarů, ale také z důvodu návaznosti SolidCAM R10 na post-procesor MACH 156 a tedy možnost výroby dílců. Rozdělení CAD modelů pro tvorbu CAM modulů ve dvou softwarech vyjadřuje tabulka 11.

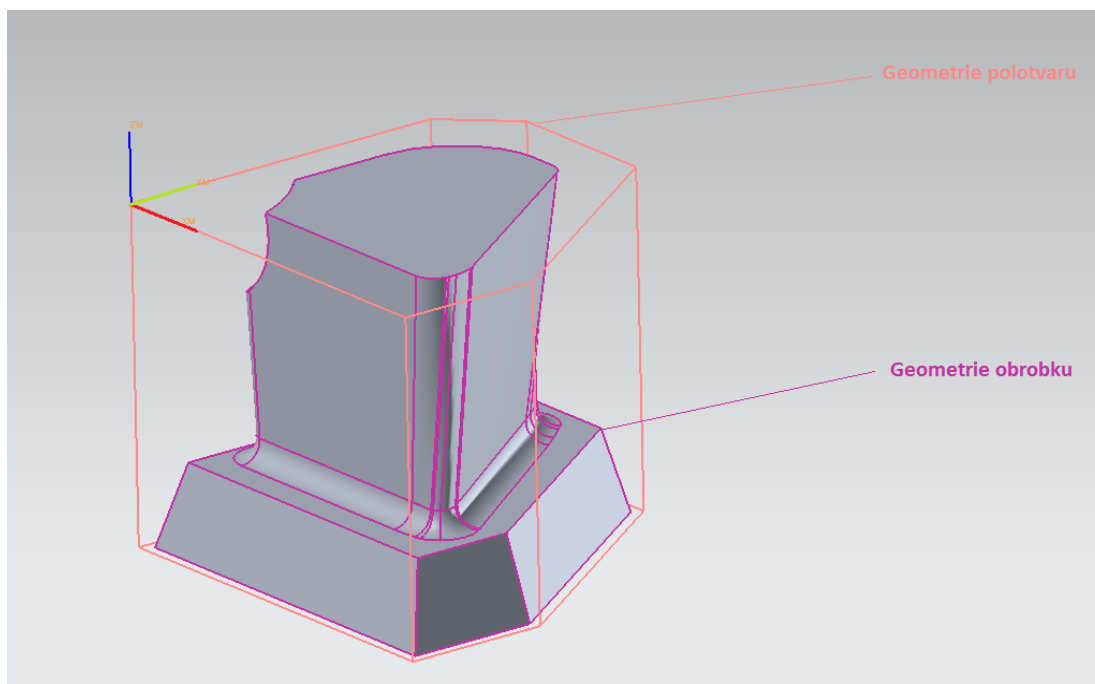
Tab. 11. Rozdělení CAD modelů pro tvorbu CAM modulů v softwarech

Software Siemens NX7.5	Software SolidCAM R10
Název CAD modelu	Název CAD modelu
Čelist pevná	Čelist pohyblivá
Jaderník polokoule	Jaderník koule
Nálevka1	Kladivo1
Segment2	Kužel1
Podstavec1	Podstavec1
Vrtule1	Vrtule1
	Kroužek3
	Segment1

Tvorba CAM modulů je rozdělena do dvou částí, tedy tvorba CAM modulu pro CAD model Podstavec1 a tvorba CAM modulu pro CAD model Vrtule1.

7.2 Tvorba CAM modulu Podstavec1 v softwaru Siemens NX7.5

Tvorba CAM modulu vychází z importovaného CAD modelu. Importovaný model nesmí obsahovat chyby tedy vady v plochách. Pokud se taková vada vyskytne, je potřeba tuto vadu odstranit. Po importu se v softwaru Siemens NX7.5 musí určit nulový bod a geometrie obrobku a polotovaru. Obrázek 24 zobrazuje zvolený nulový bod a zvolený obrobek a polotovar. Dále je potřeba vytvořit nástroje pro frézování, pokud nejsou přímo v daném seznamu. Tabulka 12 obsahuje seznam operací a použitých nástrojů pro CAM modul Podstavec1. Tabulka 13 obsahuje seznam sledu vytvořených operací.



Obr. 24. Pozice nulového bodu a zvolený obrobek a polotovar Podstavec I (Siemens NX7.5)

Tab. 12. Seznam použitých nástrojů (fréz) a operací pro CAM modul podstavec I

Nástroj typ	průměr nástroje (mm)	délka nástroje (mm)	poloměr zaoblení (mm)	délka břitů
fréza válcová	20	200	0	50

Název Operace	Typ operace	rychlost posuvu (mm/min)	přídavek (mm)
HRUBOVANI_TVAREU	Cavity Milling	8000	2
NACISTO_ZAROVNANI	Fixed-axis Surface Contouring	8000	0
NACISTO_SPODNI_BOK1	Variable-axis Surface Contouring	3000	0
NACISTO_SPODNI_BOK6	Variable-axis Surface Contouring	3000	0
NACISTO_SPODNI_BOK5	Variable-axis Surface Contouring	3000	0
NACISTO_SPODNI_BOK4	Variable-axis Surface Contouring	3000	0
NACISTO_SPODNI_BOK3	Variable-axis Surface Contouring	3000	0
NACISTO_SPODNI_BOK2	Variable-axis Surface Contouring	3000	0

Nástroj typ	průměr nástroje (mm)	délka nástroje (mm)	poloměr zaoblení	délka břitů
fréza kulová	20	120	10	50

Název Operace	Typ operace	rychlost posuvu (mm/min)	přídavek (mm)
HRUBOVANI_TVARI	Variable-axis Surface Contouring	8000	2
NACISTO_TVARI	Variable-axis Surface Contouring	8000	0
NACISTO_TVARI2	Variable-axis Surface Contouring	8000	0
NACISTO_TVARI3	Variable-axis Surface Contouring	8000	0

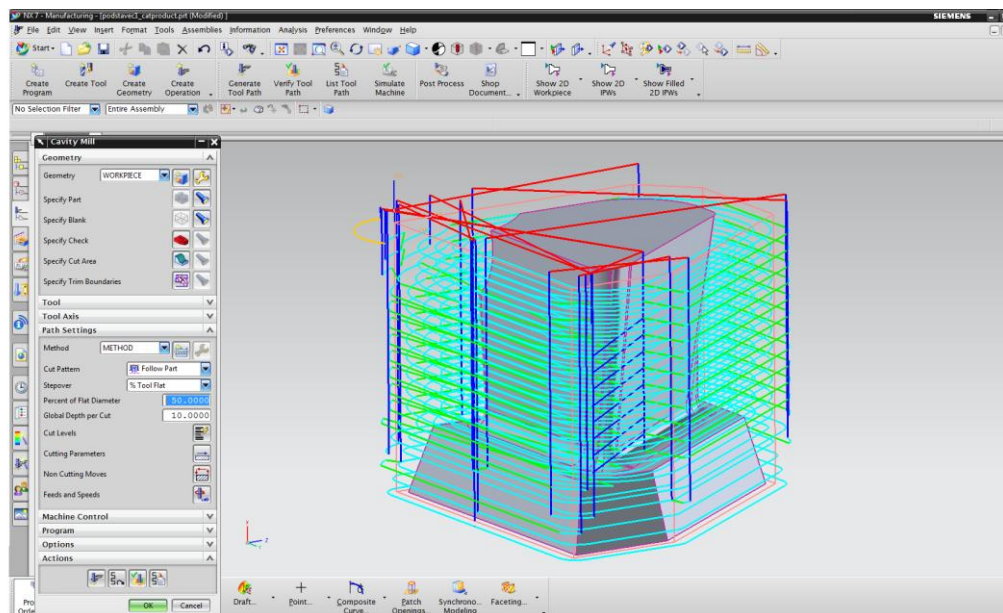
Tab. 13. Seznam sledu operací pro CAM modul Podstavec1

č. operace	Název operace
1	Hrubování tvaru
2	Načisto zarovnání
3	Hrubování tvar1
4	Načisto tvar1
5	Načisto bok1
6	Načisto bok2
7	Načisto bok3
8	Načisto bok4
9	Načisto bok5
10	Načisto bok6
11	Načisto tvar2
12	Načisto tvar3

7.2.1 Tvorba operace hrubování

Pro hrubování tvaru bylo zvoleno Cavity Mill. Na obrázku 25 je zobrazen obrobek s dráhami vygenerovanými pro hrubování, dále tabulka se zadanými hodnotami. Tedy především procento překrytí nástroje a dále hloubku mezi jednotlivými řezy. Dále bylo zvolena velikost přídavku a to ve složce Cutting parameters, jehož velikost byla 2 mm. Dalšími zvolenými hodnotami byly otáčky vřetene a posuv. Hodnoty posuvu byly zvoleny na 8000 mm/min a hodnota zvolená pro otáčky vřetene byla určena na 8000 ot/min. Tyto

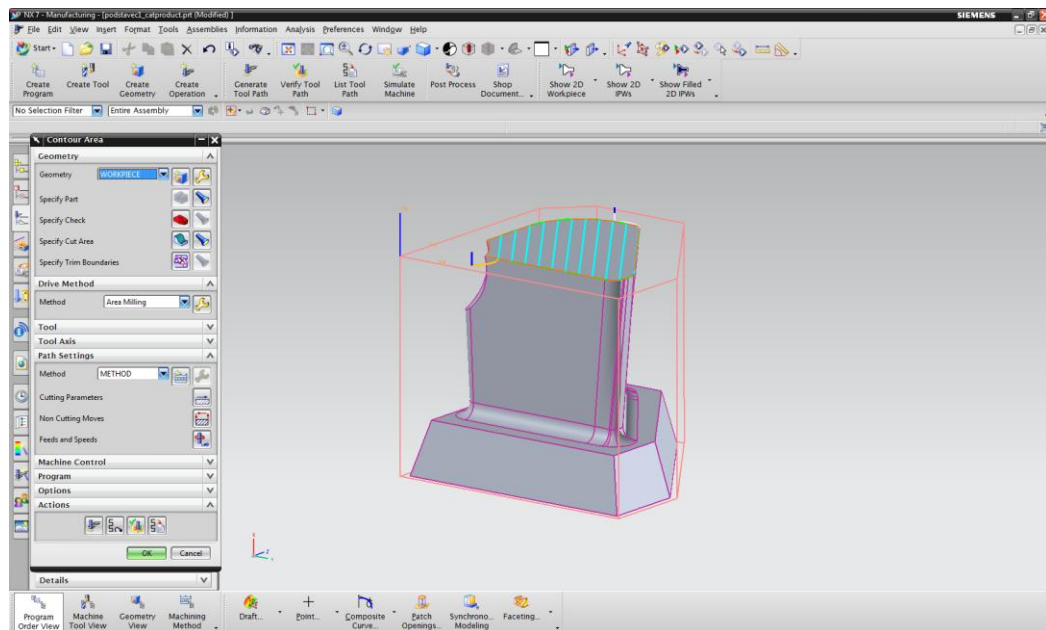
hodnoty byly zadány v záložce Feeds and Speeds. Na obrázku 25 zobrazující zelenou barvou jsou řezné dráhy, červenou barvou jsou zobrazeny rychloposuvy a modře je zobrazen přísun nástroje do řezné hladiny.



Obr. 25. Operace hrubování tvaru Podsatvec1 (Siemens NX7.5)

7.2.2 Tvorba operace načisto zarovnání

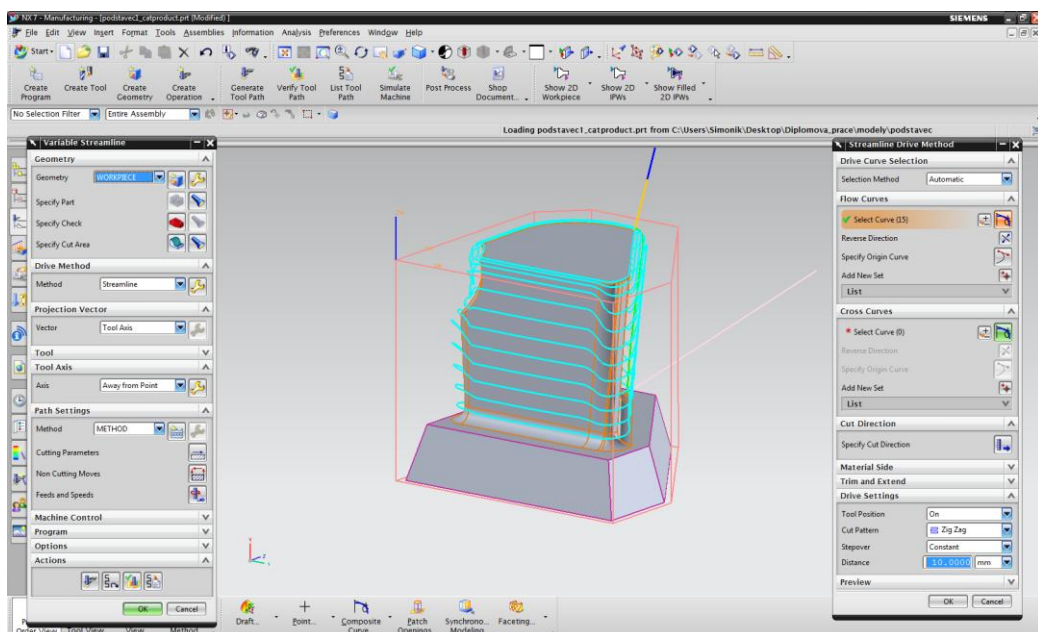
Pro tvorbu drah zarovnání načisto bylo užito Contour Area. Zvolený posuv je 8000 mm/min a zvolené otáčky 8000 ot/min. Přídavek na plochu je 0 mm, jelikož se jedná o dokončovací operaci. Obrázek 26 zobrazuje vygenerované dráhy a zvolený způsob obrábění. Pro orientaci modrozelené čáry zobrazují řez nástroje, zelené čáry pohyb mezi jednotlivými řezy nástroje. Modrá čára je příjezd a odjezd z řezné hladiny, oranžová je pohyb k prvnímu řezu a růžová pohyb z posledního řezu.



Obr. 26. Operace načisto zarovnění Podstavec1 (Siemens NX7.5)

7.2.3 Tvorba operace hrubování tvar1

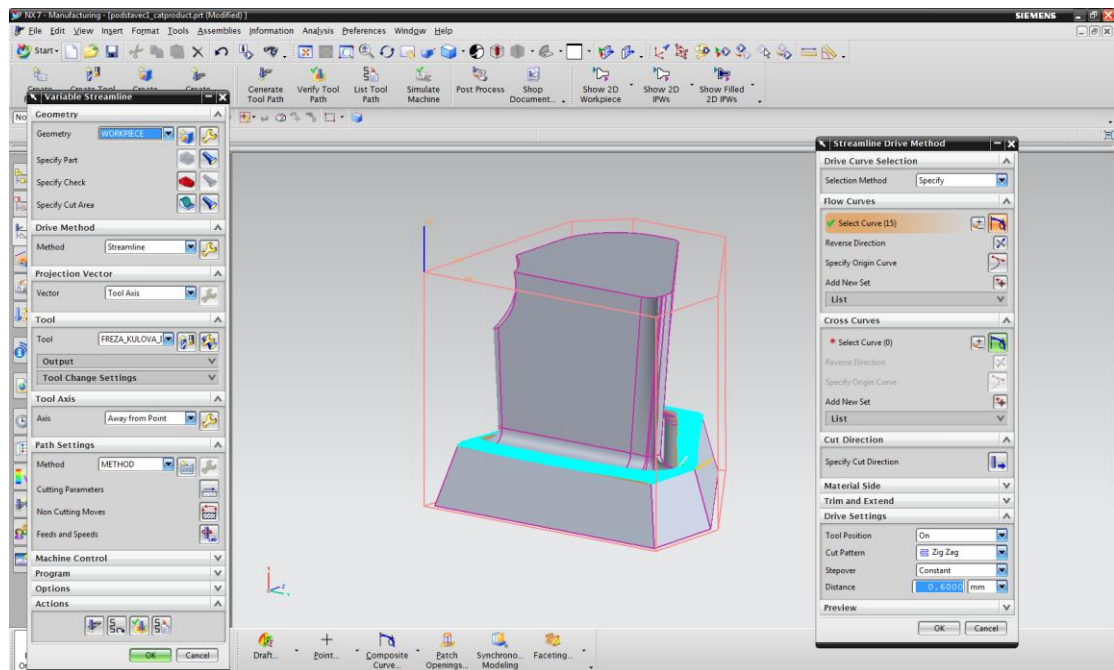
Pro vytvoření řezných drah určených k hrubování tvaru1 bylo použito Variable Streamline. Na obrázku 27 jsou zobrazeny řezné dráhy vygenerované pro hrubování. Pro hrubování bylo použito řízení směrem k bodu (Away from Point). Toto řízení je určeno pro řízení 5 os. Směrem k bodu se potom naklání hlava vřetene. Dalšími parametry zvolenými je krok mezi jednotlivými řezy zvolený na 10 mm. Otáčky vřetene jsou zvoleny na 8000 ot/min a posuv na 8000 mm/min. Příklad na plochu je zvolen na 2 mm.



Obr. 27. Operace hrubování tvar1 Podstavec1 (Siemens NX7.5)

7.2.4 Tvorba operace načisto tvar1

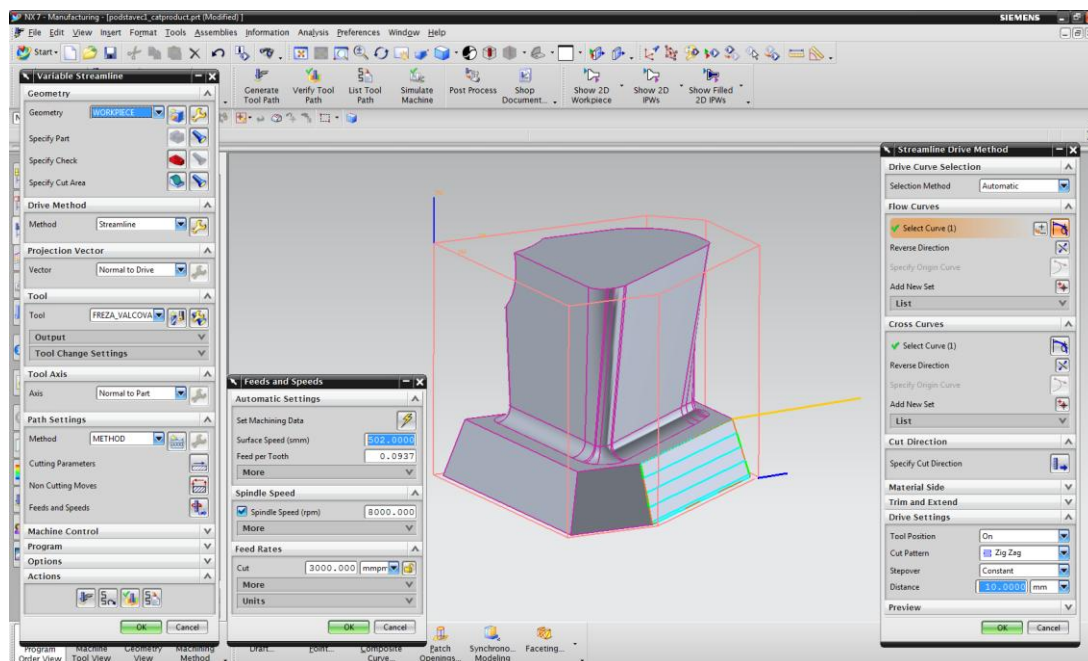
Pro tvorbu operace načisto tvar1 bylo užito Variable Streamline jako v předchozí operaci. Rozdíl je ve zvoleném výběru obrábění viz obrázky 28 a dále ve zvoleném přídávku a zvolené kroku mezi řezy. Zvolený přídavek je 0 mm, zvolený krok mezi řezy je 0,6 mm. Zvolený posuv a otáčky jsou stejné jako v předchozí operaci, totožný je i způsob řízení, tedy směrem k bodu. Na obrázku 28 je zobrazena operace načisto tvar1 a její vygenerované řezné dráhy.



Obr. 28. Operace načisto tvar1 Podstavec1 (Siemens NX7.5)

7.2.5 Tvorba operace načisto bok1

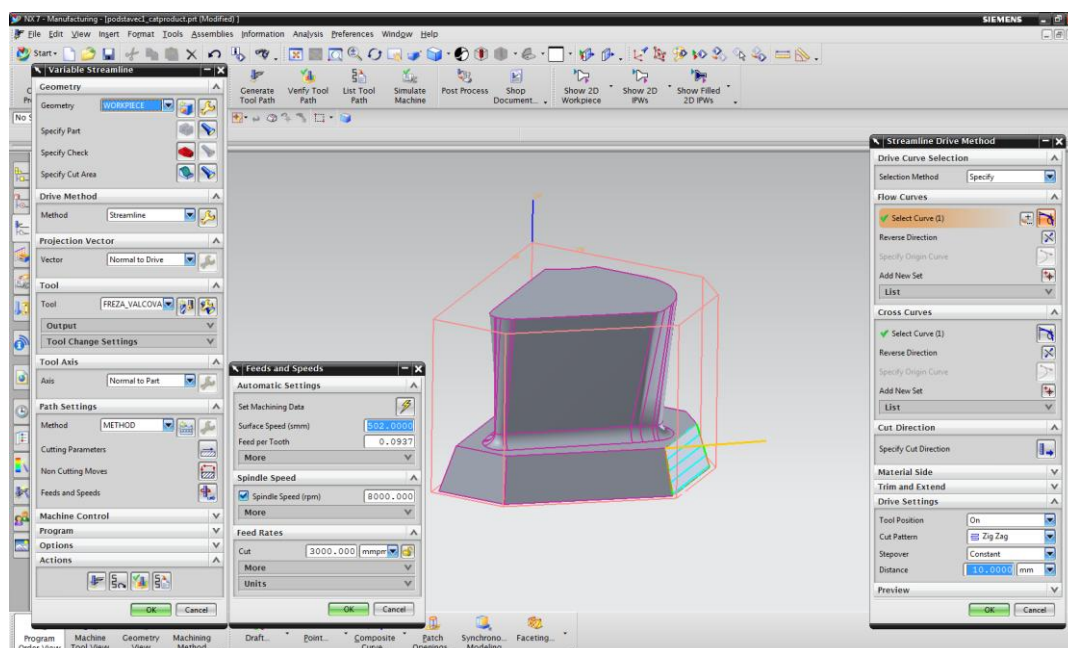
Pro tvorbu operace načisto bok1 je použito stejně jako v předchozí operaci Variable Streamline. U této operace je řízení nástroje vůči obráběné ploše řízené kolmo k tvaru. Zvolený posuv je 3000 mm/min a zvolené otáčky jsou 8000 ot/min. Přídavek na plochu je 0 mm. Krok mezi jednotlivými řezy je 10 mm. Na obrázku 29 jsou zobrazeny vygenerované řezné dráhy a tabulky.



Obr. 29. Operace načisto bok1 Podstavec1 (Siemens NX7.5)

7.2.6 Tvorba operace načisto bok2

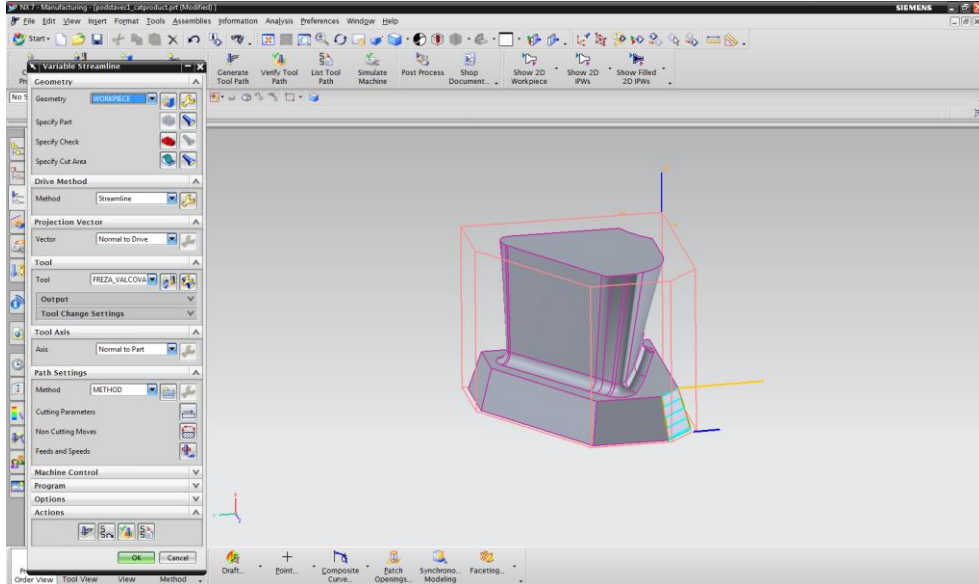
Pro tvorbu operace načisto bok2 je použito úplně stejného nastavení jako v předchozí operaci, jen s rozdílem vybrané plochy, pro kterou jsou vygenerované řezné dráhy. Obrázek 30 zobrazuje vygenerované řezné dráhy pro tuto operaci.



Obr. 30. Operace načisto bok2 Podstavec1 (Siemens NX7.5)

7.2.7 Tvorba operace načisto bok3

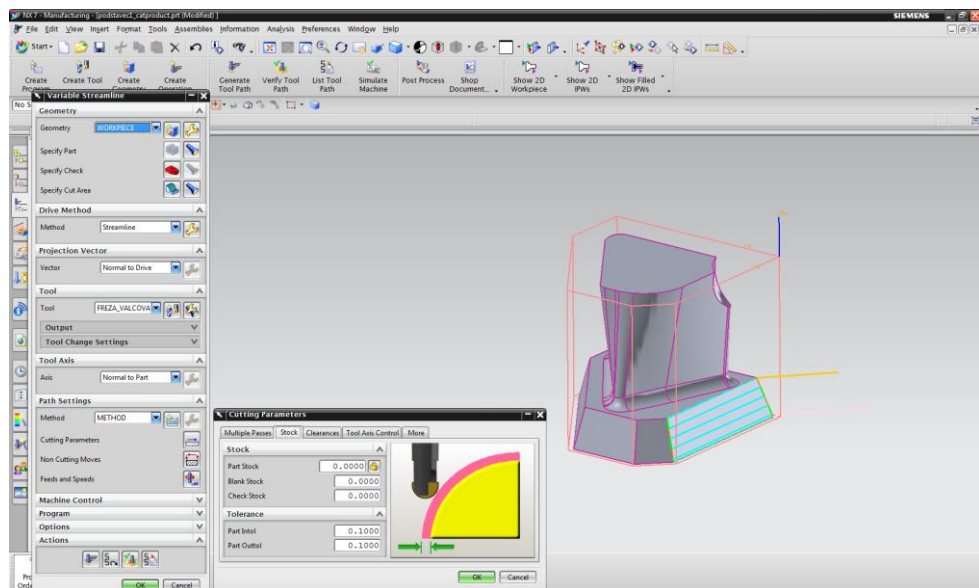
Pro tvorbu operace načisto bok3 je použito stejného nastavení jako v předchozích operacích, jen s rozdílem zvolené plochy, pro kterou jsou vygenerované řezné dráhy. Obrázek 31 zobrazuje vygenerované řezné dráhy pro tuto operaci.



Obr. 31. Operace načisto bok3 Podstavec1 (Siemens NX7.5)

7.2.8 Tvorba operace načisto bok4

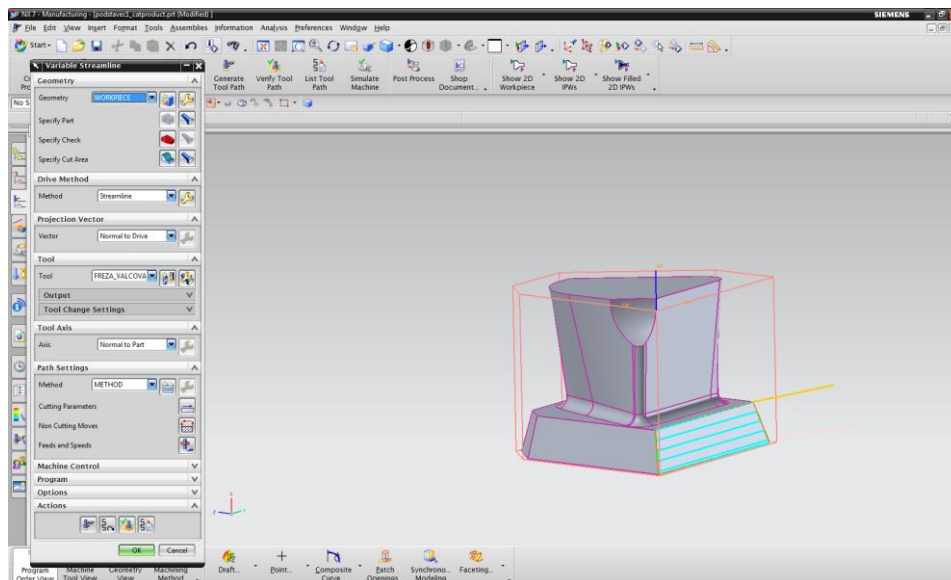
Pro tvorbu operace načisto bok4 je použito stejného nastavení jako v předchozí operaci, jen s rozdílem vybrané plochy, pro kterou jsou vygenerované řezné dráhy. Obrázek 32 zobrazuje vygenerované řezné dráhy pro tuto operaci.



Obr. 32. Operace načisto bok4 Podstavec1 (Siemens NX7.5)

7.2.9 Tvorba operace načisto bok5

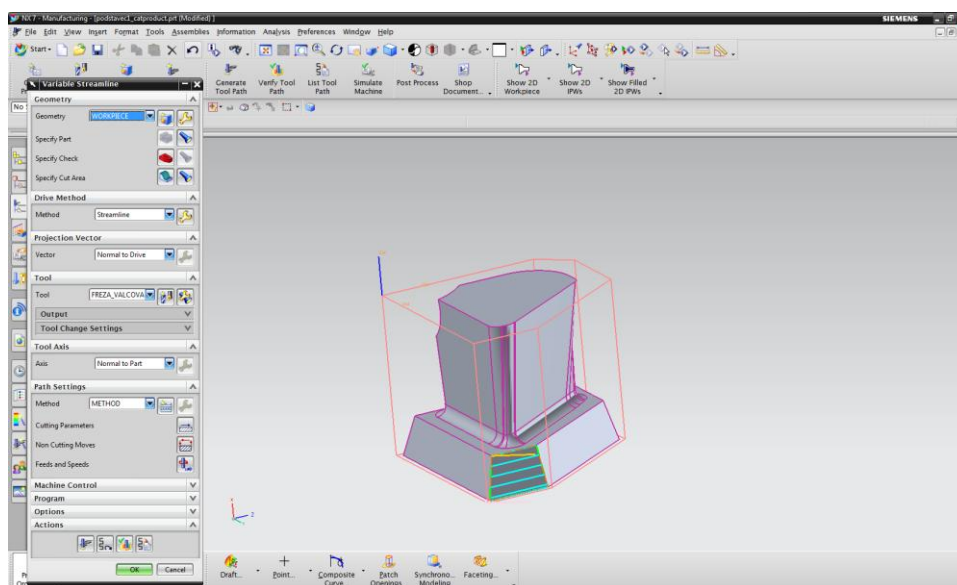
Pro tvorbu operace načisto bok5, je použito stejného nastavení jako v předchozích operacích, jen s rozdílem definované plochy, pro kterou jsou vygenerované řezné dráhy. Obrázek 33 zobrazuje vygenerované řezné dráhy pro tuto operaci.



Obr. 33. Operace načisto bok5 Podstavec1 (Siemens NX7.5)

7.2.10 Tvorba operace načisto bok6

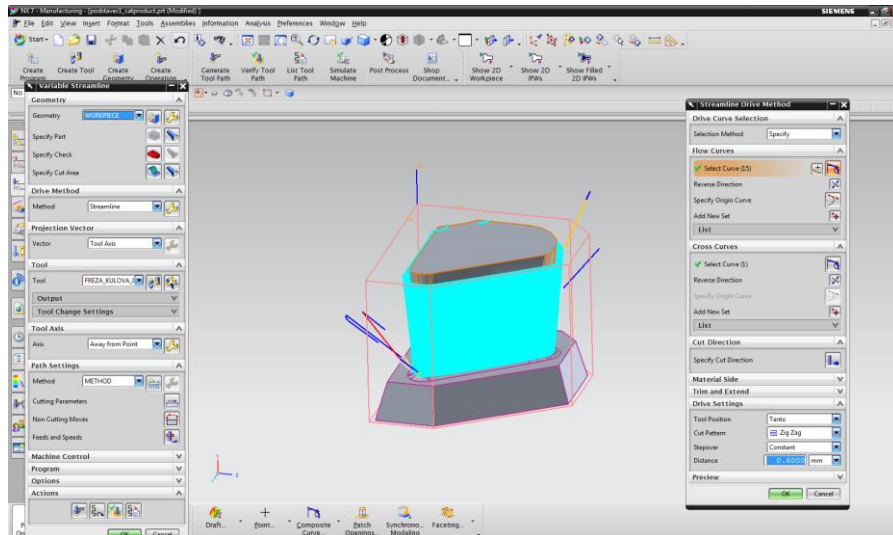
Pro tvorbu operace načisto bok6 je použito stejného nastavení jako v předchozí operaci, jen s rozdílem vybrané plochy, pro kterou jsou vygenerované řezné dráhy. Obrázek 34 zobrazuje vygenerované řezné dráhy pro tuto operaci.



Obr. 34. Operace načisto bok6 Podstavec1 (Siemens NX7.5)

7.2.11 Tvorba operace načisto tvar2

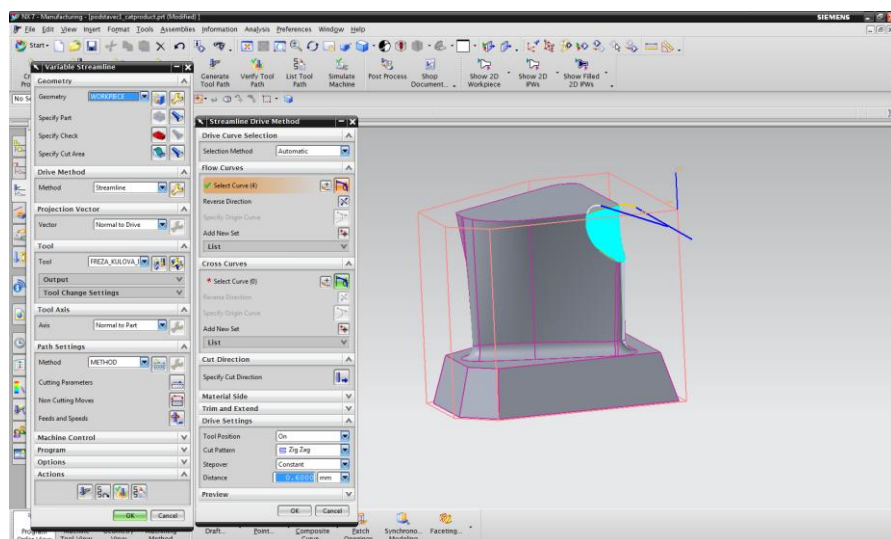
Při tvorbě této operace je zvoleno řízení směrem k bodu jako u operace hrubování tvar1. Dále je užitá metoda Variable Streamline, kde je zvoleno krok mezi jednotlivými řezy 0,6 mm. Otáčky vřetene jsou zvoleny na 8000 ot/min a posuv 8000 mm/min. Na obrázku 35 jsou vyobrazeny vygenerované řezné dráhy pro operaci načisto tvar2.



Obr. 35. Operace načisto tvar2 Podstavec1 (Siemens NX7.5)

7.2.12 Tvorba operace načisto tvar3

Pro tuto operaci je zvoleno řízení směrem kolmo k tvaru. Metoda obrábění je zvolena Variable Streamline. Dále jsou zvoleny otáčky vřetene a to 8000 ot/min, posuv 8000 mm/min a krok mezi řezy 0,6 mm. Na obrázku 36 je zobrazena tato operace v četně vygenerovaných řezných drah.



Obr. 36. Operace načisto tvar3 Podstavec1 (Siemens NX7.5)

7.2.13 Strojní časy pro vytvořené operace vypočtené v softwaru Siemens NX7.5

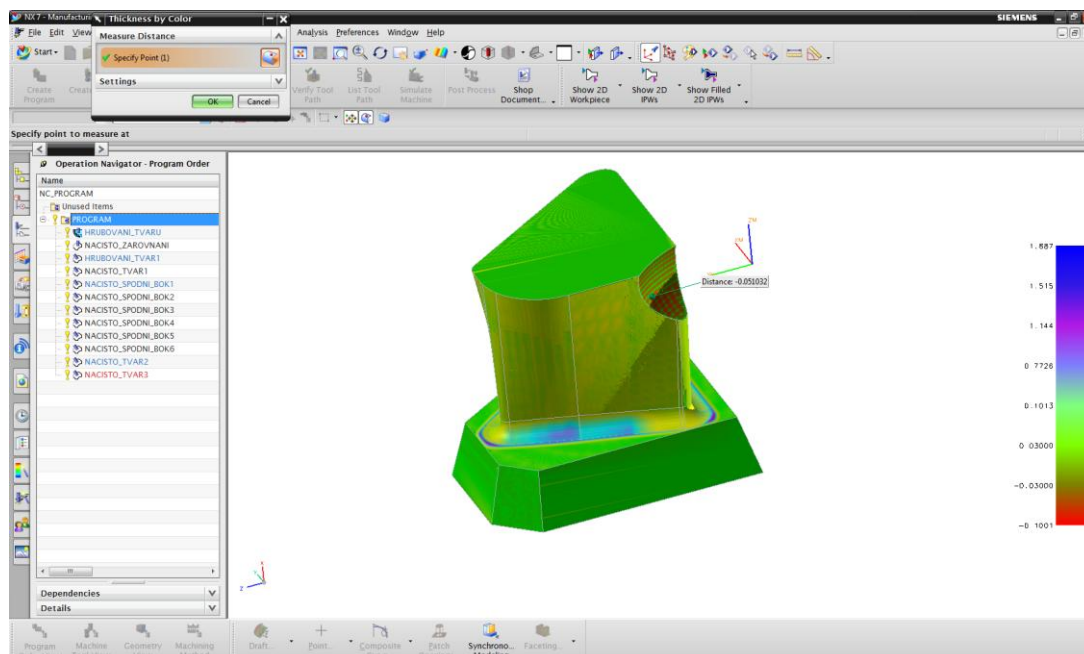
Časy vypočtené k jednotlivým operacím úzce souvisí se zvoleným posuvem a krokem mezi jednotlivými řezy. Tyto časy jsou v rámci softwarů jen jakousi orientační hodnotou. Časy v reálném obrábění bývají o něco delší a to z důvodu kinematiky pohybu. Při obrábění má stroj nadefinováno zpomalení v rámci dráhy zaoblení, dále jsou zde brány nucené zpomalení mezi rychloposuvem a posuvem. Obrázek 37 zobrazuje časy k jednotlivým operacím vypočtené v softwaru Siemens NX7.5.

Name	Toolchange	Path	Tool	Tool Number	Time
NC_PROGRAM					00:24:26
Unused Items					
PROGRAM					00:24:26
HRUBOVANI_TVARU		✓	FREZA_VALC...		00:05:26
NACISTO_ZAROVNANI		✓	FREZA_VALC...		00:00:11
HRUBOVANI_TVARI		✓	FREZA_KULOV...		00:00:47
NACISTO_TVARI		✓	FREZA_KULOV...		00:03:54
NACISTO_SPODNI_BOK1		✓	FREZA_VALC...		00:00:20
NACISTO_SPODNI_BOK2		✓	FREZA_VALC...		00:00:11
NACISTO_SPODNI_BOK3		✓	FREZA_VALC...		00:00:07
NACISTO_SPODNI_BOK4		✓	FREZA_VALC...		00:00:22
NACISTO_SPODNI_BOK5		✓	FREZA_VALC...		00:00:25
NACISTO_SPODNI_BOK6		✓	FREZA_VALC...		00:00:11
NACISTO_TVARI2		✓	FREZA_KULOV...		00:11:44
NACISTO_TVARI3		✓	FREZA_KULOV...		00:00:43

Obr. 37. Strojní časy vytvořených operací CAM modulu Podstavec1(Siemens NX7.5)

7.2.14 Verifikace obrobku po odsimulování všech operací

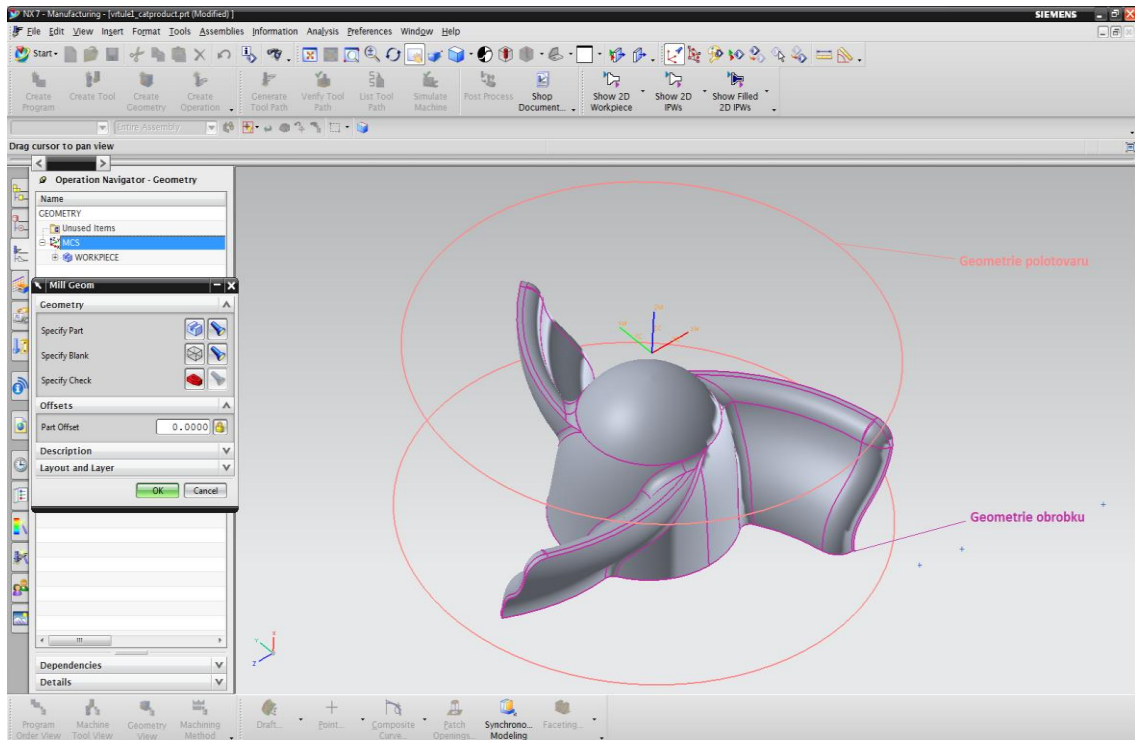
Při simulaci dochází ke kontrole mezi nástrojem a obrobkem. Pro správně vytvořený CAM modul musí simulace obsahovat minimální hodnoty přídavek, jak kladné, tak záporné hodnoty. Vše ale ovlivňuje zvolný krok mezi řezy a tolerance řetězců. Pro CAM moduly je zvolena tolerance 0,1 mm. Na obrázku 38 je zobrazena verifikace obrobku po odsimulování všech vytvořených operací.



Obr. 38. Verifikace obrobku po simulaci všech vytvořených operací CAM modulu Podsatvec1 (Siemens NX7.5)

7.3 Tvorba CAM modulu Vrtule1 v softwaru Siemens NX7.5

Stejně jako v kapitole 7.2 se nejprve importuje CAD model. V tomto případě CAD model Vrtule1. Dále se určí poloha nulového bodu geometrie obrobku, polotovaru a vytvoří se nástroje, které budou použity pro tvorbu jednotlivých operací. Tabulka 14 zobrazuje seznam nástrojů a k nástrojům jednotlivé operace. Tabulka 15 zobrazuje sled jednotlivých vytvořených operací. Obrázek 39 zobrazuje polohu nulového bodu pro CAM modul a zvolené geometrie obrobku a polotovaru.



Obr. 39. Poloha nulového bodu a vybrané geometrie CAM modulu Vrtule1 (Siemens NX7.5)

Tab. 14. Seznam použitých nástrojů (fréz) a operací pro CAM modul Vrtule1

Nástroj typ	průměr nástroje (mm)	délka nástroje (mm)	poloměr zaoblení (mm)	délka břitů
fréza válcová	20	200	0	50

Název Operace	Typ operace	rychlost posuvu (mm/min)	přídavek (mm)
HRUBOVANI_TVARU	Cavity Milling	8000	2

Nástroj typ	průměr nástroje (mm)	délka nástroje (mm)	poloměr zaoblení (mm)	délka břitů
fréza kulová	12	120	6	60

Název Operace	Typ operace	rychlost posuvu (mm/min)	přídavek (mm)
HRUBOVANI_ZADNI_CASTI_LOPATKY	Variable-axis Surface Contouring	8000	2

NACISTO_HORNI_CAST_NABOJE	Variable-axis Surface Contouring	8000	0
NACISTO_SPODNI_CAST_LOPATKY	Variable-axis Surface Contouring	8000	0
NACISTO_CAST_NABOJE	Variable-axis Surface Contouring	8000	0
NACISTO_PREDNI_CAST_LOPATKY	Fixed-axis Surface Contouring	8000	0
HRUBOVANI_ZADNI_CASTI_LOPATKY1	Variable-axis Surface Contouring	8000	2
HRUBOVANI_ZADNI_CASTI_LOPATKY2	Variable-axis Surface Contouring	8000	2
NACISTO_SPODNI_CAST_LOPATKY1	Variable-axis Surface Contouring	8000	0
NACISTO_SPODNI_CAST_LOPATKY2	Variable-axis Surface Contouring	8000	0
NACISTO_PREDNI_CAST_LOPATKY1	Fixed-axis Surface Contouring	8000	0
NACISTO_PREDNI_CAST_LOPATKY2	Fixed-axis Surface Contouring	8000	0
NACISTO_CAST_NABOJE1	Variable-axis Surface Contouring	8000	0
NACISTO_CAST_NABOJE2	Variable-axis Surface Contouring	8000	0

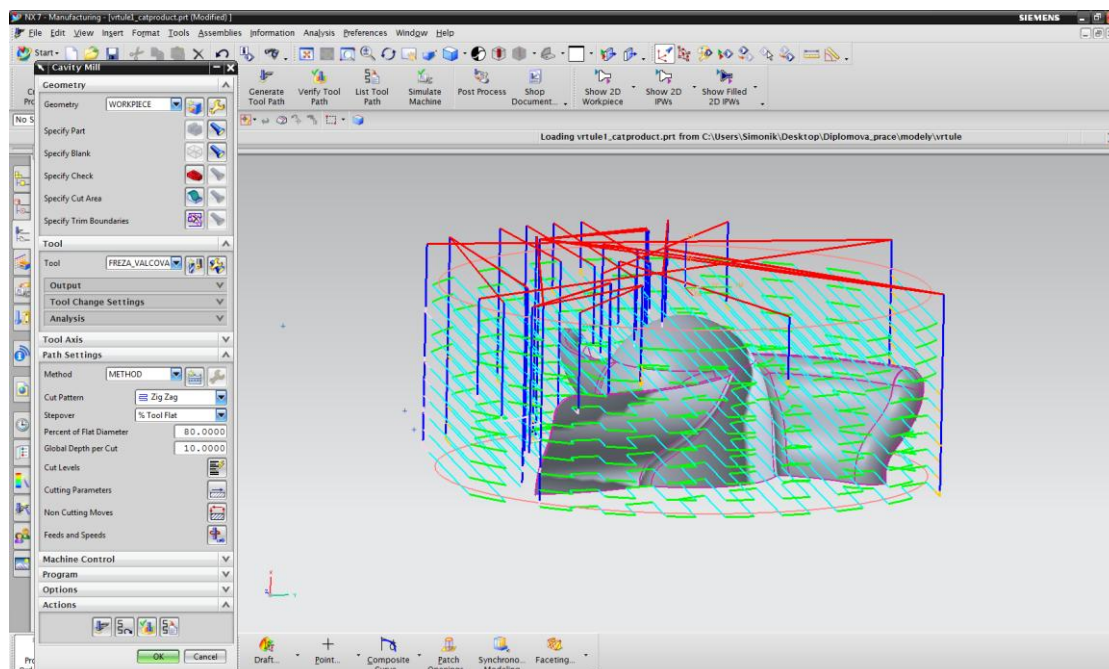
Tab. 15. Seznam sledu operací pro CAM modul Vrtule1

Název operace
Hrubování tvaru
Hrubování zadní části lopatky
Hrubování zadní části lopatky1
Hrubování zadní části lopatky2
Načisto horní část náboje

Načisto zadní část lopatky
Načisto zadní část lopatky1
Načisto zadní část lopatky2
Načisto přední část lopatky
Načisto přední část lopatky1
Načisto přední část lopatky2
Načisto část náboje
Načisto část náboje1
Načisto část náboje2

7.3.1 Tvorba operace hrubování tvaru

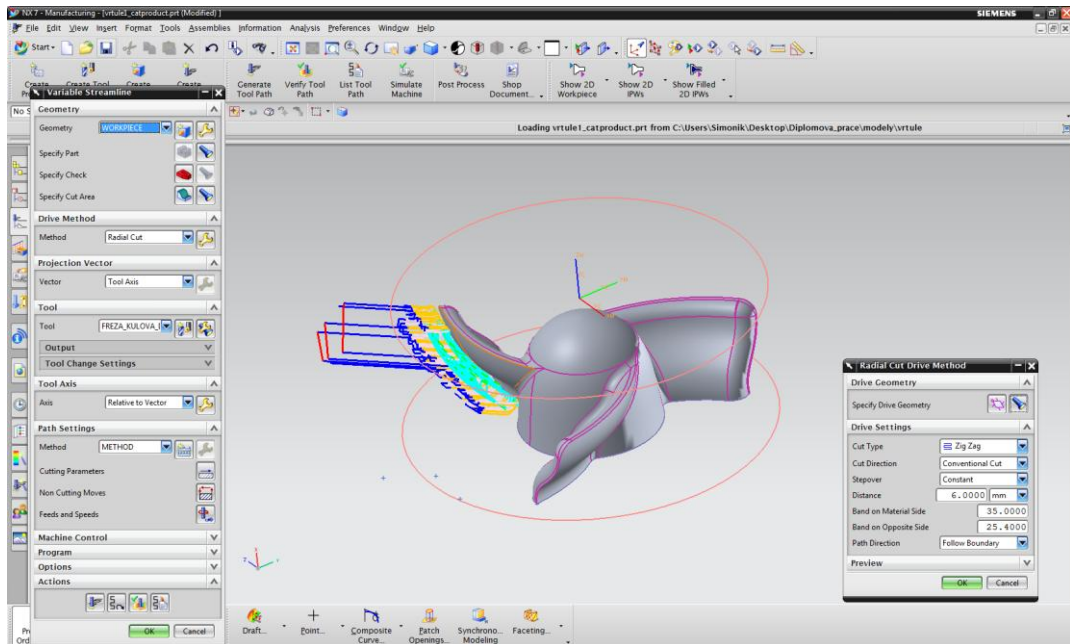
Tvorba operace hrubování tvaru je vytvořena použitím metody Cavity Mill. Zvolené parametry operace, překrytí nástroje 80 procent, hloubka řezu je 10 mm. Zvolené otáčky včetně jsou 8000 ot/min, zvolený posuv je 8000 mm/min a zvolený přírůstek je 2 mm. Na obrázku 40 jsou zobrazeny vygenerované řezné dráhy.



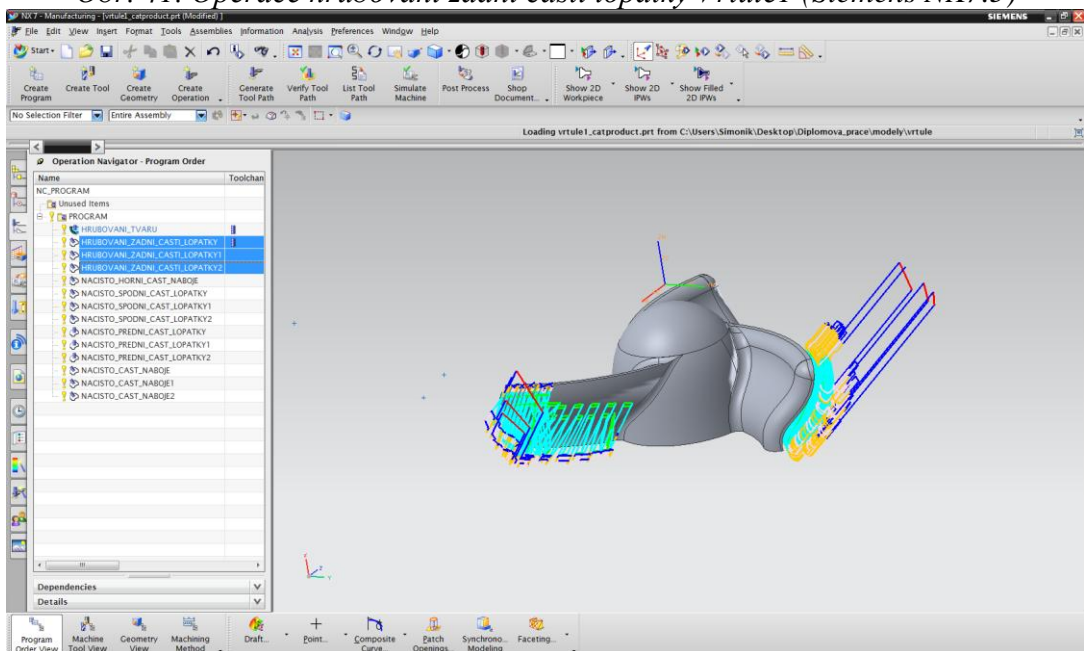
Obr. 40. Operace hrubování tvaru Vrtule1 (Siemens NX7.5)

7.3.2 Tvorba operace hrubování zadní části lopatky

Pro tuto operaci je zvolena metoda Radial Cut. Pro řízení osy nástroje frézy je zvolen vytvořený vektor. Zvolené otáčky vřetene jsou 9000 ot/min, zvolený posuv je 8000 mm/min, zvolený přídavek 2 mm. Na obrázku 41 je zobrazena operace s vygenerovanými řeznými drahami. Z důvodu možnosti použití rotace operace a tedy zjednodušení tvorby operace, bylo využito transformace vytvořené operace. Na obrázku 42 jsou zobrazeny vygenerované řezné dráhy pro operace zadní část lopatky 1 a 2 vytvořené transformací.



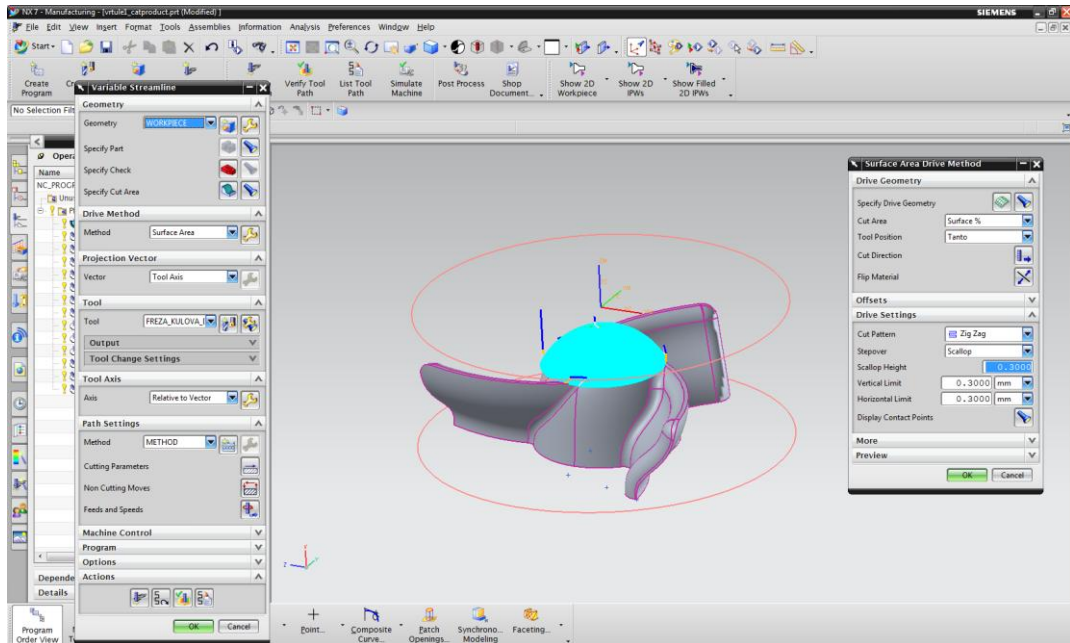
Obr. 41. Operace hrubování zadní části lopatky Vrtule1 (Siemens NX7.5)



Obr. 42. Operace hrubování zadní části lopatky 1 a 2 Vrtule1 (Siemens NX7.5)

7.3.3 Tvorba operace načisto horní část náboje

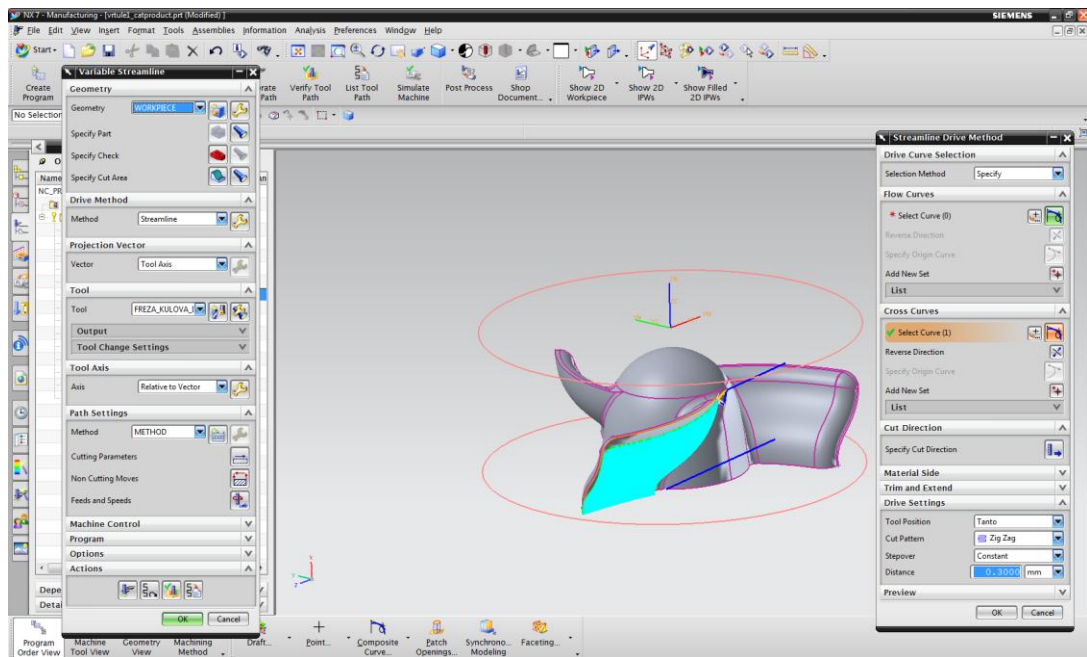
Operace je vytvořena metodou Surface Area. Nástroj je řízen dle vytvořeného vektoru. Zvolené otáčky vřetene jsou 9000 ot/min a posuv 8000 mm/min. Další hodnotou je krok mezi řezy a jeho hodnota je 0,3 mm. Na obrázku 43 jsou zobrazeny vygenerované řezné dráhy dané operace.



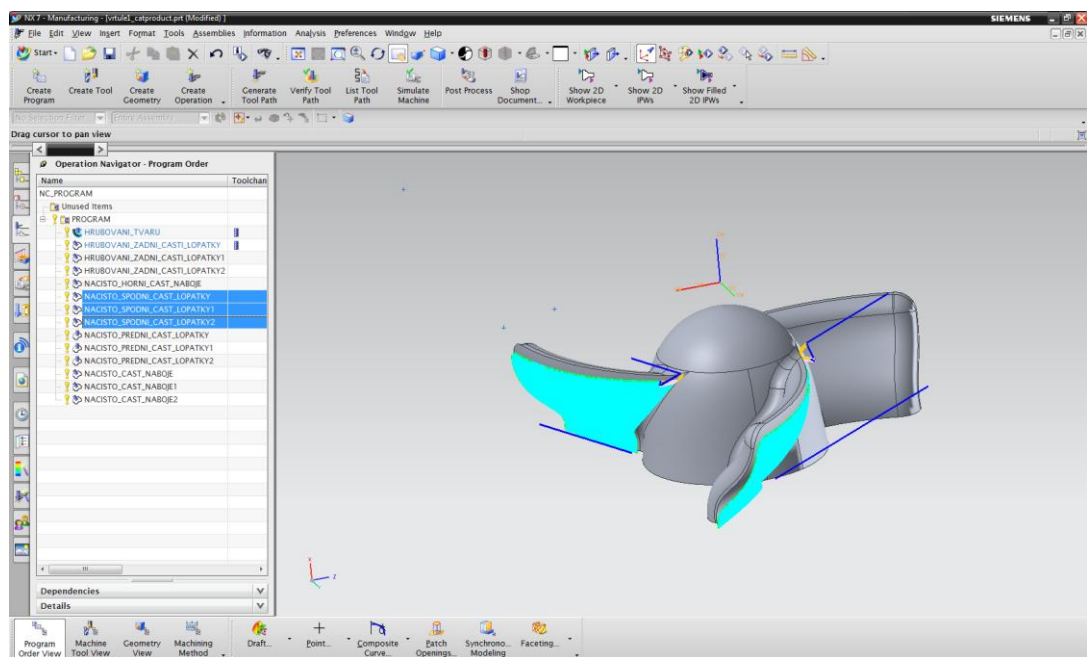
Obr. 43. Operace načisto horní část náboje Vrtule1 (Siemens NX7.5)

7.3.4 Tvorba operace načisto zadní část lopatky

Operace je vytvořena pomocí metody Variable Streamline. Zvolené otáčky vřetene jsou 9000 ot/min, zvolený posuv 8000 mm/min a zvolený krok mezi jednotlivými řezy je 0,3 mm. Řízení nástroje pomocí vytvořeného vektoru. Na obrázku 44 jsou vygenerovány řezné dráhy vytvořené operace. Jak už bylo zmíněno v kapitole 7.3.2, jde tvorba operace načisto zadních částí lopatek 1 a 2 zjednodušit a to transformací pomocí rotace. Na obrázku 45 jsou vygenerované řezné dráhy operací vytvořených transformací pomocí rotace.



Obr. 44. Operace načisto zadní část lopatky Vrtule1 (Siemens NX7.5)

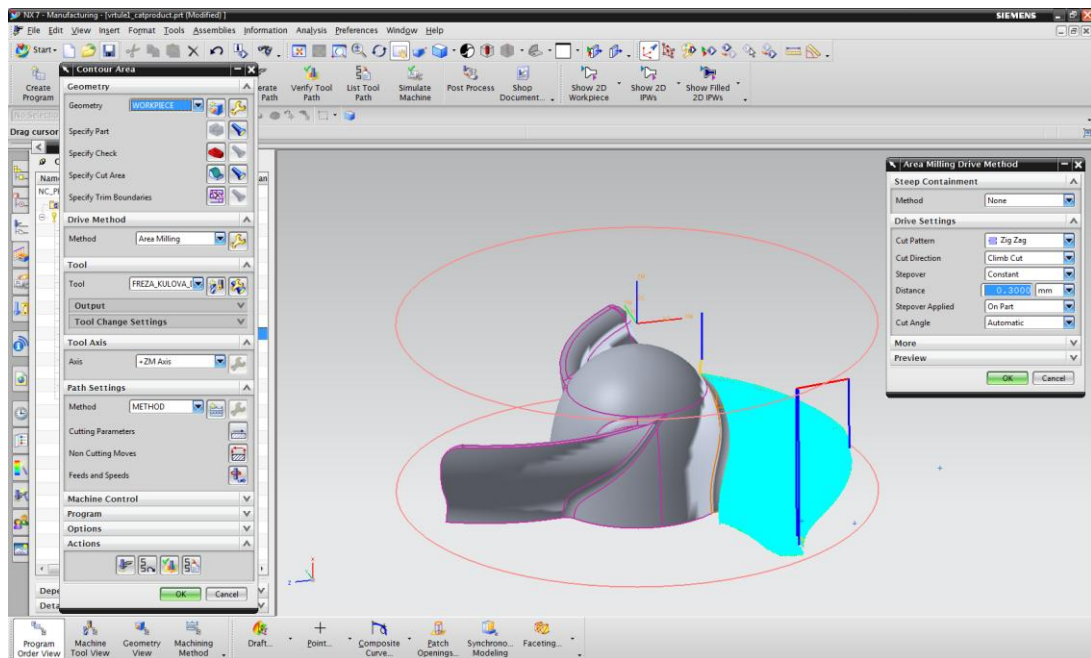


Obr. 45. Operace načisto zadní část lopatky1 a 2 Vrtule1 (Siemens NX7.5)

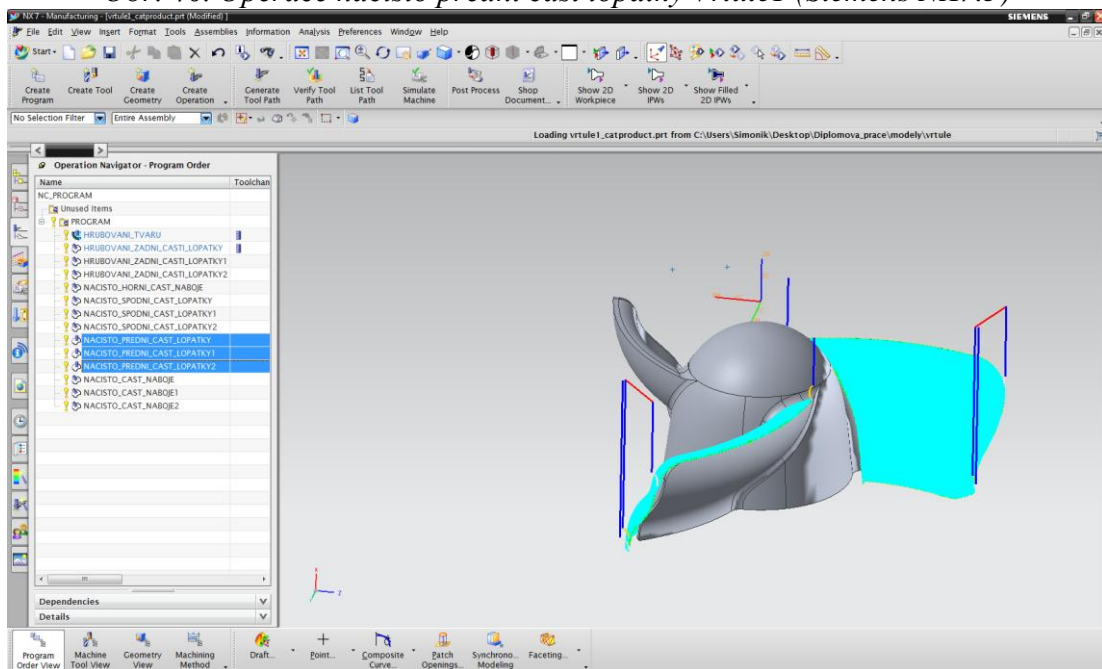
7.3.5 Tvorba operace načisto přední část lopatky

Tato operace je vytvořena pomocí metody Area Milling. Zvolený krok mezi jednotlivými řezy je 0,3 mm, zvolený posuv 8000 mm/min a zvolené otáčky vřetene jsou 9000 ot/min. Na obrázku 46 jsou zobrazeny vygenerované řezné dráhy pro tuto operaci. S užitím

transformace jdou zjednodušit operace pro přední část lopatky1 a 2. Na obrázku 47 jsou vygenerované řezné dráhy pro operace načisto přední část lopatky1 a 2 Vrtule1.



Obr. 46. Operace načisto přední část lopatky Vrtule1 (Siemens NX7.5)

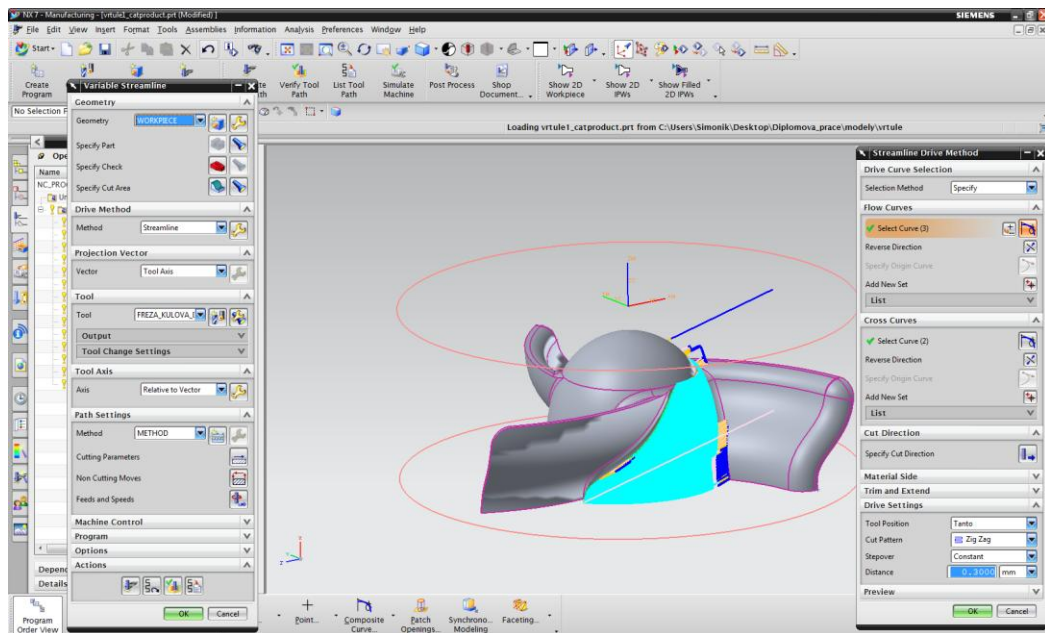


Obr. 47. Operace načisto přední část lopatky1 a 2 Vrtule1 (Siemens NX7.5)

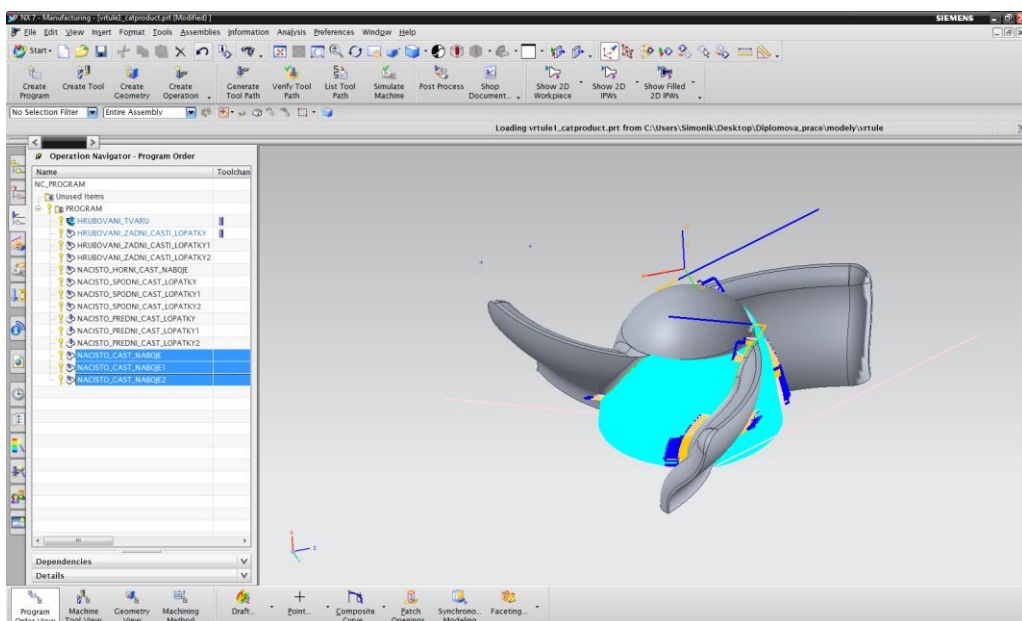
7.3.6 Tvorba operace načisto část náboje

Pro tuto operaci je zvoleno metody Variable Streamline. Zvolený krok mezi řezy je 0,3 mm, zvolené otáčky a posuv je stejný jako v předchozí operaci. Pro zvolené hodnoty odpovídá tabulka 14. Na obrázku 48 jsou vyobrazeny vygenerované řezné dráhy dané

operace. Pro zjednodušení navazujících operací tedy s využitím transformace pomocí rotace jsou na obrázku 49 zobrazeny řezné dráhy operací načisto část náboje 1 a 2 Vrtule1.



Obr. 48. Operace načisto část náboje Vrtule1 (Siemens NX7.5)



Obr. 49. Operace načisto část náboje1 a 2 Vrtule1 (Siemens NX7.5)

7.3.7 Strojní časy pro vytvořené operace vypočtené v softwaru Siemens NX7.5

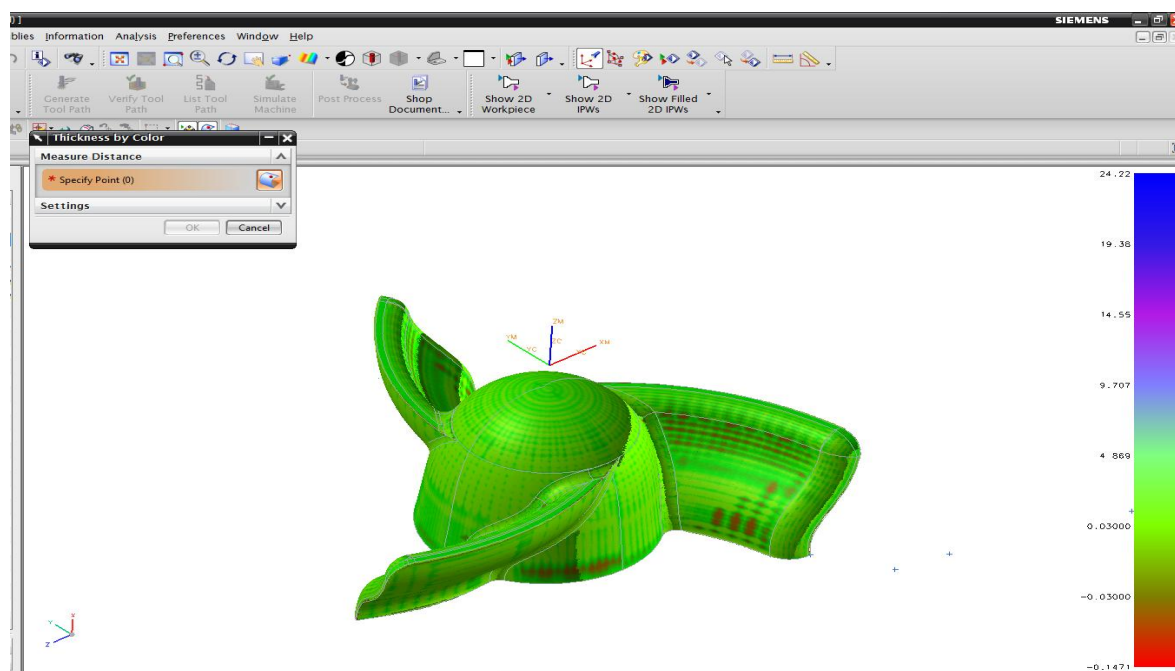
Jak už bylo rozepsáno v kapitole 7.2.13, v časech vypočtených daným softwarem, bývá rozdíl mezi skutečným časem na stroji. Na obrázku 50 jsou zobrazeny vypočtené časy vytvořených operací.

Name	Toolchange	Path	Tool	Tool Number	Time
NC_PROGRAM					00:48:14
Unused Items					
PROGRAM					00:48:14
HRUBOVANI_TVARU		✓	FREZA_VALC...		00:06:11
HRUBOVANI_ZADNI_CASTI_LOPATKY		✓	FREZA_KULOV...		00:01:18
HRUBOVANI_ZADNI_CASTI_LOPATKY1		↔	FREZA_KULOV...		00:01:18
HRUBOVANI_ZADNI_CASTI_LOPATKY2		↔	FREZA_KULOV...		00:01:18
NACISTO_HORNI_CAST_NABOJE		✓	FREZA_KULOV...		00:03:27
NACISTO_SPODNI_CAST_LOPATKY		✓	FREZA_KULOV...		00:04:40
NACISTO_SPODNI_CAST_LOPATKY1		↔	FREZA_KULOV...		00:04:40
NACISTO_SPODNI_CAST_LOPATKY2		↔	FREZA_KULOV...		00:04:40
NACISTO_PREDNI_CAST_LOPATKY		✓	FREZA_KULOV...		00:03:36
NACISTO_PREDNI_CAST_LOPATKY1		↔	FREZA_KULOV...		00:03:36
NACISTO_PREDNI_CAST_LOPATKY2		↔	FREZA_KULOV...		00:03:36
NACISTO_CAST_NABOJE		✓	FREZA_KULOV...		00:03:17
NACISTO_CAST_NABOJE1		↔	FREZA_KULOV...		00:03:17
NACISTO_CAST_NABOJE2		↔	FREZA_KULOV...		00:03:17

Obr. 50. Strojní časy vytvořených operací CAM modulu Vrtule1 (Siemens NX7.5)

7.3.8 Verifikace obrobku po odsimulování všech operací

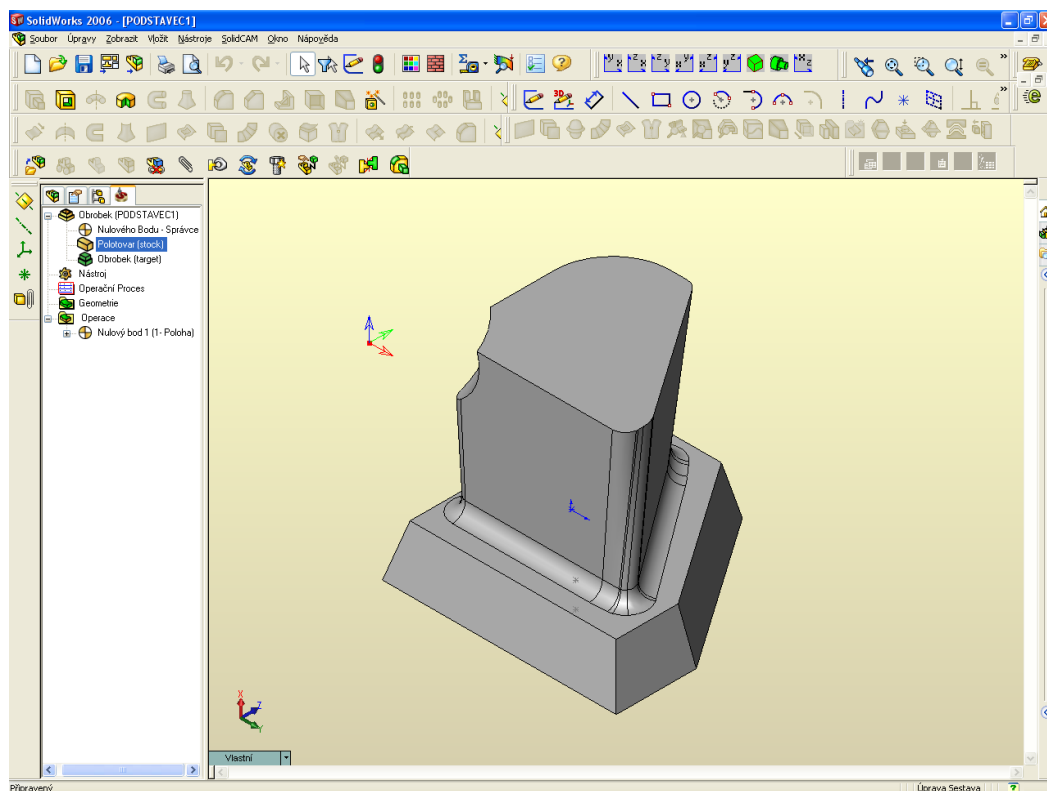
Na obrázku 51 je zobrazena verifikace materiálu po odsimulování všech vytvořených operací.



Obr. 51. Verifikace obrobku po simulaci všech vytvořených operací CAM modulu Vrtule1 (Siemens NX7.5)

7.4 Tvorba CAM modulu pro CAD model Podstavec1 v softwaru SolidCAM R10

Pro tvorbu CAM modulu byl nejprve importován CAD model Podstavec1. Dále byla určena poloha nulového bodu a vybrána geometrie polotovaru a obrobku. Na obrázku 52 je zobrazena poloha nulového bodu Vrtule1.



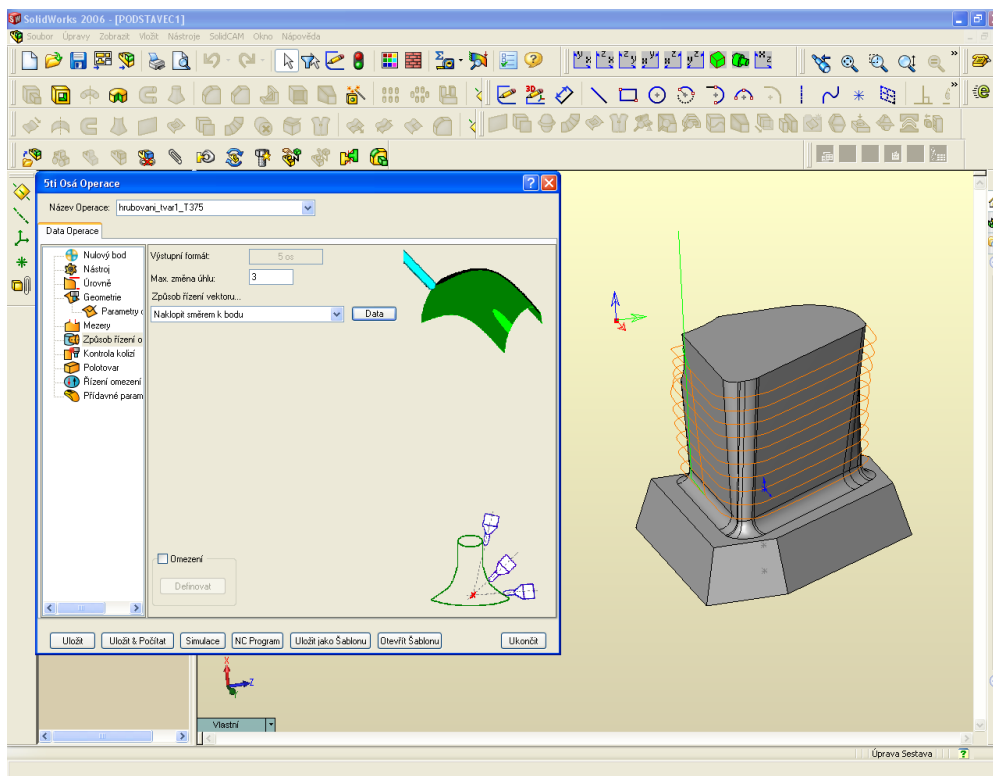
Obr. 52. Poloha nulového bodu Podstavec1 (SolidCAM R10)

7.4.1 Tvorba operace hrubování tvaru

Pro tvorbu operace hrubování tvaru bylo použito 3D operace se zadanými hodnotami. Otáčky vřetene 8000 ot/min, zvolený posuv 8000 mm/min. Přídavek na plochu 2 mm, dále je zvoleno překrytí nástroje 50 procent a krok mezi hloubkou řezu 10 mm. Použité nástroje jsou stejné jak u tvorby CAM modulu v softwaru Siemens NX7.5. Na obrázku 53 jsou zobrazeny vygenerované řezné dráhy pro vytvořenou operaci.

7.4.3 Tvorba operace hrubování tvar1

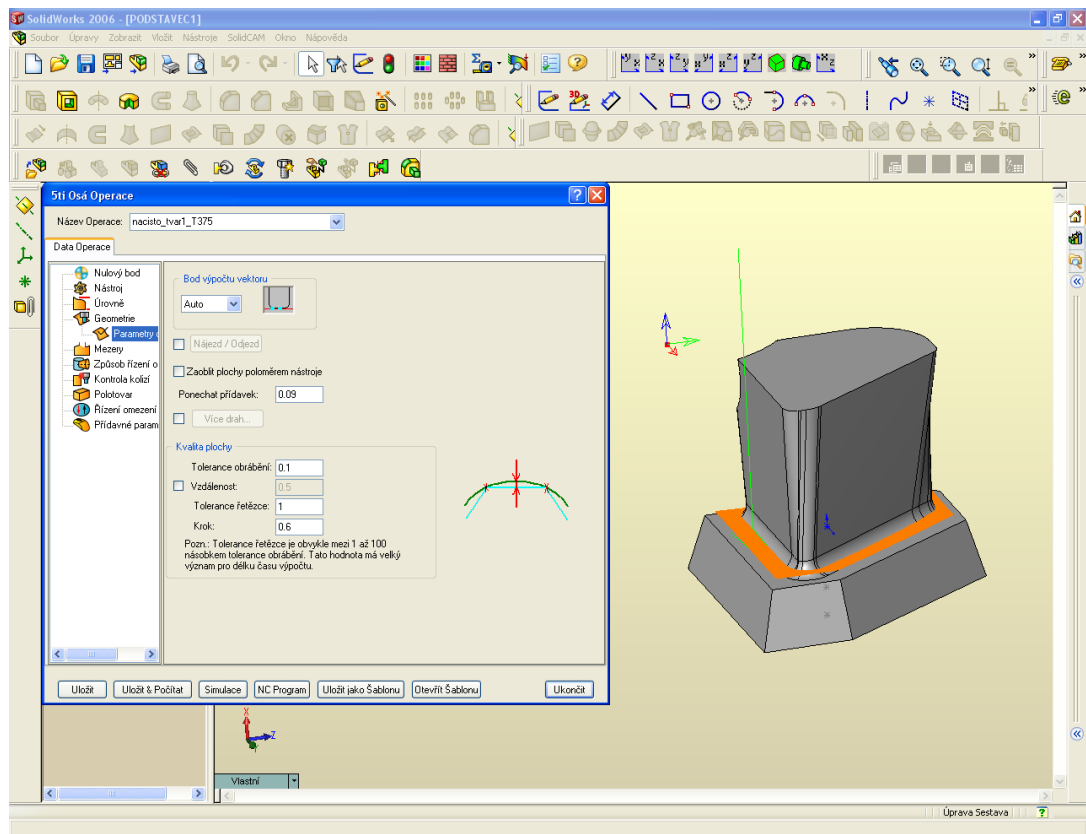
Tato operace je vytvořena jako 5ti-osá operace, kde řízení nástroje je vzhledem k bodu. Zvolené otáčky vřetene jsou 8000 ot/min, posuv 8000 mm/min, zvolený přídavek na plochu je 2 mm a krok mezi jednotlivými řezy je 10 mm. Na obrázku 55 jsou vygenerované řezné dráhy dané operace.



Obr. 55. Operace hrubování tvar1 Podstavec1 (SolidCAM R10)

7.4.4 Tvorba operace načisto tvar1

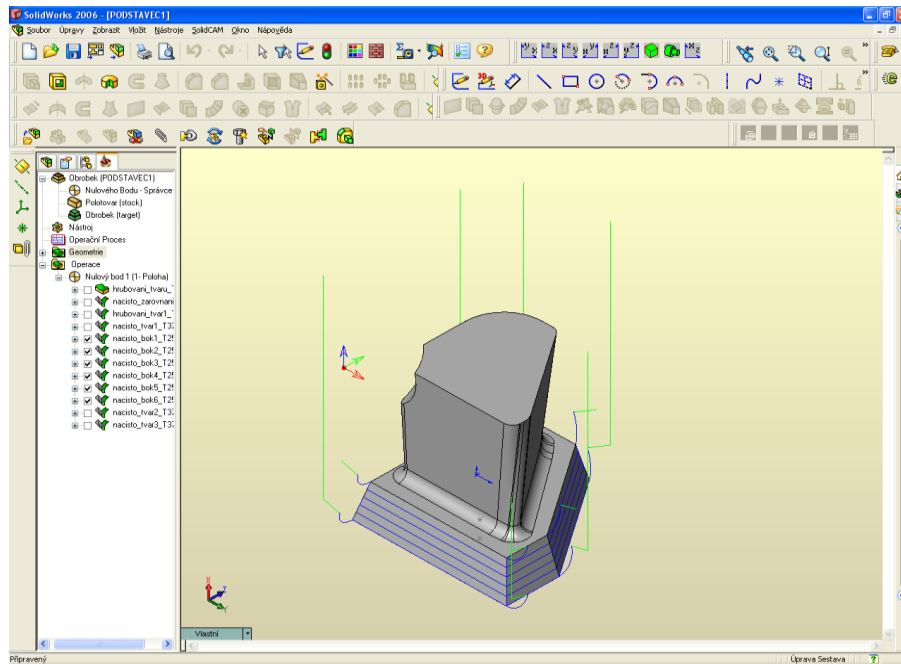
Tato operace je vytvořena stejnou metodou jako předchozí, tedy pomocí 5ti-osé operace. Řízení polohy nástroje je stejná jako v předchozí operaci, směrem k bodu. Zvolené otáčky vřetene jsou 8000 ot/min, posuv 8000 mm/min, krok mezi jednotlivými řezy je 0,6 mm. Na obrázku 56 jsou zobrazeny vygenerované řezné dráhy pro operaci načisto tvar1.



Obr. 56. Operace načisto tvar1 Podstavec1 (SolidCAM R10)

7.4.5 Tvorba operace načisto bok1 až 6

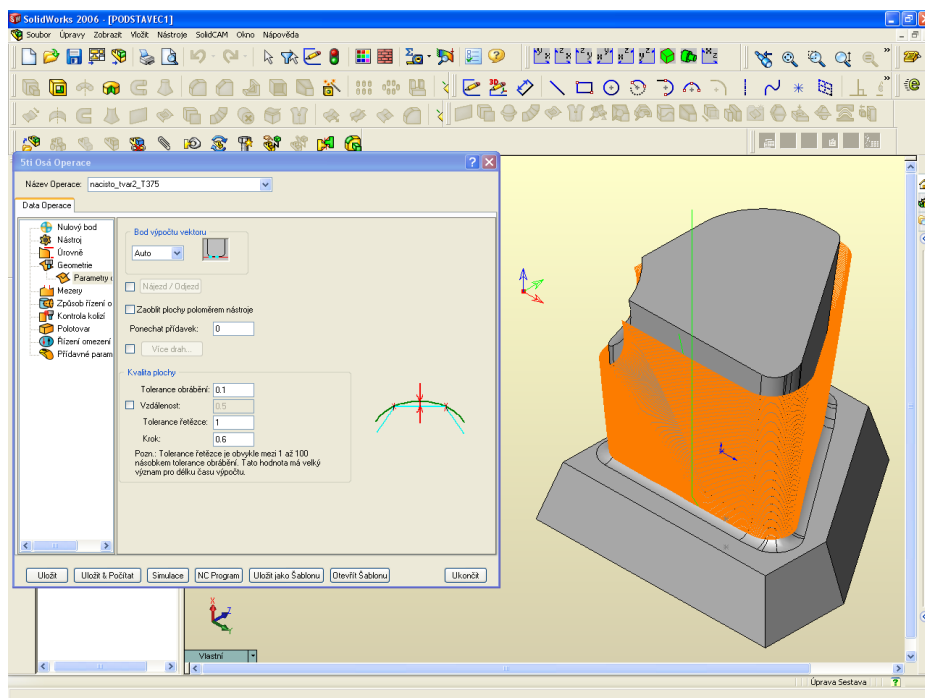
Tvorba těchto operací, je v zásadní podstatě stejná, jedinou odlišnou částí je zvolená plocha k obrábění. Metoda zvolená pro tyto operace je 5ti-osá operace, řízení polohy nástroje je kolmo ke směru plochy. Zvolené otáčky vřetene jsou 8000 ot/min, zvolený posuv je 3000 mm/min, krok mezi jednotlivými řezy je 10 mm. Na obrázku 57 jsou vygenerované řezné dráhy pro operace načisto bok 1 až 6.



Obr. 57. Operace načisto bok1 až 6 Podstavec1 (SolidCAM R10)

7.4.6 Tvorba operace načisto tvar2

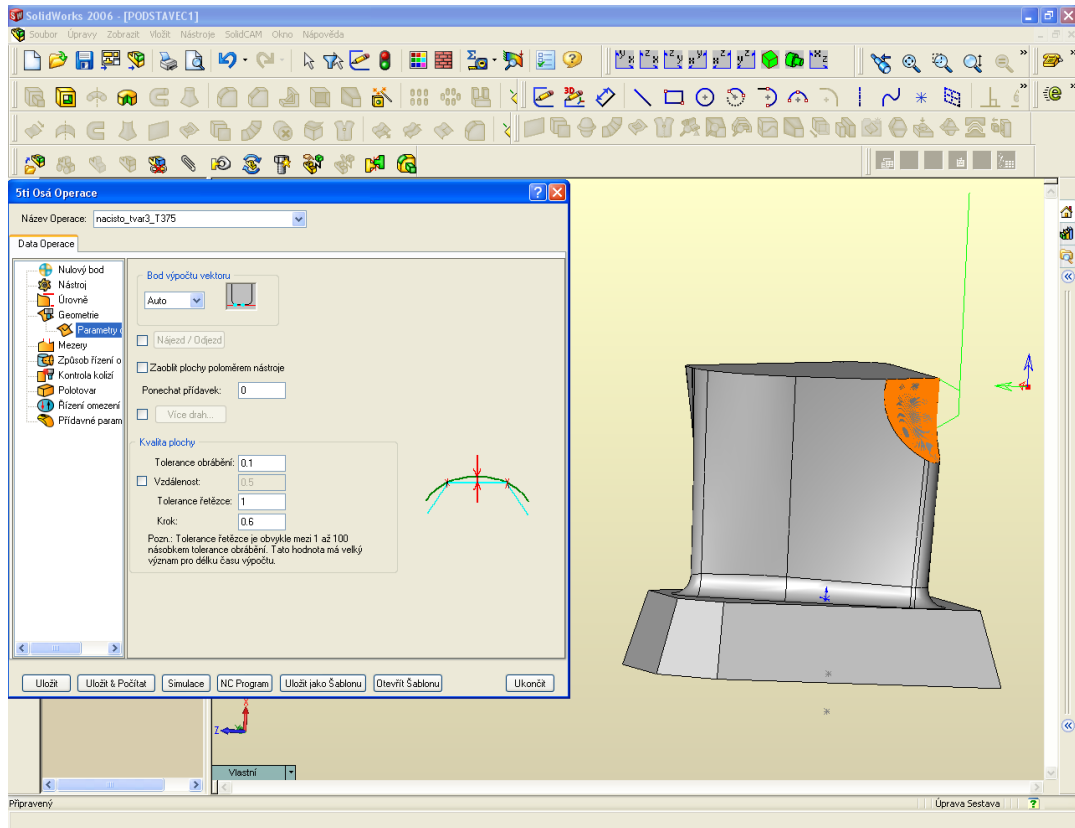
Tvorba této operace je metodou 5ti-osá operace. Řízení polohy nástroje je směrem k bodu. Zvolené otáčky vřetene jsou 8000 ot/min, zvolený posuv 8000 mm/min a zvolený krok mezi řezy je 0,6 mm. Na obrázku 58 jsou zobrazeny vygenerované řezné dráhy vytvořené operace.



Obr. 58. Operace načisto tvar2 Podstavec1 (SolidCAM R10)

7.4.7 Tvorba operace načisto tvar3

Pro tvorbu této operace je použita 5ti-osá operace, zvolené řízení nástroje kolmo k ploše. Zvolený posuv je 8000 mm/min, zvolené otáčky vřetene jsou 8000 ot/min, krok mezi jednotlivými řezy je 0,6 mm. Na obrázku 59 jsou vygenerované řezné dráhy pro operaci načisto tvar3.



Obr. 59. Operace načisto tvar3 Podstavec1 (SolidCAM R10)

7.4.8 Strojní časy pro vytvořené operace vypočtené v softwaru SolidCAM R10

Tyto časy zobrazuje tabulka 16, která pro jednotlivou operaci určuje vypočtený čas. Tento čas je v porovnání s reálným časem na stroji rozdílný. Důvodem rozdílnosti je nezapočítání kinematiky pohybů.

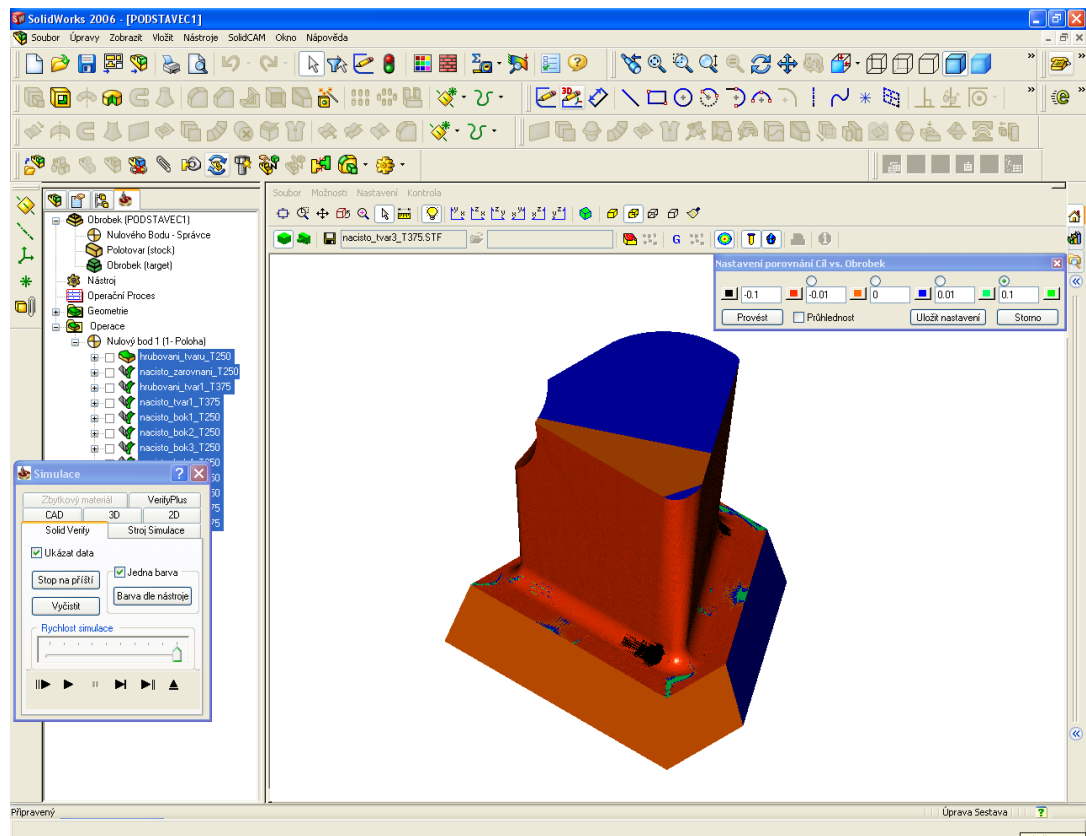
Tab. 16. Strojní časy vytvořených operací CAM modulu Podstavec1 (SolidCAM R10)

Název operace	Čas operace
Hrubování tvaru	0:07:13
Načisto zarovnání	0:00:59
Hrubování tvar1	0:00:46

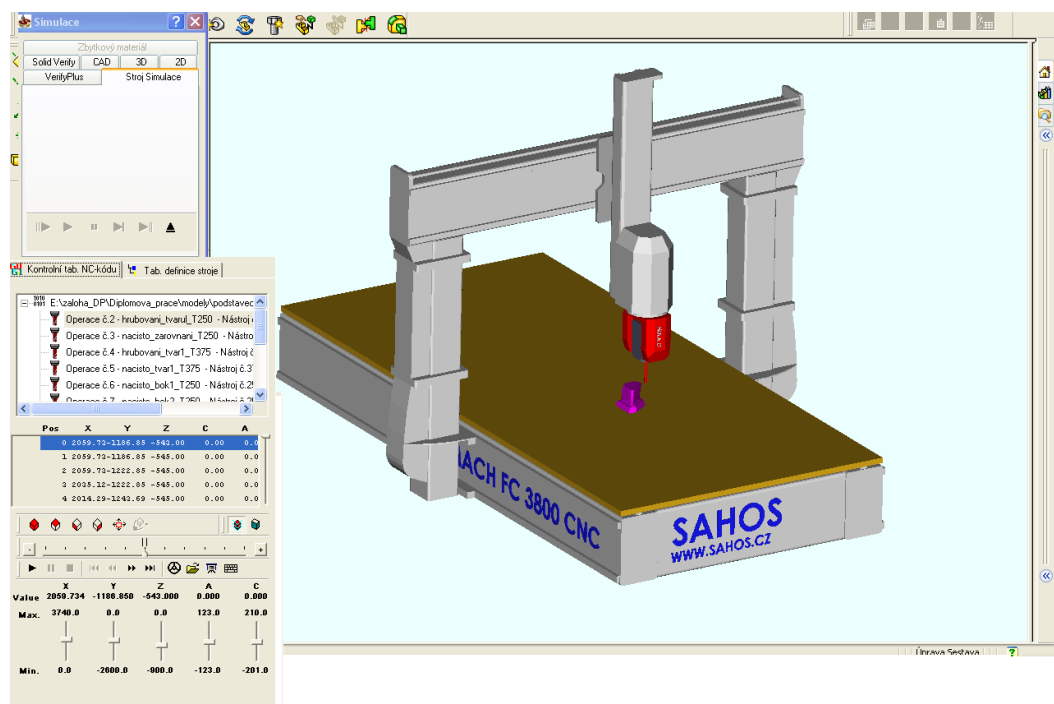
Načisto tvar1	0:03:34
Načisto bok1	0:00:30
Načisto bok2	0:00:21
Načisto bok3	0:00:16
Načisto bok4	0:00:30
Načisto bok5	0:00:33
Načisto bok6	0:00:19
Načisto tvar2	0:11:09
Načisto tvar3	0:00:51

7.4.9 Verifikace obrobku po odsimulování všech operací

Na obrázku 60 je zobrazena verifikace po odsimulování všech vytvořených operací. Tato simulace vyhodnocuje odchylky v přídavicích, jak záporných, tak kladných hodnot. Pro správnost CAM modulu, je nejvhodnější, když jsou hodnoty přídavek blízko 0 hodnoty. Vše ovlivňuje tolerance řetězce a zvolený krok mezi řezy. Na obrázku 61 je zobrazena simulace stroje. U této simulace je kontrola mezi strojem, nástrojem a obrobkem. U 5ti-osých operací je nutností a to z důvodu mezioperačních pohybů. Jsou to například, změna polohy při dosažení limitní polohy osy.



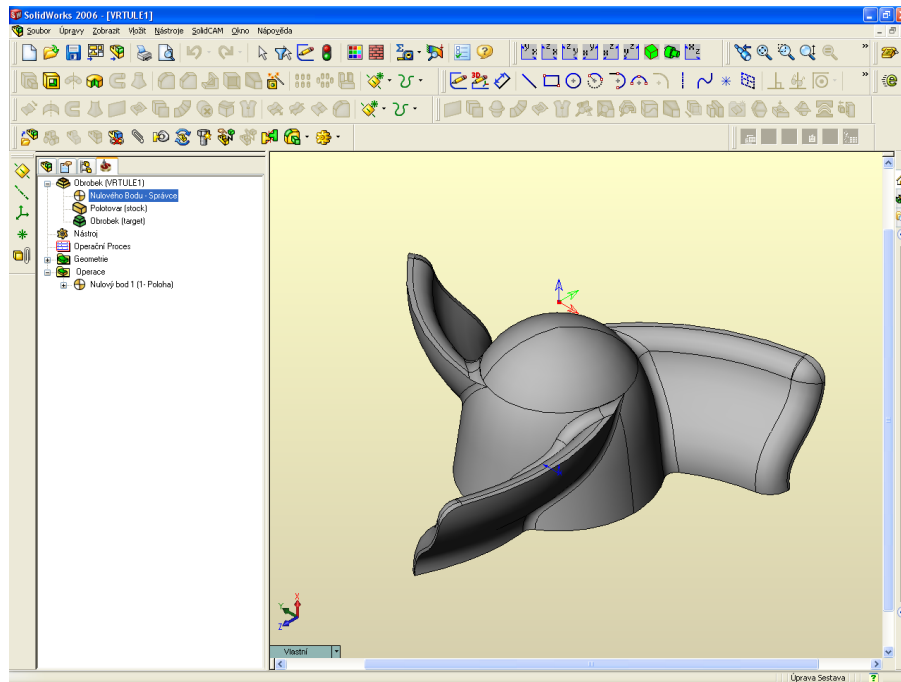
Obr. 60. Verifikace obrobku po simulaci všech vytvořených operací CAM modulu Podstavec1 (SolidCAM R10)



Obr. 61. Strojní simulace CAM modulu Podstavec1 (SolidCAM R10)

7.5 Tvorba CAM modulu pro CAD model Vrtule1 SolidCAM R10

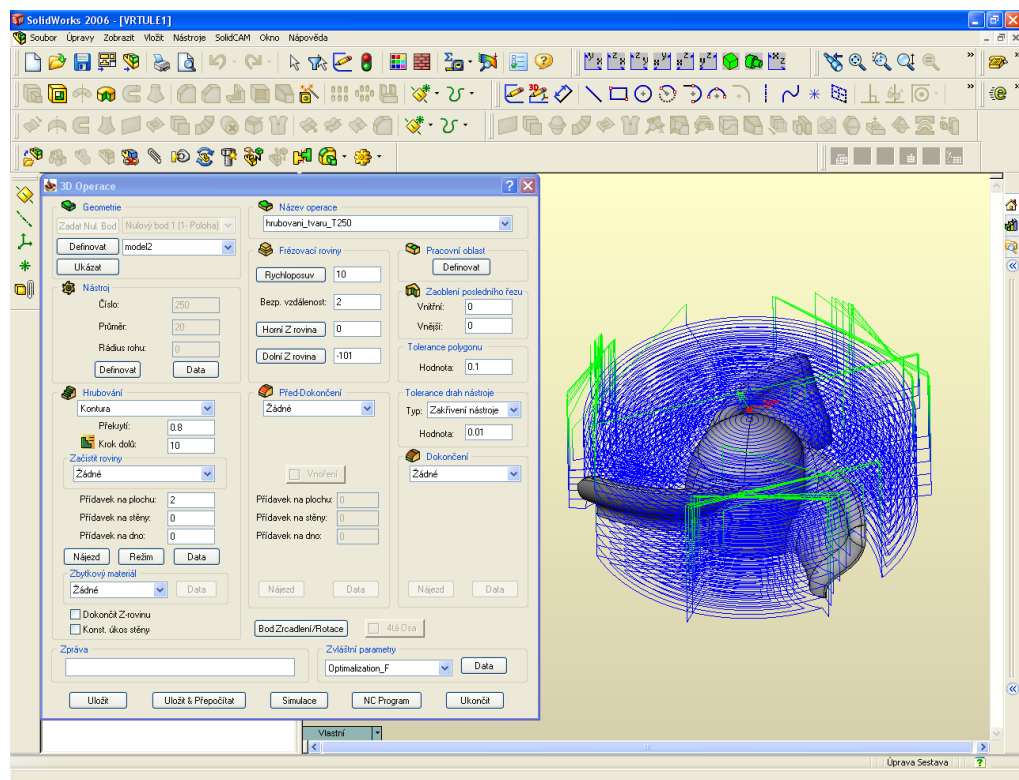
Pro tvorbu CAM modulu byl importován CAD model Vrtule1. Dále byl zvolen nulový bod a geometrie obrobku a polotvaru. Nulový bod i geometrie jsou stejné jako v softwaru Siemens NX7.5. Taktéž jsou i stejné použité nástroje. Na obrázku 62 je zobrazena poloha nulového bodu.



Obr. 62. Poloha nulového bodu Vrtule1(SolidCAM R10)

7.5.1 Tvorba operace hrubování tvaru

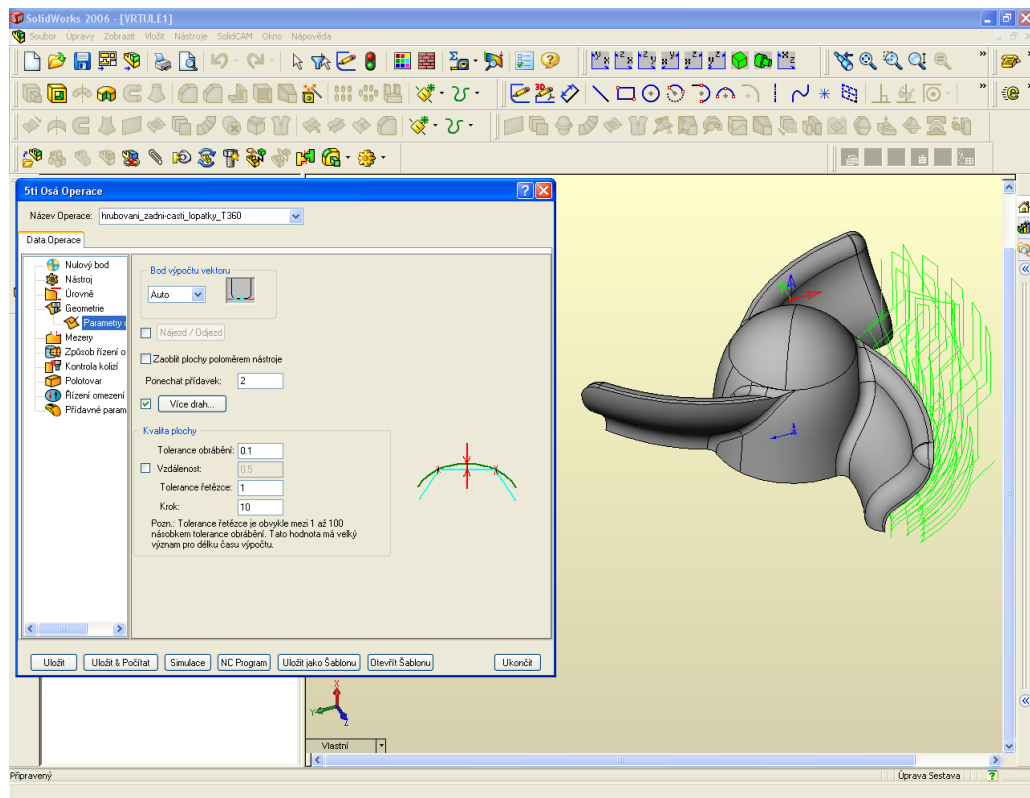
Pro tuto operaci byla použita 3D operace. Zvolené otáčky vřetene 8000 ot/min, posuv je 8000 mm/min. Přídavek na plochu je 2 mm, překrytí nástroje je 80 procent a krok mezi hloubkami řezů je 10 mm. Na obrázku 63 jsou vygenerované řezné dráhy dané operace.



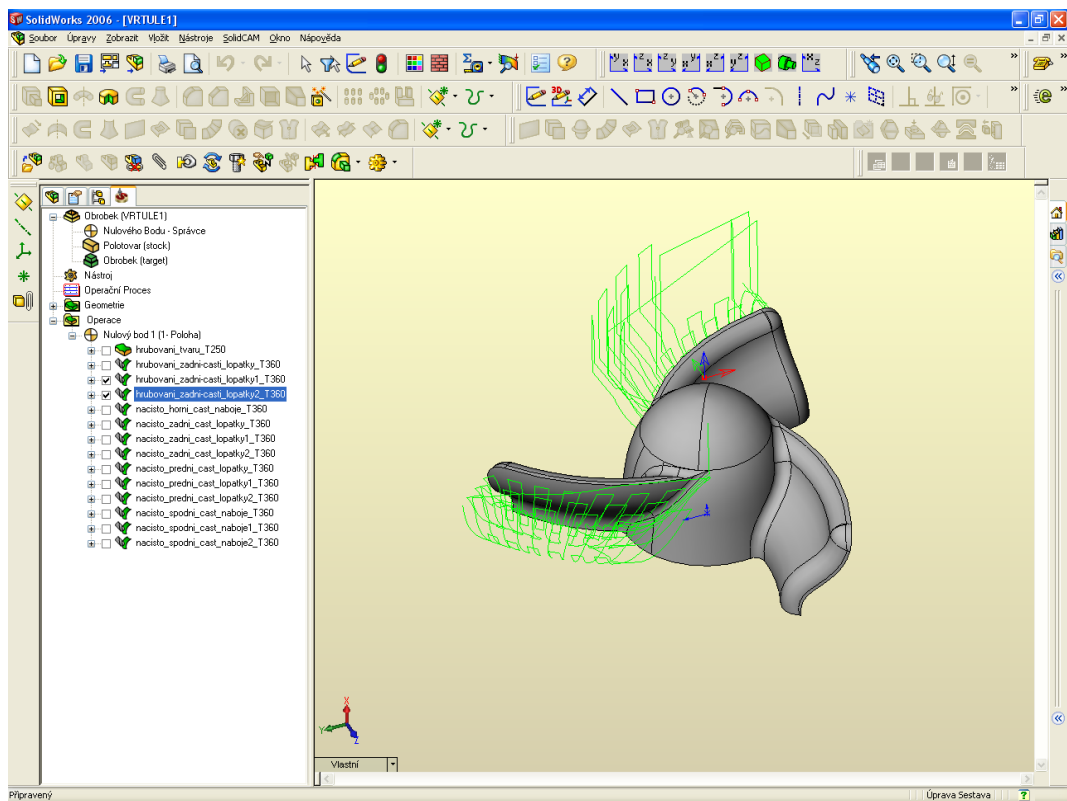
Obr. 63. Operace hrubování tvaru Vrtule1 (SolidCAM R10)

7.5.2 Tvorba operace hrubování zadní části lopatky

Tato operace je vytvořena pomocí 5ti-osé operace. Řízení polohy nástroje je podle přímek. Zvolené otáčky jsou 9000 ot/min, posuv 8000 mm/min, přídavek na plochu 2 mm a krok mezi řezy je 10 mm. Na obrázku 64 jsou vygenerované dráhy jednotlivých řezů. Stejně jako u softwaru Siemens NX7.5 je zde možné využít transformace pomocí rotace a tedy následující operace pro hrubování zadní části lopatky1 a 2. Na obrázku 64 jsou zobrazeny vygenerované řezné dráhy pro operace hrubování zadní části lopatky1 a 2.



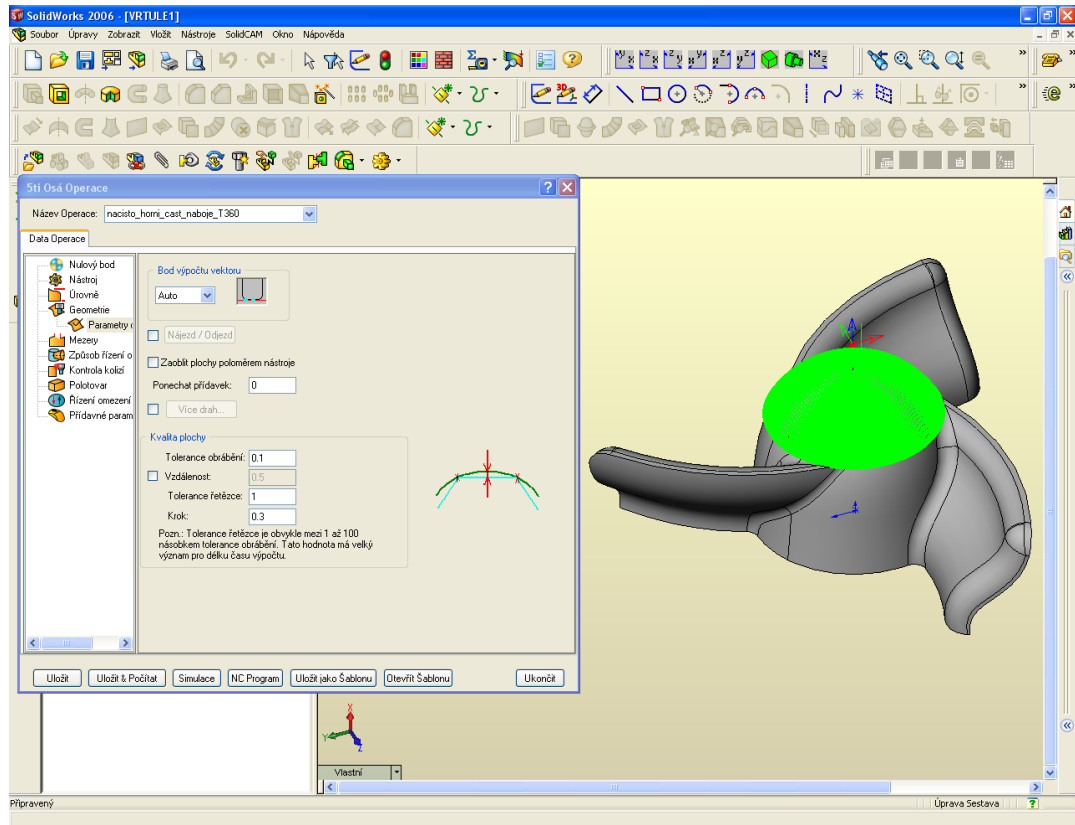
Obr. 64. Operace hrubování zadní části lopatky Vrtule1 (SolidCAM R10)



Obr. 65. Operace hrubování zadní části lopatky1 a 2 Vrtule1 (SolidCAM R10)

7.5.3 Tvorba operace načisto horní část náboje

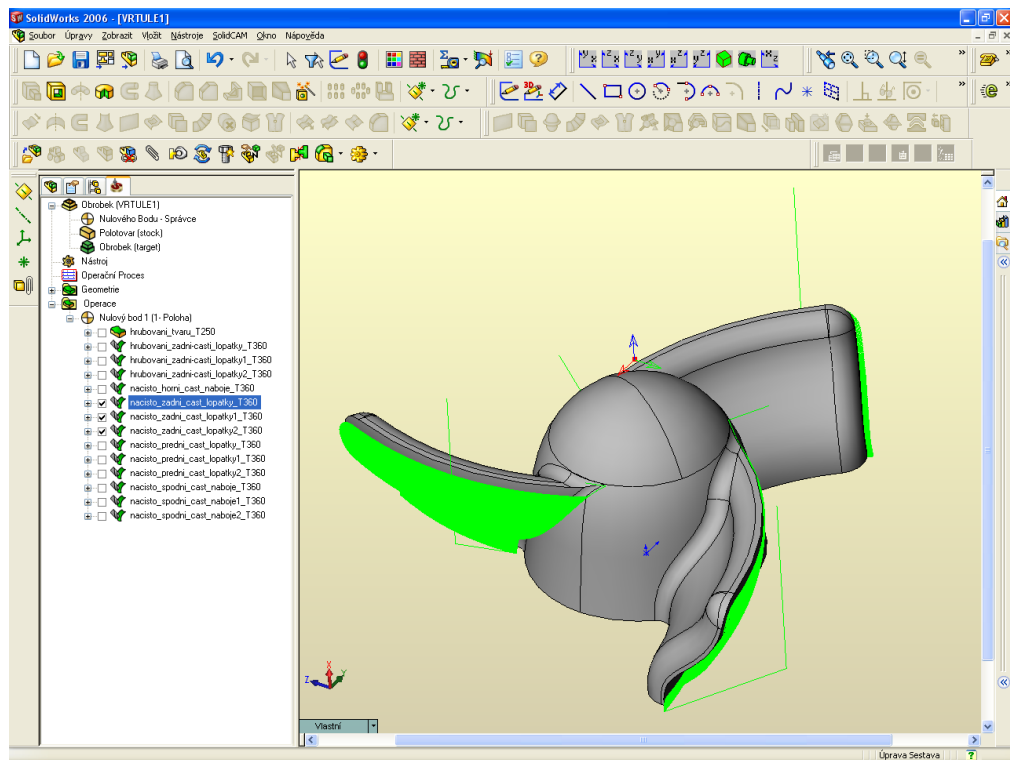
Pro tuto operaci je zvolena 5ti-osá operace. Zvolené řízení polohy nástroje je vzhledem k ose „Z“ (0 stupňů). Otáčky vřetene jsou 9000 ot/min, posuv 8000 mm/min. Krok mezi jednotlivými řezy je zvolen 0,3 mm. Na obrázku 66 jsou zobrazeny vygenerované řezné dráhy operace.



Obr. 66. Operace načisto horní část náboje Vrtule1 (SolidCAM R10)

7.5.4 Tvorba načisto zadní část lopatky

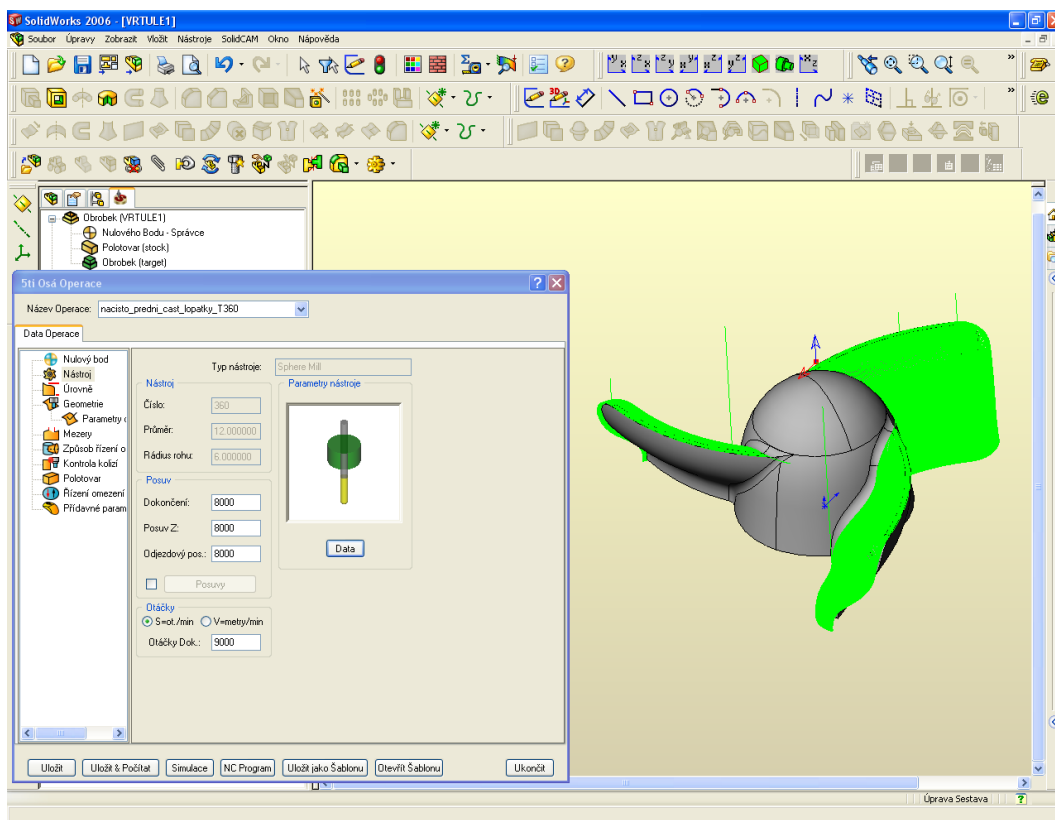
Tato operace je tvořena 5ti-osou operací, řízení polohy nástroje je podle přímky. Zvolený krok mezi řezy je 0,3 mm, otáčky vřetene jsou 9000 ot/min a posuv je 8000 mm/min. Tato operace je s možností transformace použitelná pro operace načisto zadní část lopatky1 a 2. Na obrázku 67 jsou vygenerované řezné dráhy vytvořené operace a její transformace.



Obr. 67. Operace načisto zadní část lopatky, lopatky1 a 2 Vrtule1 (SolidCAM R10)

7.5.5 Tvorba načisto přední část lopatky

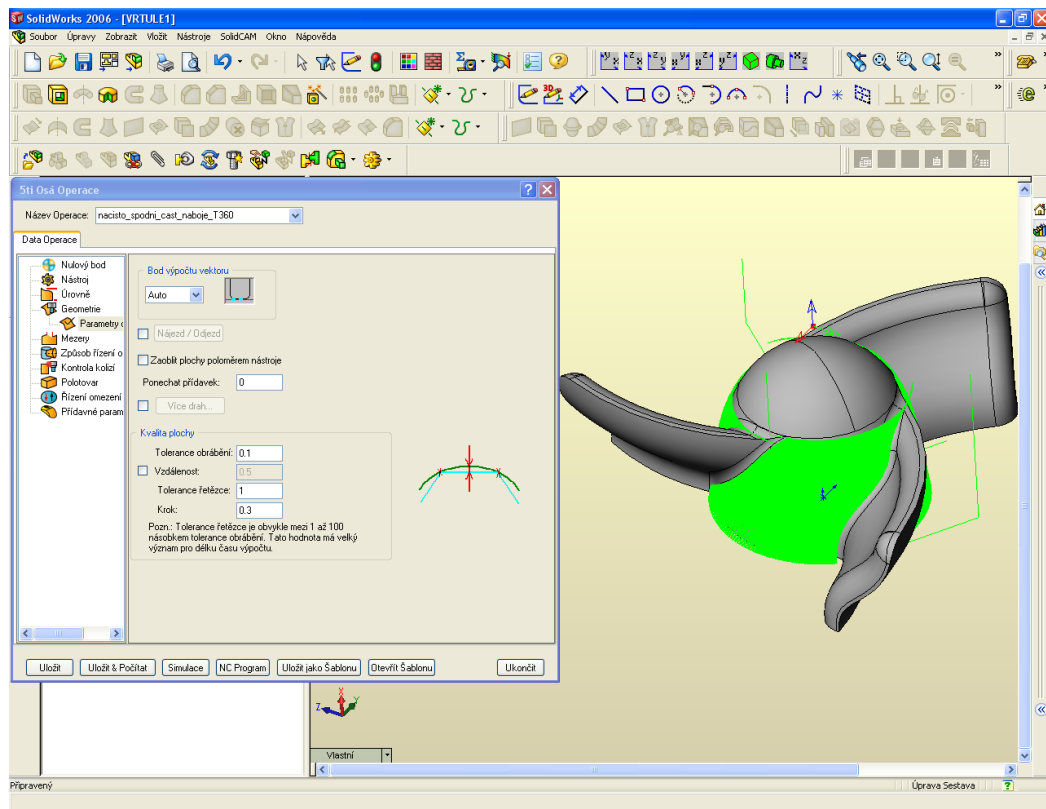
Pro tuto operaci je zvolena 5ti-osá operace s úhlovým řízením k ose „Z“ a hodnota úhlu je 0 stupňů. Zvolený krok mezi jednotlivými řezy je 0,3 mm, otáčky vřetene jsou 9000 ot/min a zvolený posuv je 8000 mm/min. Vzhledem k zjednodušení operací pro následující operace načisto přední části lopatky1 a 2 byla použita transformace rotace. Na obrázku 68 jsou zobrazeny vygenerované řezné dráhy pro vytvořené operace.



Obr. 68. Operace načisto přední část lopatky, lopatky1 a 2 Vrtule1 (SolidCAM R10)

7.5.6 Tvorba operace načisto část náboje

Operace je vytvořena pomocí 5ti-osé operace. Řízení polohy nástroje je podle přímky. Zvolené hodnoty pro posuv jsou 8000 mm/min, otáčky vřetene jsou stanoveny na 9000 ot/min a krok mezi jednotlivými řezy je 0,3 mm. Tak jako v předchozí operaci je zde možnost použití transformace pomocí rotace vytvořené operace načisto část náboje. Obrázek 69 zobrazuje vygenerované řezné dráhy pro vytvořené operace.



Obr. 69. Operace načisto část náboje, náboje1 a 2 Vrtule1 (SolidCAM R10)

7.5.7 Strojní časy pro vytvořené operace vypočtené v softwaru SolidCAM R10

Tyto časy zobrazuje tabulka 17, která pro jednotlivou operaci určuje vypočtený čas. Tento čas je v porovnání s reálným časem na stroji rozdílný.

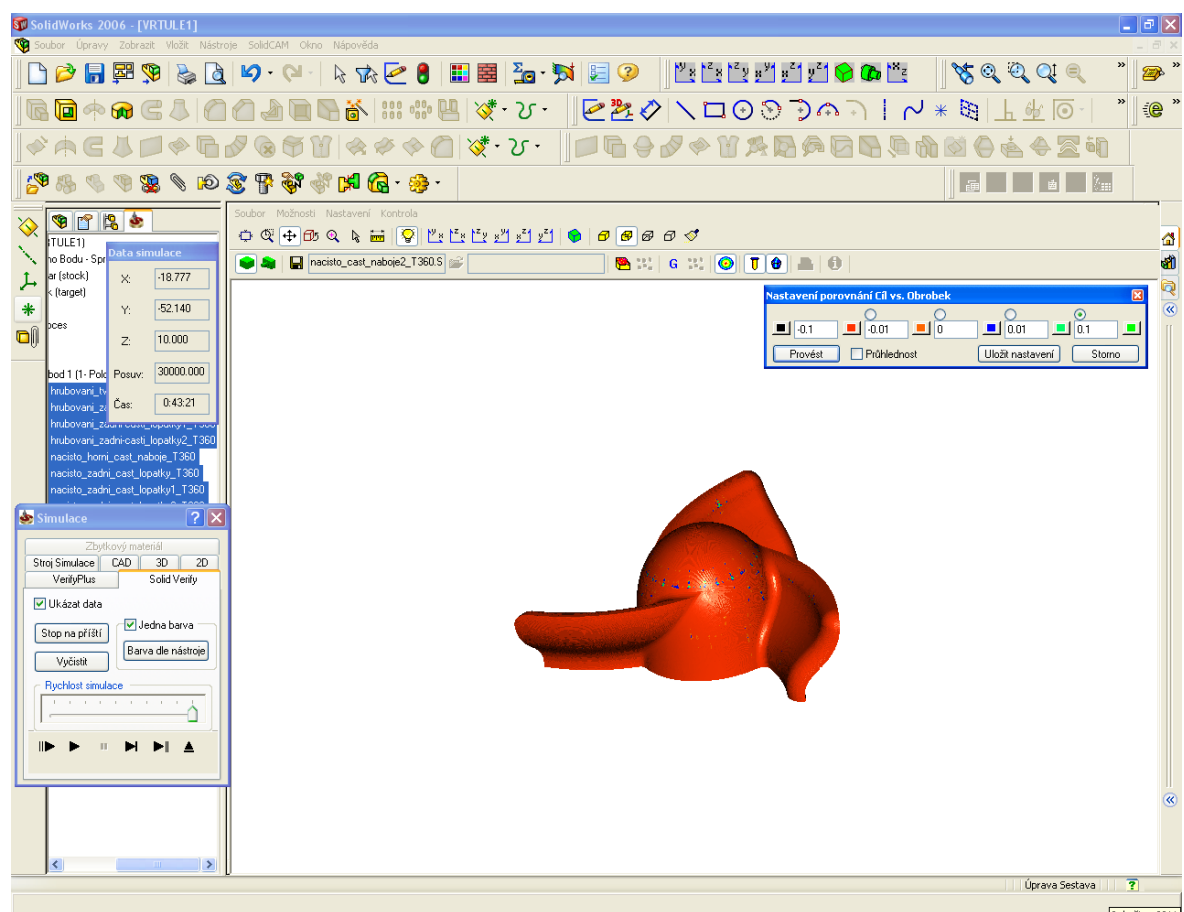
Tab. 17. Strojní časy vytvořených operací CAM modulu Vrtule1 (SolidCAM R10)

Název operace	Čas operace
Hrubování tvaru	0:10:51
Hrubování zadní části lopatky	0:00:42
Hrubování zadní části lopatky1	0:00:42
Hrubování zadní části lopatky2	0:00:42
Načisto horní část náboje	0:03:07
Načisto zadní část lopatky	0:03:23
Načisto zadní část lopatky1	0:03:23

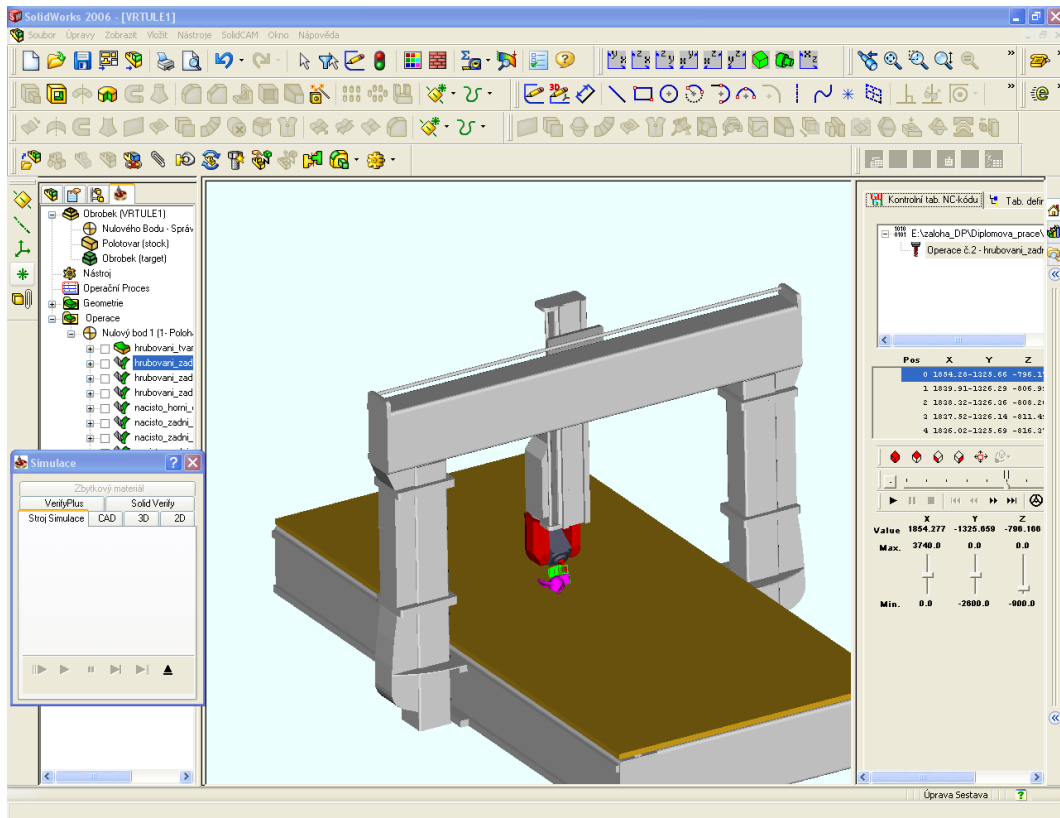
Načisto zadní část lopatky2	0:03:23
Načisto přední část lopatky	0:03:29
Načisto přední část lopatky1	0:03:29
Načisto přední část lopatky2	0:03:29
Načisto část náboje	0:02:49
Načisto část náboje1	0:02:49
Načisto část náboje2	0:02:49

7.5.8 Verifikace obrobku po odsimulování všech operací

Verifikace obrobku je znázorněna na obrázku 70. Hodnoty přídatků nepřekračují 0,1 mm a tedy CAM modul je vyhovující. Mimo verifikace obrobku je nutná vzhledem k výrobě strojní simulace. Na obrázku 71 je zobrazena strojní simulace pro CAM modulu Vrtule1.



Obr. 70. Verifikace obrobku po simulaci všech vytvořených operací CAM modulu Vrtule1 (SolidCAM R10)



Obr. 71. Strojní simulace CAM modulu Vrtule1 (SolidCAM R10)

8 Výroba prototypů

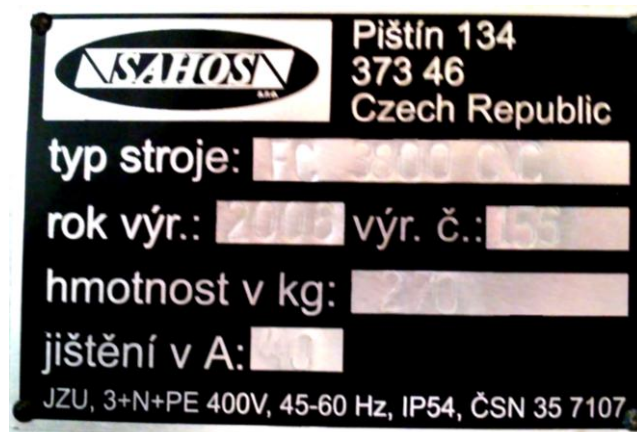
Při výrobě prototypů, bylo díky firmě Modelárna Přerov s.r.o. umožněna výroba prototypů na CNC 5ti-osém obráběcím centru FC3800 Mach, od firmy Sahos. Stroj je české výroby. Pro výrobu prototypů bylo použito dřevo typ (Olše). Stanovené řezné podmínky byly stanoveny experimentálně.

8.1 Stroj pro výrobu prototypů

Stroj pro výrobu FC 3800 MACH od firmy Sahos. Pro výrobu prototypů byl umožněn firmou Modelárna Přerov s.r.o. Ta tento stroj vlastní od roku 2006. Na obrázku 72 CNC stroj FC 38000 MACH. Na obrázku 73 je výrobní štítek stroje FC 3800 MACH. K tomuto stroji je používán post-procesor Mach 156, který byl dodán jako součást stroje. Parametry stroje, pracovní délka je 3,7m, pracovní šířka 2,2m a pracovní výška 1m. Otáčky vřetene jsou v rozsahu 10 až 22000 ot/min. Rychlost rychloposuvu je max. 30000 mm/min. Stroj má osy X, Y, Z, A, C. Omezení polohy osy „C“ je 220°, jak v kladném smyslu, tak v záporném, pro osu „A“ je omezení $\pm 110^\circ$. Pro upínání obrobku tedy polotovaru je používáno upínek, kde je na výrobním stole stroje rozmístěno po roztečích spousta děr se závitem M10.



Obr. 72. CNC 5tiosé obráběcí centrum FC 3800 MACH od firmy Sahos [12]



Obr. 73. Výrobní štítek stroje FC 3800 MACH

8.2 Softwarové vybavení stroje

Softwarové vybavení stroje je od firmy Arem Pro s.r.o. Tento software pracuje na platformě Windows XP. Základním rozdělením jsou jednotlivé záložky. Automatické řízení je zobrazeno na obrázku 74. Pro komunikaci mezi softwarem SolidCAM R10 a softwarem stroje dochází pomocí USB portu. Načtením do knihovny stroje, je možné následně užít vložený NC program k výrobě.



Obr. 74. Automatické řízení stroje

8.3 Použité nástroje pro výrobu

Na následujících obrázcích jsou zobrazeny jednotlivé typy nástrojů použité pro výrobu prototypů.



Obr. 75. Válcová fréza čelní D20 tabulkové označení T250



Obr. 76. Kulová fréza D20 R10 tabulkové označení T375



Obr. 77. Kulová fréza D12 R6 tabulková hodnota T360

8.4 Foto dokumentace výroby prototypu Podstavec1

Na následujících obrázcích jsou zachyceny jednotlivé fotografie pořízené při výrobě prototypu Podstavec1. Jsou seřazeny podle sledu operací.



Obr. 78. Operace hrubování tvaru Podstavec1



Obr. 79. Operace načisto zarovnání Podstavec1



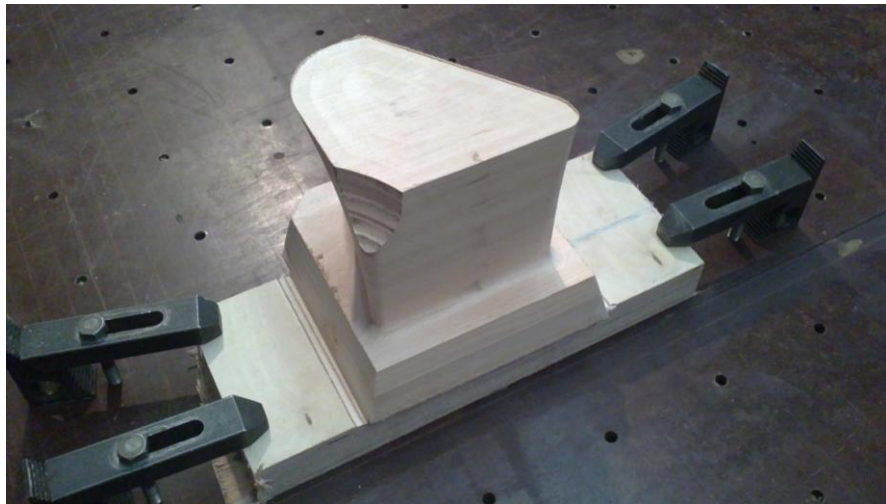
Obr. 80. Operace hrubování tvar1 Podstavec1



Obr. 81. Operace načisto tvar1



Obr. 82. Operace načisto bok1 až 6 Podstavec1



Obr. 83. Operace načisto tvar2 Podstavec1



Obr. 84. Operace načisto tvar3 Podstavec1

8.5 Foto dokumentace výroby prototypu Vrtule1

Na následujících obrázcích jsou zachyceny jednotlivé fotografie pořízené při výrobě prototypu Vrtule1. Jsou seřazeny tak jak operace šli za sebou.



Obr. 85. Operace hrubování tvaru Vrtule1



Obr. 86. Operace hrubování zadní části lopatky Vrtule1



Obr. 87. Operace načisto horní část náboje Vrtule1



Obr. 88. Operace načisto zadní část lopatky Vrtule1



Obr. 89. Operace načisto přední část lopatky Vrtule1

9 Porovnání práce v softwaru Siemens NX7.5 a softwaru SolidCAM

R10

U softwaru Siemens NX7.5 je příjemné prostředí pro tvorbu CAM modulu. Obrovskou výhodou je komunikace mezi různými softwary pro tvorbu CAD modelů. Nastavení nulového bodu je velice jednoduché a prakticky pokud je CAD model zkonstruován ve vhodném souřadném systému není potřeba ani s nastavením nulového bodu hýbat. Pro zvolení geometrie polotovaru je možnost mnoha užití oproti softwaru SolidCAM. U nastavení geometrie polotovaru je možné nastavení například offset od obrobku o určitou hodnotu. Tuto možnost nelze nastavit u softwaru SolidCAM. U Softwaru NX7.5 je velice jednoduché vytvoření nástroje. Pro tvorbu jednotlivých operací je široká škála možností výběru. Pro definování 5ti-osého obrábění je možno využití různých metod. Tedy především metody Streamline, Surface Area a další. NX7.5 nabízí rozsáhlou možnost řízení polohy nástroje vůči obrobku, ale toto nastavení je velice komplikované a ne vždy zřetelné. Malou nevýhodou tohoto softwaru bylo, že neobsahoval post-procesor k nějakému stroji, a tedy neobsahoval software strojní simulaci. Při verifikaci obroku bylo značné hardwarové zatížení oproti SolidCAM R10 a tedy více času potřebného pro vytvoření CAM modulu. Výhodou softwaru je, že cenově vychází levněji než software SolidCAM R10, protože software SolidCAM je nástavbou softwaru SolidWorks.

U softwaru SolidCAM R10 je pracovní prostředí taktéž rozděleno přehledně. Software vede už od importu CAD modelu jednotlivé kroky nastavení automaticky, což může být nevýhodou. Těmito autonomními kroky je nastavení nulového bodu a zvolení obrobku a polotovaru. U nastavení nulového bodu se nastavuje i rovina polohy nástroje, v rámci k nulovému bodu, dále rovina rychloposuvu a posuvů. Pro aplikaci 5ti-osého obrábění je možnost výběru jediné operace. V této operaci se dále stanoví metody řízení v rámci obráběné plochy. Řízení polohy nástroje vůči obrobku je zde velice jednoduché a srozumitelné, doplněné názorným detailním obrázkem polohy nástroje. Tudíž z mého pohledu výhoda proti Siemens NX7.5. Další výhodou je, že k SolidCAM R10 je připojený post-procesor Mach 156, tedy bezproblémové vygenerování NC kódu a možnosti načtení do knihovny stroje. Další výhodou je nižší hardwarové zatížení počítače a také nechybí strojní simulace, která u softwaru Siemens NX7.5 scházela. Nevýhodou tohoto softwaru je cena, protože je nutná koupě základního programu SolidWorks a nástavby SolidCAM R10, ale tato kombinace zato umožňuje vytváření CAD modelu a vzájemné provázání mezi SolidCAM R10.

Z mého pohledu uživatele spíše vyhovuje software SolidCAM R10, ale s ohledem na finanční náročnost, bych volil software Siemens NX7.5. V tabulce 18 jsou porovnané strojní časy jednotlivých operací pro CAD model Vrtule1.

Tab. 18. Porovnání výrobních časů pro CAD model Vrtule1

Název operace	Siemens NX7.5 strojní čas	SolidCA M R10 strojní čas	Stroj FC 3800 MACH strojní čas	Rozdíl časů (SolidCAM R10 x Stroj)	Procentuální rozdíl mezi (SolidCAM R10 a Stroj)
Hrubování tvaru	0:06:11	0:10:51	0:29:24	0:18:33	63%
Hrubování zadní části lopatky	0:01:18	0:00:42	0:03:31	0:02:49	80%
Hrubování zadní části lopatky1	0:01:18	0:00:42	0:03:31	0:02:49	80%
Hrubování zadní části lopatky2	0:01:18	0:00:42	0:03:31	0:02:49	80%
Načisto horní část náboje	0:03:27	0:03:07	0:10:34	0:07:27	71%
Načisto zadní část lopatky	0:04:40	0:03:23	0:12:56	0:09:33	74%
Načisto zadní část lopatky1	0:04:40	0:03:23	0:12:56	0:09:33	74%
Načisto zadní část lopatky2	0:04:40	0:03:23	0:12:56	0:09:33	74%
Načisto přední část lopatky	0:03:36	0:03:29	0:15:33	0:12:04	78%
Načisto přední část lopatky1	0:03:36	0:03:29	0:15:33	0:12:04	78%
Načisto přední část lopatky2	0:03:36	0:03:29	0:15:33	0:12:04	78%
Načisto část náboje	0:03:17	0:02:49	0:10:43	0:07:54	74%
Načisto část náboje1	0:03:17	0:02:49	0:10:43	0:07:54	74%
Načisto část náboje2	0:03:17	0:02:49	0:10:43	0:07:54	74%

10 Závěr

V diplomové práci byly vytvořeny CAD modely pro možnou aplikovatelnost a tvorbu CAM modulů určenou pro 5ti-osé frézování. Tvorba modelů byla navržena tak, aby bylo možné alespoň částečně aplikovat minimálně jednu operaci 5ti-osého charakteru. Část CAD modelů vycházela s výkresové dokumentace určené pro slévárenskou technologii. Druhá část CAD modelů byla vytvořena vymyšlenou konstrukcí. Tvorba CAD modelů byla provedena v softwaru Catie V5R18.

Tvorba CAM modulů byla provedena v softwarech Siemens NX7.5 a SolidCAM R10. V softwaru Siemens NX7.5 bylo vytvořeno 6 modulů a v Softwaru SolidCAM R10 bylo vytvořeno 6 odlišných CAM modulů. Pro přínos a možnost porovnání tvorby CAM modulů byly dva CAD modely Podstavec1 a Vrtule1 vytvořeny duplicitně v softwaru SolidCAM R10. Tedy celkový počet CAM modulů vytvořených v softwaru SolidCAM R10 je 8. Při tvorbě CAM modulů bylo použito nástrojového vybavení dostupného ke stroji FC 3800 Mach. Při volbě řezných podmínek bylo voleno experimentálních hodnot získaných čtyřletými zkušenostmi. Pro definování tolerance řetězce byla stanovena hodnota 0,1 mm. Stanovené boční kroky, byly stanoveny s ohledem na typ obráběného materiálu, tedy dřevo typu olše. V rámci srovnání softwarů, tedy možnostech různých a nebo stejných definovaných operací, byly vybrány 2 stejné typy CAD modelů pro tvorbu CAM modulů. Rozdílnost ve vypočtených časech je nepatrná. Je zapříčiněna rozdílnou polohou nástroje ve výchozí rovině a rozdílnými příjezdy a odjezdy nástroje. Díky postprocesoru Mach 156, který je součástí softwaru SolidCAM R10, bylo možné vytvoření NC kódu drah jednotlivých operací. Výstupním zdrojem ze softwaru SolidCAM R10 je NC kód jednotlivých vytvořených operací daného vytvořeného CAM modulu. Tedy možnosti aplikovatelnosti opakované výroby daného prototypu. Všechny vytvořené CAM moduly jsou součástí přílohy na DVD. Při tvorbě jednotlivých CAM modulů byla prováděna verifikace materiálu obrobku, tedy při dané výrobě by se reálný výrobek neměl odlišovat od dané verifikace. Jedinou možností je buď špatná tuhost mezi nástrojem, strojem a obrobkem, tedy možné špatně zvolené řezné podmínky a nebo špatného upnutí obrobku. Výroba prototypů byla provedena na stroji FC3800 MACH, který propůjčila firma Modelárna Přerov s.r.o., jednalo se o 5tiosé obráběcí centrum. Z hlediska konstrukce stroje se jednalo o portálový obráběcí stroj, kde posuvy konaly osy X, Y, Z, A, C. Obrobek byl pevně a nehybně upnut na stole stroje. Při výrobě byly použity polotovary z materiálu dřeva (olše). Upnutí polotovarů bylo pomocí pomocných dřevěných lišt a upínek. Celá výroba prototypů byla zakončena zhmotněným výrobkem vytvořeného CAD modelu.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] ŘASA, J., GABRIEL, V. *Strojírenská technologie 3– 1. díl*. Praha : Scientia, 2000. 256s.
- [2] *SolidCAM 5ti-osé souvislé obrábění* [s.l.]: LTD, 1995. 224s.
- [3] ŠTULPA, M. *CNC obráběcí stroje a jejich programování*. Praha : BEN, 2000. 125s.
- [4] *SolidCAM 2006 Výuková příručka frézování*. Brno : SolidVision, 2005 66 s.
- [5] ŘASA, J., GABRIEL, V., POKORNÝ, P. *Strojírenská technologie 3. Obráběcí stroje pro automatizovanou výrobu, fyzikální technologie, 2. díl*. Praha : Scientia, 2000. 234s.
- [6] LEINVEBER, J., ŘASA, J., VÁVRA, P. *Strojnické tabulky*. Praha: Scientia, 1998. 983s.
- [7] KOČMAN, K; PROKOP, J. *Technologie obrábění. 2. díl*. Brno : Akademické nakladatelství Cerm, 2005. 270 s. ISBN 80-214-3068-0.
- [8] SVOBODA, E. *Technologie a programování CNC strojů*. Havlíčkův Brod: Fragment 1998, ISBN 80-7200-297-X
- [9] BARTOŠ, V. a kol. *Základy CNC obráběcích strojů*. Havlíčkův Brod: Fragment 1998, ISBN 80-7200-285-8
- [10] MAREK, J; a kol. *Konstrukce CNC obráběcích strojů*. 2010. [s.l.] : MM publishing s.r.o., 2010. 420 s. ISBN 978-80-254-7980-3.
- [11] SMID, P. *CNC programming handbook : a comprehensive guide to practical CNC programming*. 2003. New York : Industrial Press Inc, 2003. 508 s. ISBN 0-8311-3158-6.
- [12] Sahos [online]. 2011. 2011 [cit. 2011-05-09]. Sahos. Dostupné z WWW: <<http://www.sahos.cz/>>.
- [13] Hermle [online]. 2011 [cit. 2011-05-09]. Hermle. Dostupné z WWW: <hermle.de/index.php5?1588>.

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

a_l	tloušťka třísky odebírané jedním zubem	mm
a_e	hloubka řezu	mm
a_{max}	maximální, střední tloušťka třísky	mm
a_p	šířka třísky	mm
D	průměr frézy	mm
d_f	průměr frézy	mm
F	řezná síla	N
F_{ci}	řezné síly působící na zub frézy	N
f	posuv	mm
f_c, f_{cN}, F_f, F_{fN}	složky řezné síly	N
f_o	posuv na otáčku	mm
f_z	posuv na zub	mm
M_k	kroučící moment	N.m
n	otáčky vřetene	min ⁻¹
p	řezný odpor	Mpa
P_{ef}	efektivní výkon pro frézování	W
S	průřez	mm ²
S_z	průřez třísky	mm ²
S_{zmax}	maximální průřez třísky	mm ²
v_c	řezná rychlost	m.min ⁻¹
v_f	rychlost posuvu	mm.min ⁻¹
z	počet zubů frézy	
z'	počet zubů frézy v záběru	
φ_l	úhel polohy zubu	
φ_{max}	záběrový úhel frézy	

SEZNAM OBRÁZKŮ

OBR. 1. FRÉZOVÁNÍ OBVODEM VÁLCOVÉ FRÉZY [1]	13
OBR. 2. FRÉZOVÁNÍ ČELEM ČELNÍ FRÉZY [1]	13
OBR. 3. PRŮŘEZ TRÍSKY ODEBÍRANÝ PŘI VÁLCOVÉM FRÉZOVÁNÍ	14
OBR. 4. PRŮŘEZ TRÍSKY ODEBÍRANÉ PŘI ČELNÍM FRÉZOVÁNÍ.....	14
OBR. 5A. FRÉZOVÁNÍ NESOUSLEDNÉ [1].....	14
OBR. 5B. FRÉZOVÁNÍ SOUSLEDNÉ [1]	14
OBR. 6. ZJEDNODUŠENÉ BLOKOVÉ SCHÉMA CNC SYSTÉMU [10].....	21
OBR. 7. ŘÍDÍCÍ PANEL CNC STROJE – UKÁZKA JEDNOHO Z MNOHA PROVEDENÍ [3]	23
OBR. 8. DEFINOVÁNÍ KARTÉZSKÝCH SOUŘADNIC – PRAVOTOČIVÁ SOUSTAVA SYTÉM 3 PRUTŮ. [3].....	25
OBR. 9. DEFINICE BODU P POMOCÍ ÚHLU A VZDÁLENOSTI (PRAKTICKÉ POUŽITÍ PRO VRTÁNÍ OTVORŮ NA ROZTEČNÉ KRUŽNICI) [3]	26
OBR. 10. SOUŘADNICOVÝ SYSTÉM FRÉZKY A NULOVÉ BODY [3]	29
OBR. 11 .NAJÍŽDĚNÍ DO NULOVÉHO BODU NA VERTIKÁLNÍ FRÉZCE – POHLED SHORA A Z BOKU [3].....	31
OBR. 12. MĚŘENÍ DÉLKOVÝCH KOREKCÍ NÁSTROJE – FRÉZKA [3].....	33
OBR. 13. INTERPOLACE DRÁHY KONTURY – INKREMENTY [3].....	35
OBR. 14. STANOVENÍ SMĚRU RÁDIUS FUNKCEMI G02 A G03 [3]	37
OBR. 15. STANOVENÍ RÁDIUS POUŽITÍM SOUŘADNICOVÉ SOUSTAVY I, J [3].....	38
OBR. 16. UKÁZKA PLYNULÉHO NÁJEZDU NÁSTROJE PO OBLOUKU DO TRÍSKY [3].....	38
OBR. 17. SVISLÁ FRÉZKA A ROVINY OBRÁBĚNÍ [3].....	39
OBR. 18. PĚTIOSÉ PROGRAMOVÁNÍ ZÁKLADNÍ INFORMACE [10]	46
OBR. 19. 5-TI OSÉ CNC OBRÁBĚCÍ CENTRUM HERMLE C40 DYNAMIK [13]	48
OBR. 20. 5-TI OSÉ CNC OBRÁBĚCÍ CENTRUM SAHOS POWER [12]	49
OBR. 21. ZPŮSOBY DIAGNOSTIKY, KONTROLY, ADAPTIVNÍHO ŘÍZENÍ A UČENÍ [10].....	50
OBR. 22. STROM TVORBY CAD MODELU VRTULE1	52
OBR. 23. SESTAVA CAD MODELU VÝROBKU A POLOTVARU	53
OBR. 24. POZICE NULOVÉHO BODU A ZVOLENÝ OBROBEK A POLOTOVAR PODSTAVEC1 (SIEMENS NX7.5).....	57
OBR. 25. OPERACE HRUBOVÁNÍ TVARU PODSATVEC1 (SIEMENS NX7.5).....	59
OBR. 26. OPERACE NAČISTO ZAROVNÁNÍ PODSATVEC1 (SIEMENS NX7.5).....	60

OBR. 27. OPERACE HRUBOVÁNÍ TVAR1 PODSTAVEC1 (SIEMENS NX7.5).....	60
OBR. 28. OPERACE NAČISTO TVAR1 PODSTAVEC1 (SIEMENS NX7.5)	61
OBR. 29. OPERACE NAČISTO BOK1 PODSTAVEC1 (SIEMENS NX7.5).....	62
OBR. 30. OPERACE NAČISTO BOK2 PODSTAVEC1 (SIEMENS NX7.5).....	62
OBR. 31. OPERACE NAČISTO BOK3 PODSTAVEC1 (SIEMENS NX7.5).....	63
OBR. 32. OPERACE NAČISTO BOK4 PODSTAVEC1 (SIEMENS NX7.5).....	63
OBR. 33. OPERACE NAČISTO BOK5 PODSTAVEC1 (SIEMENS NX7.5).....	64
OBR. 34. OPERACE NAČISTO BOK6 PODSTAVEC1 (SIEMENS NX7.5).....	64
OBR. 35. OPERACE NAČISTO TVAR2 PODSTAVEC1 (SIEMENS NX7.5)	65
OBR. 36. OPERACE NAČISTO TVAR3 PODSTAVEC1 (SIEMENS NX7.5)	65
OBR. 37. STROJNÍ ČASY VYTVOŘENÝCH OPERACÍ CAM MODULU PODSTAVEC1(SIEMENS NX7.5).....	66
OBR. 38. VERIFIKACE OBROBKU PO SIMULACI VŠECH VYTVOŘENÝCH OPERACÍ CAM MODULU PODSATVEC1 (SIEMENS NX7.5)	67
OBR. 39. POLOHA NULOVÉHO BODU A VYBRANÉ GEOMETRIE CAM MODULU VRTULE1 (SIEMENS NX7.5).....	68
OBR. 40. OPERACE HRUBOVÁNÍ TVARU VRTULE1 (SIEMENS NX7.5).....	70
OBR. 41. OPERACE HRUBOVÁNÍ ZADNÍ ČÁSTI LOPATKY VRTULE1 (SIEMENS NX7.5)	71
OBR. 42. OPERACE HRUBOVÁNÍ ZADNÍ ČÁSTI LOPATKY1 A 2 VRTULE1 (SIEMENS NX7.5)	71
OBR. 43. OPERACE NAČISTO HORNÍ ČÁST NÁBOJE VRTULE1 (SIEMENS NX7.5).....	72
OBR. 44. OPERACE NAČISTO ZADNÍ ČÁST LOPATKY VRTULE1 (SIEMENS NX7.5).....	73
OBR. 45. OPERACE NAČISTO ZADNÍ ČÁST LOPATKY1 A 2 VRTULE1 (SIEMENS NX7.5)	73
OBR. 46. OPERACE NAČISTO PŘEDNÍ ČÁST LOPATKY VRTULE1 (SIEMENS NX7.5).....	74
OBR. 47. OPERACE NAČISTO PŘEDNÍ ČÁST LOPATKY1 A 2 VRTULE1 (SIEMENS NX7.5)	74
OBR. 48. OPERACE NAČISTO ČÁST NÁBOJE VRTULE1 (SIEMENS NX7.5).....	75
OBR. 49. OPERACE NAČISTO ČÁST NÁBOJE1 A 2 VRTULE1 (SIEMENS NX7.5).....	75
OBR. 50. STROJNÍ ČASY VYTVOŘENÝCH OPERACÍ CAM MODULU VRTULE1 (SIEMENS NX7.5)	76
OBR. 51. VERIFIKACE OBROBKU PO SIMULACI VŠECH VYTVOŘENÝCH OPERACÍ CAM MODULU VRTULE1 (SIEMENS NX7.5).....	76
OBR. 52. POLOHA NULOVÉHO BODU PODSTAVEC1 (SOLIDCAM R10)	77
OBR. 53. OPERACE HRUBOVÁNÍ TVARU PODSTAVEC1 (SOLIDCAM R10)	78

OBR. 54. OPERACE NAČISTO ZAROVNÁNÍ PODSTAVEC1 (SOLIDCAM R10).....	78
OBR. 55. OPERACE HRUBOVÁNÍ TVAR1 PODSTAVEC1 (SOLIDCAM R10)	79
OBR. 56. OPERACE NAČISTO TVAR1 PODSTAVEC1 (SOLIDCAM R10).....	80
OBR. 57. OPERACE NAČISTO BOK1 AŽ 6 PODSTAVEC1 (SOLIDCAM R10).....	81
OBR. 58. OPERACE NAČISTO TVAR2 PODSTAVEC1 (SOLIDCAM R10).....	81
OBR. 59. OPERACE NAČISTO TVAR3 PODSTAVEC1 (SOLIDCAM R10).....	82
OBR. 60. VERIFIKACE OBROBKU PO SIMULACI VŠECH VYTVOŘENÝCH OPERACÍ CAM MODULU PODSTAVEC1 (SOLIDCAM R10).....	84
OBR. 61. STROJNÍ SIMULACE CAM MODULU PODSTAVEC1 (SOLIDCAM R10)	84
OBR. 62. POLOHA NULOVÉHO BODU VRTULE1(SOLIDCAM R10)	85
OBR. 63. OPERACE HRUBOVÁNÍ TVARU VRTULE1 (SOLIDCAM R10)	86
OBR. 64. OPERACE HRUBOVÁNÍ ZADNÍ ČÁSTI LOPATKY VRTULE1 (SOLIDCAM R10)	87
OBR. 65. OPERACE HRUBOVÁNÍ ZADNÍ ČÁSTI LOPATKY1 A 2 VRTULE1 (SOLIDCAM R10).....	87
OBR. 66. OPERACE NAČISTO HORNÍ ČÁST NÁBOJE VRTULE1 (SOLIDCAM R10)	88
OBR. 67. OPERACE NAČISTO ZADNÍ ČÁST LOPATKY, LOPATKY1 A 2 VRTULE1 (SOLIDCAM R10)	89
OBR. 68. OPERACE NAČISTO PŘEDNÍ ČÁST LOPATKY, LOPATKY1 A 2 VRTULE1 (SOLIDCAM R10)	90
OBR. 69. OPERACE NAČISTO ČÁST NÁBOJE, NÁBOJE1 A 2 VRTULE1 (SOLIDCAM R10).....	91
OBR. 70. VERIFIKACE OBROBKU PO SIMULACI VŠECH VYTVOŘENÝCH OPERACÍ CAM MODULU VRTULE1 (SOLIDCAM R10)	92
OBR. 71. STROJNÍ SIMULACE CAM MODULU VRTULE1 (SOLIDCAM R10).....	93
OBR. 72. CNC 5TIOSÉ OBRÁBĚCÍ CENTRUM FC 3800 MACH OD FIRMY SAHOS [12].....	94
OBR. 73. VÝROBNÍ ŠTÍTEK STROJE FC 3800 MACH.....	94
OBR. 74. AUTOMATICKÉ ŘÍZENÍ STROJE	95
OBR. 75. VÁLCOVÁ FRÉZA ČELNÍ D20 TABULKOVÉ OZNAČENÍ T250.....	95
OBR. 76. KULOVÁ FRÉZA D20 R10 TABULKOVÉ OZNAČENÍ T375.....	95
OBR. 77. KULOVÁ FRÉZA D12 R6 TABULKOVÁ HODNOTA T360.....	96
OBR. 78. OPERACE HRUBOVÁNÍ TVARU PODSTAVEC1	96
OBR. 79. OPERACE NAČISTO ZAROVNÁNÍ PODSTAVEC1	96
OBR. 80. OPERACE HRUBOVÁNÍ TVAR1 PODSTAVEC1	97
OBR. 81. OPERACE NAČISTO TVAR1	97

OBR. 82. OPERACE NAČISTO BOK1 AŽ 6 PODSTAVEC1	97
OBR. 83. OPERACE NAČISTO TVAR2 PODSTAVEC1	98
OBR. 84. OPERACE NAČISTO TVAR3 PODSTAVEC1	98
OBR. 85. OPERACE HRUBOVÁNÍ TVARU VRTULE1	99
OBR. 86. OPERACE HRUBOVÁNÍ ZADNÍ ČÁSTI LOPATKY VRTULE1	99
OBR. 87. OPERACE NAČISTO HORNÍ ČÁST NÁBOJE VRTULE1	99
OBR. 88. OPERACE NAČISTO ZADNÍ ČÁST LOPATKY VRTULE1	100
OBR. 89. OPERACE NAČISTO PŘEDNÍ ČÁST LOPATKY VRTULE1	100

SEZNAM TABULEK

Tab. 1. Dosažitelné přesnosti v závislosti na způsobu frézování.....	19
Tab. 2. Přehled značení jednotlivých os	26
Tab. 3. Obecný příklad složení programu.....	35
Tab. 4. Význam nejpoužívanějších adres.	36
Tab. 5. Použití nejdůležitějších funkcí G a M	37
Tab. 6. Tabulka s funkcí G určená pracovním rovinám.	39
Tab. 7. Možnosti obrábění [3].....	41
Tab. 8. Strategie obrábění ploch [3].....	42
Tab. 9. Úpravy drah nástroje a kolize v programech CAD/CAM [3].....	45
Tab. 10. Seznam vytvořených CAD modelů	53
Tab. 11. Rozdělení CAD modelů pro tvorbu CAM modulů v softwarech.....	56
Tab. 12. Seznam použitých nástrojů (fréz) a operací pro CAM modul podstavec1	57
Tab. 13. Seznam sledu operací pro CAM modul Podstavec1.....	58
Tab. 14. Seznam použitých nástrojů (fréz) a operací pro CAM modul Vrtule1.....	68
Tab. 15. Seznam sledu operací pro CAM modul Vrtule1.....	69
Tab. 16. Strojní časy vytvořených operací CAM modulu Podstavec1 (SolidCAM R10) ...	82
Tab. 17. Strojní časy vytvořených operací CAM modulu Vrtule1 (SolidCAM R10)	91
Tab. 18. Porovnání výrobních časů pro CAD model Vrtule1.....	102

SEZNAM PŘÍLOH

Adresář na DVD nosiči:

CAD modely

CAD moduly Siemens NX7_5

CAD moduly SolidCAM_R10

Pomocné_soubory