

Programování součásti v programu NX pomocí operací Mill Contour

Bc. Jiří Páč

Diplomová práce
2014



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická
Ústav výrobního inženýrství
akademický rok: 2013/2014

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Jiří Páč**
Osobní číslo: **T12445**
Studijní program: **N3909 Procesní inženýrství**
Studijní obor: **Konstrukce technologických zařízení**
Forma studia: **prezenční**

Téma práce: **Programování součástí v programu NX pomocí operací Mill Contour**

Zásady pro vypracování:

Literární rešerše na dané téma
Modelování součástí za pomoci CAD
Naprogramování součástí v programu NX za pomoci operací Mill Contour
Výroba součástí na tříosé frézce
Vytvoření manuálu pro programování součástí operacemi Mill Contour pro frézku HWT C-442

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. ISBN 978-80-7044-870-0.

SMID, P. CNC programming handbook: a comprehensive guide to practical CNC programming. 3rd ed. New York, NY: Industrial Press, 2008, 540 p. ISBN 978-0-8311-3347-4.

RAO, R. N. CAD/CAM: Principles and Applications. Tata McGraw-Hill Publishing Company Limited. 2006, 253 p., ISBN 0-07-0583-73-0.

ADITHAN, M., PABLA, M. CNC Machines. 2nd ed. New Delhi: New Age International Publishers, 2011, XI, 127 p. ISBN 81-224-2019-2.

MAREK, J. Konstrukce CNC obráběcích strojů. Praha: MM Publishing, 2010. 420 s. ISBN 978-80-254-7980-3.

Vedoucí diplomové práce:

Ing. Ondřej Bílek, Ph.D.

Ústav výrobního inženýrství

Datum zadání diplomové práce:

10. února 2014

Termín odevzdání diplomové práce:

12. května 2014

Ve Zlíně dne 10. února 2014


doc. Ing. Roman Čermák, Ph.D.
děkan




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

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že

- beru na vědomí, že odevzdáním diplomové/bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby¹⁾;
- 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. 3²⁾;
- beru na vědomí, že podle § 60³⁾ 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 § 60³⁾ odst. 2 a 3 mohu užít své dílo – diplomovou/bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování diplomové/bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tedy pouze k nekomerčnímu využití), nelze výsledky diplomové/bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem diplomové/bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Ve Zlíně

.....

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

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

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

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

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 výtěžku jím dosaženého v souvislosti s užitím díla či poskytnutím licence podle odstavce 2 přiměřeně přispěl na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložily, a to podle okolností až do jejich skutečné výše; přitom se přihlédne k výši výtěžku dosaženého školou nebo školským či vzdělávacím zařízením z užití školního díla podle odstavce 1.

ABSTRAKT

Diplomová práce se zabývá CNC obráběcími stroji a jejich rozdělením podle počtu souvisle řízených os, seznámením se základními způsoby tvorby CNC programu ať již ručním programováním či stále rozšířenějším strojním programováním pomocí CAM systémů. Poslední část je věnována přehledu a možnostem dostupných softwarů na trhu k tvorbě CNC programů.

Praktická část řeší návrh a tvorbu 3D modelu, naprogramování řezných drah nástrojů pomocí skupiny příkazů a samotnou výrobu modelu na CNC frézce. Výstupem této práce je vytvořený manuál pro programování součásti pomocí daných operací, který bude sloužit jako příklad postupu pro začínající programátory.

Klíčová slova: CAD/CAM, programování, frézování, manuál.

ABSTRACT

This diploma thesis deals with CNC machine tools and their division by continuously controlled axes, it introduces the basic ways of creating CNC program be it manually programming or by more widespread machine programming using CAM systems. The last part is devoted to an overview and to the options of available software for the program creation on the market.

The practical part deals with the design and the creation of 3D model, the programming of the cutting tool paths using a group of commands and the production of a model on the CNC milling machine itself. The outcome of this work is to create a manual for component programming using the given operations, which will serve as an example of the procedure for beginning programmers.

Keywords: CAD / CAM, programming, milling, manual.

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

Děkuji vedoucímu své diplomové práce Ing. Ondřeji Bílkovi, Ph.D. za odborné vedení práce, poskytování rad a materiálových podkladů k práci.

OBSAH

ÚVOD	12
I TEORETICKÁ ČÁST	13
1 CNC OBRÁBĚCÍ STROJE	14
1.1 TYP A VELIKOST STROJE	14
1.1 ŘÍDICÍ SYSTÉM CNC STROJE	14
1.1.1 Geometrie pohybu	15
1.2 IDENTIFIKACE OS V CNC STROJÍCH	15
1.2.1 Rotační osy	16
1.3 POČET ŘÍZENÝCH OS	17
1.3.1 Dvouosé CNC stroje	17
1.3.2 Dvouapůlosé CNC stroje.....	18
1.3.3 Třiosé CNC stroje	18
1.3.4 Čtyřosé CNC stroje	19
1.3.5 Pětiosé CNC stroje	20
1.3.6 Víceosé CNC stroje.....	20
2 PROGRAMOVÁNÍ CNC STROJŮ	21
2.1 RUČNÍ PROGRAMOVÁNÍ.....	21
2.1.1 Nevýhody ručního programování.....	22
2.1.2 Výhody ručního programování.....	22
2.1.3 Budoucnost ručního programování	22
2.2 DÍLENSKÉ PROGRAMOVÁNÍ	23
2.2.1 Výhody dílenského programování	23
2.3 POČÍTAČEM PODPOROVANÉ PROGRAMOVÁNÍ	24
2.4 PLÁNOVÁNÍ PROGRAMU	25
2.5 TYPICKÝ POSTUP PROGRAMOVÁNÍ.....	26
3 DOSTUPNÉ CAM PROCESORY	28
3.1 NX CAM	28
3.2 EDGE CAM.....	28
3.3 DELCAM	29
3.3.1 FeatureCAM.....	29
3.3.2 PowerMILL	29
3.3.3 Delcam for SolidWorks.....	29

3.4	BOBCAD-CAM.....	29
3.5	MASTERCAM	30
3.6	SOLIDCAM	30
3.7	GIBBSCAM (CIMATRON GROUP).....	30
3.8	CIMATRONE	31
3.9	CAMWORKS.....	31
3.10	AUTODESK INVENTOR HSM.....	31
3.11	HSMWORKS	31
3.12	ENROUTE	32
3.13	ALPHACAM.....	32
3.14	SURFCAM	32
3.15	RHINOCAM	33
3.16	SPRUTCAM	33
3.17	SMARTCAM	33
3.18	ESPRIT	33
3.19	CAMBAM	34
3.20	MESHCAM	34
3.21	HYPERMILL CAM	34
3.22	DOLPHIN CAD/CAM	35
3.23	VISICAD/CAM.....	35
3.24	ALIBRECAM.....	35
3.25	VISUALMILLFORSOLIDWORKS	35
3.26	PTC CREOCOMPLETEMACHININGEXTENSION	35
3.27	GO2CAM.....	36
3.28	TOPSOLID CAM	36
3.29	WORKNC.....	36
3.30	ALMACAM.....	37
3.31	CATIA MANUFACTURING.....	37
3.32	KOVOPROG.....	37
3.33	PEPS.....	38
3.34	MIKROPROG	38
3.35	G - SIMPLE.....	38
3.36	FREEMILL	38
3.37	HEEKSCNC	38
3.38	CNC CODE MAKER.....	39

3.39	LINUXCNC	39
3.40	AUTODESK CAM 360.....	39
3.41	ROPECAM	39
3.42	INVENTORCAM	39
4	SHRNUTÍ A CÍLE DIPLOMOVÉ PRÁCE	40
II	PRAKTICKÁ ČÁST	41
5	TVORBA 3D MODELU SOUČÁSTI.....	42
6	POSTUP PRO PROGRAMOVÁNÍ SOUČÁSTI V NX	44
6.1	POPIS POUŽÍVANÝCH OPERACÍ V MILL CONTOUR	44
6.2	VYTVORENÍ NOVÉHO PROJEKTU	46
6.3	NASTAVENÍ SOUŘADNÉHO SYSTÉMU A GEOMETRIE SOUČÁSTI.....	48
6.4	TVORBA NOVÉHO NÁSTROJE.....	49
6.5	PROGRAMOVÁNÍ SOUČÁSTI	51
6.5.1	Hrubování.....	51
6.5.2	Dohrubování.....	54
6.5.3	Předdokončení.....	56
6.5.4	Dokončení strmých stěn	59
6.5.5	Dokončení čelních ploch.....	62
6.5.6	Dokončení lopatek.....	64
6.5.7	Dokončení rádiů	67
6.5.8	Gravírování.....	70
6.6	VERIFIKACE VYTVORENÉHO PROGRAMU	74
6.6.1	3D Dynamic	75
6.6.2	2D Dynamic	76
6.7	SLOVNÍK POUŽITÝCH POJMŮ	77
7	PROGRAMOVÁNÍ VYRÁBĚNÉ SOUČÁSTI.....	81
7.1	PROGRAMOVÁNÍ POLOTOVARU	81
7.2	PROGRAMOVÁNÍ SOUČÁSTI	81
7.2.1	Hrubování součásti.....	81
7.2.2	Dohrubování součásti.....	82
7.2.3	Předdokončení součásti.....	83
7.2.4	Dokončení součásti	83
7.2.5	Gravírování součásti.....	84
8	VÝROBA SOUČÁSTI	86

8.1	TECHNICKÉ PARAMETRY CNC FRÉZKY HWT C-442.....	86
8.2	POUŽITÝ MATERIÁL	87
8.3	POUŽITÉ NÁSTROJE.....	87
8.4	VÝROBA POLOTOVARU	88
8.5	VÝROBA SOUČÁSTI.....	89
9	NÁVRH ELEKTRODY	94
9.1	PROGRAMOVÁNÍ ELEKTRODY	95
	ZÁVĚR	96
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	97
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	101
	SEZNAM OBRÁZKŮ	102
	SEZNAM TABULEK.....	105
	SEZNAM PŘÍLOH.....	106

ÚVOD

Postupem času se staly CNC stroje nenahraditelnou součástí dnešního průmyslu, a to v oblasti strojní, plastikářské, automobilové, letecké pro výrobu tvarových součástek, forem, zápusťek, lisovacího nářadí atd. Z toho důvodu je nutná dobrá znalost CAD/CAM systémů pro vytváření bezchybných a bezpečných programů pro požadované aplikace. Proto je dobré věnovat pozornost jejich tvorbě a lidem, kteří se na jejich vzniku nemalým dílem podílejí. Nestačí pouze vytvořit program, který nějakým způsobem obrobí výrobek na požadované rozměry. Důležitou roli hraje čas potřebný na obrobení, náklady na výrobu, množství použitých nástrojů, tedy ekonomika výroby, která je znakem konkurenceschopnosti firmy na trhu práce. A ukazatelem pro potencionální zákazníky při výběru vyhotovitele dané zakázky.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 CNC OBRÁBĚCÍ STROJE

V případě CNC obráběcích strojů vyhrazený počítač provádí všechny základní NC funkce. Kompletní část programu k výrobě dílu je vložena a uložena v počítačové paměti a informace pro každou operaci je přiváděna do obráběcího stroje. Program může být uložen v paměti počítače a v budoucnu znovu použit. V dnešní době není mnoho konvenčních NC obráběcích strojů. CNC stroje jsou ve velké míře používány díky mnoha novým dostupným ovládacím funkcím na těchto strojích. [4]

Další dostupné vlastnosti CNC strojů jsou:

- Program může být vložen prostřednictvím klávesnice nebo datového média.
- Program vložený do paměti počítače může být používán znova a znova.
- Na obráběcím stroji může být program samostatně upraven a optimalizován. Pokud nastane změna dílu, může být program změněn podle požadavků. [4]

1.1 Typ a velikost stroje

Pravděpodobně dva nejdůležitější parametry v plánování programu se týkají typu a velikosti CNC stroje, konkrétně je to pracovní prostor nebo pracovní plocha. Ostatní stejně důležité vlastnosti jsou jmenovitý výkon stroje, otáčky vřetene a rozsah posuvu, velikost zásobníku nástrojů, systém výměny nástroje, dostupné příslušenství atd. Obvykle malé CNC stroje mají vyšší otáčky vřetena a nižší výkon. Velké stroje mají dostupné nižší otáčky vřetena, ale jejich výkon je vyšší. [3]

1.1 Řídicí systém CNC stroje

Řídicí systém je srdcem CNC stroje. Je třeba seznámit se všemi dostupnými standardními a volitelnými řídicími funkcemi. Tato znalost umožňuje používat různé rozšířené programovací metody, jako jsou různé obráběcí cykly, podprogramy, makra a ostatní úspory času z moderního CNC systému. [3]

CNC stroje mají zařízení, které ověřuje aktuální průběh programu při jeho spuštění na stroji. Procesy řídicího systému v programu a pohyb řezného nástroje v každé operaci jsou zobrazeny na obrazovce. Plochy součástí, které budou vyrobeny až po obrábění, jsou zobrazeny na obrazovce jako neobrobené. [4]

CNC řízení umožňuje kompenzaci pro jakoukoliv změnu rozměru řezného nástroje. Když programátor napíše program má na mysli konkrétní typ a velikost nástroje. Ale pokud pro aktuálně používaný program není dostupný konkrétní nástroj, řídicí systém umožňuje kompenzaci mezi naprogramovaným nástrojem a právě používaným. [4]

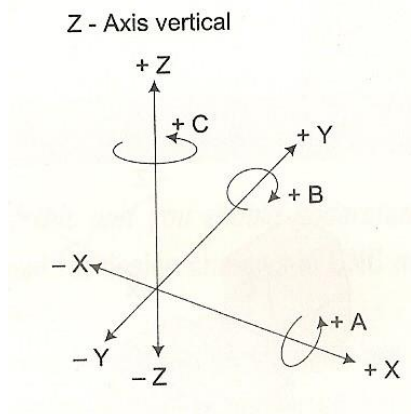
S řídicím systémem je možné získat informace o využití stroje, které jsou užitečné pro vedení. Řídicí systém může poskytnout informace jako je počet vyrobených dílů, čas na díl, čas potřebný pro nastavení práce, pracovní čas nástroje, čas, po který stroj nepracoval, diagnostiku závad atd. [4]

1.1.1 Geometrie pohybu

Výpočet a řízení trajektorie je jednou z nejdůležitějších úloh CNC řídicího systému. Tím je zajišťován relativní pohyb po trajektorii, která zaručí výrobu obrobku požadovaného tvaru a kvality. Nejjednodušším řízeným pohybem je polohování – nástroj nebo obrobek je po libovolné dráze nastaven do zadaného bodu, využívá se rychloposuvu. Při obrábění kontur se využívají lineární a kruhové interpolace, jejich složením vzniká výsledná dráha. Složením dvou pravoúhlých pohybů je umožněn pohyb po skloněné přímce o určitý úhel. Nejmodernější systémy umožňují interpolaci drah pomocí křivek, které jsou popsány polynomy třetího řádu (spline). [6]

1.2 Identifikace os v CNC strojích

Většina strojů má dvě nebo více kluzných vedení navzájem nakloněných o pravý úhel. Každá posuvová osa může být vybavena řídicím systémem a pro zadávání příkazů řídicímu systému jsou osy označeny. Základní označení os je trojrozměrný kartézský souřadný systém s označením os X, Y, Z. Rotační pohyby k osám X, Y a Z jsou příslušně označeny A, B a C. [4]



Obr. 1. Normální souřadný systém [4]

Hlavní pohyb v osách a směr pohybu podél těchto os je označen následovně:

Osa Z

Pohyb v ose Z je vždy stejný s osu hlavního vřetene. Pokud je na stroji více vřeten, je jedno z nich vybráno jako hlavní a jeho osa je považována za osu Z. Na vertikálních obráběcích centrech je osa Z svislá a na horizontálních obráběcích centrech a soustružích je osa Z vodorovná. Kladný pohyb v ose Z (+Z) je ve směru zvyšující se vzdálenosti mezi obrobkem a nástrojem. Sjednání osy Z platí pro frézovací, vrtací a soustružnické stroje. [4]

Osa X

Osa X je vždy vodorovná a je vždy rovnoběžná s plochou upínače nástrojů. Pokud je osa Z svislá jako u vertikálních frézek, kladný pohyb v ose X (+ X) je, když se díváme od vřetena směrem k nosnému sloupci. Pokud je osa Z vodorovná jako u soustružnických center, kladný pohyb v ose X je, když se podíváme od vřetena směrem k obrobku. [4]

Osa Y

Osa Y je vždy kolmá na obě osy X a Z. Kladný pohyb v ose Y (+Y) je vždy takový, aby byl kompletní standardní trojrozměrný souřadný systém. [4]

1.2.1 Rotační osy

Rotační pohyby os X, Y a Z jsou příslušně označeny A, B, C. Pokud nastane rotace ve směru hodinových ručiček, pohyb je považován za kladný, a pokud nastane rotace proti směru

hodinových ručiček, pohyb je považován za záporný. Kladná rotace je brána při pohledu ve směrech + X, + Y a + Z. [4]

1.3 Počet řízených os

Přechod z pravoúhlého řízení na souvislý způsob řízení umožnil zvýšení počtu řízených os. Tohle řízení zároveň umožnilo i dosažení lepších technologických výsledků především při opracování tvarových prostorových ploch. [2]

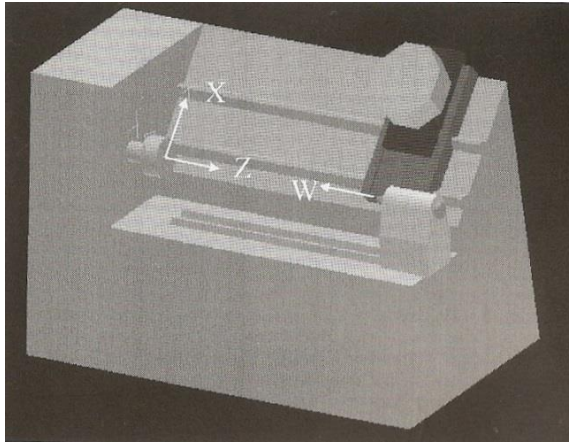
Podle počtu řízených os můžeme CNC stroje rozdělit na stroje:

- dvouosé,
- dvaapůlosé,
- tříosé,
- čtyřosé,
- pětiosé,
- víceosé.

1.3.1 Dvouosé CNC stroje

Dvouosé řízení umožňuje řídit souvisle dvě souřadné osy v jedné pracovní rovině. Dále řídí parametry technologického procesu, jako jsou posuvy (F), otáčky (S), volba nástroje (T) atd. Může být přidána přídatná osa, která se však programuje zvlášť. Nástroj se pohybuje v rovině mezi dvěma definovanými body po přímkové nebo kruhové dráze.

Tento způsob řízení nástroje umožňuje obrábění rovinných prvků pomocí následujících technologií: soustružení, vrtání, závitování atd. [2]



Obr. 2. Schéma dvouose řízeného CNC stroje [2]

1.3.2 Dvouapůlosé CNC stroje

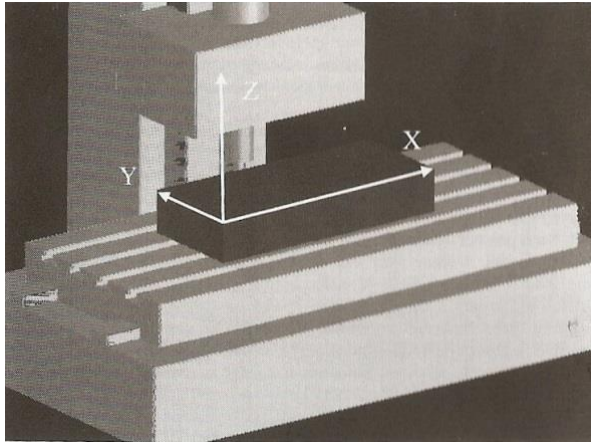
Dvaapůlosé řízení umožňuje řídit souvisle dvě souřadné osy v různých pracovních rovinách a třetí osu v dalším bloku. Dále pak parametry technologického procesu jako jsou posuvy (F), otáčky (S), volba nástroje (T) atd.. Nástroj se pohybuje v rovině mezi dvěma definovanými body po přímkové a kruhové dráze.

Tento způsob řízení nástroje umožňuje obrábění rovinných tvarů pomocí následujících technologií: frézování rovinných tvarů, vrtání, závitování atd. Používá se pouze u jednodušších NC strojů. [2]

1.3.3 Tříosé CNC stroje

Tříosé řízení umožňuje řídit souvisle tři osy souřadného systému X, Y, Z. Dále pak parametry technologického procesu jako jsou posuvy (F), otáčky (S), volba nástroje (T) atd. Nástroj se pohybuje v prostoru mezi dvěma definovanými body po přímkové, kruhové, spirálové dráze.

Tento způsob řízení nástroje umožňuje obrábění prostorových tvarů v následujících technologiích: vrtání, závitování, frézování rovinných a prostorových tvarů. [2]

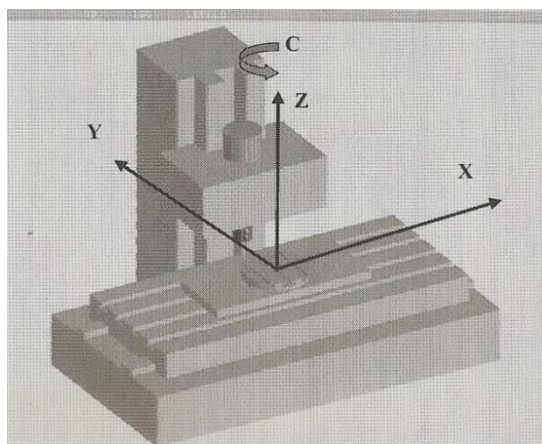


Obr. 3. Schéma tříose řízeného CNC stroje [2]

1.3.4 Čtyřosé CNC stroje

Čtyřosé řízení umožňuje řídit souvisle tři souřadné osy X, Y, Z a natočení obrobku (naklonění kolem osy Z). Místo naklonění nástroje je možné instalovat pomocný otočný stůl se svislou osou rotace. Mimo tyto osy jsou řízeny parametry technologického procesu, jako jsou posuvy (F), otáčky (S), volba nástroje (T) atd. Nástroj se pohybuje v prostoru mezi dvěma definovanými body např. po přímkové, kruhové, spirálové, aj. dráze.

Tento způsob řízení nástroje umožňuje obrábění prostorových tvarů v následujících technologiích: vrtání, závitování, frézování rovinných a prostorových tvarů. [2]

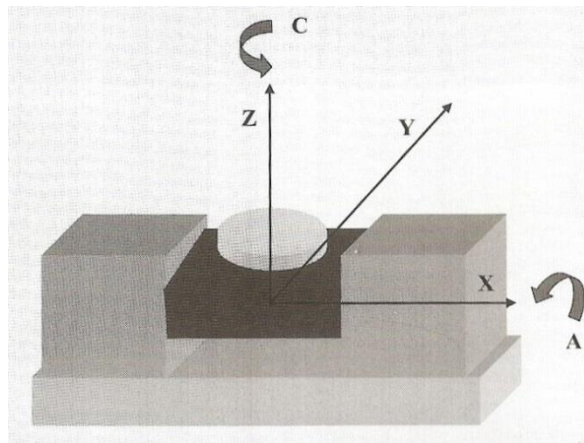


Obr. 4. Schéma čtyřose řízeného CNC stroje [2]

1.3.5 Pětiosé CNC stroje

Pětiosé řízení umožňuje řídit souvisle tři osy X, Y, Z a naklonění nástroje souřadnicemi podle dvou rotačních os např.: X v souřadnicích A, B nebo místo naklonění nástroje může být instalovaný pomocný otočný stůl s dvěma rotačními osami. Mimo tyto osy jsou řízeny parametry technologického procesu, jako jsou posuvy (F), otáčky (S), volba nástroje (T) atd. Nástroj se pohybuje v prostoru mezi dvěma definovanými body např. po přímkové, kruhové, spirálové aj. dráze.

Tento způsob řízení nástroje umožňuje obrábění prostorových tvarů z pěti stran objektu pomocí následujících technologií: vrtání, závitování, frézování rovinných a prostorových tvarů. [2]



Obr. 5. Schéma pětiosé řízeného CNC stroje
[2]

1.3.6 Víceosé CNC stroje

Víceosé řízení umožňuje řídit souvisle požadovaný počet souřadných os – např.: speciální obráběcí centra nebo speciální CNC frézky pro specifické technologické operace – opracování klikových hřídelí. [2]

2 PROGRAMOVÁNÍ CNC STROJŮ

Struktura programu je mezinárodně normalizována. Program se skládá z instrukcí. Instrukce je složena z jednotlivých slov, které obsahují geometrické, technologické nebo programově technické informace. [6]

Skladba instrukce:

Číslo instrukce N (Number)

Druh pohybu G - rychloposuv, kruhová interpolace apod.

Souřadnice cílového bodu

Rychlost posuvu F (Feed)

Otáčky vřetena S (Spindle speed)

Číslo nástroje T (Tool)

Z hlediska tvorby programu můžeme programování rozdělit na:

- Ruční programování
- Dílenské programování (SFP – Shop Floor Programming)
- Strojní programování – pomocí CAM systému [6]

2.1 Ruční programování

Ruční programování bylo po mnoho let nejčastější metodou pro tvorbu programu. Nejnovější CNC řízení činí manuální programování mnohem jednodušší než kdykoliv předtím použitím pevných nebo opakujících se obráběcích cyklů, proměnlivým typem programování, grafickou simulací pohybu nástroje, standardním matematickým vstupem a ostatními funkcemi úspory času. V ručním programování se všechny výpočty provádí ručně s použitím kapesní kalkulačky – není použito počítačové programování. Naprogramovaná data mohou být přenesena do CNC strojů pomocí paměťové karty nebo přes kabel, použitím levného stolního nebo přenosného počítače. Proces je rychlejší a více spolehlivější než ostatní způsoby. Krátké programy mohou být také zadány ručně pomocí klávesnice přímo na stroji. V minulosti byla běžně používaným přenosným médiem děrná páska, ale prakticky zmizela z obchodů. [3]

2.1.1 Nevýhody ručního programování

Snad nejčastější nevýhodou je doba potřebná na skutečný rozvoj plně funkčního CNC programu. Manuální výpočet, verifikace a ostatní činnosti související s manuálním programováním jsou velmi časově náročné. Velmi vysoko na seznamu nevýhod je také velké procento chyb, obtížnost při změnách programu, nedostatek verifikace dráhy nástroje a mnoho dalšího. [3]

2.1.2 Výhody ručního programování

Manuální programování má docela pár bezkonkurenčních kvalit. Manuální programování je tak intenzivní, že vyžaduje celkové zapojení CNC programátora a ještě nabízí prakticky neomezenou svobodu v aktuálním rozvoji. Učí pevně disciplíně a organizaci v tvorbě programu. Je silou programátora k pochopení programovací techniky do úplně posledního detailu. Ve skutečnosti mnoho užitečných dovedností naučených v manuálním programování je přímo použito v CAD/CAM programování. Programátor po celou dobu ví, co se děje a proč se tak děje. Během vývoje programu je velmi důležité důkladné porozumění každému detailu. [3]

V rozporu s mnoha přesvědčeními je důkladná znalost metod manuálního programování naprosto nezbytná pro efektivní řízení.

Ruční tvorba programu je definování jednoduchých činností nebo jejich skupin. Tyto činnosti nebo jejich skupiny jsou popsány pomocí ISO kódu v NC programu a tvoří blok programu, program, podprogram nebo cyklus. Vhodnou kombinací těchto částí vzniká optimální NC program. [3]

2.1.3 Budoucnost ručního programování

Může se zdát, že manuální programování zažívá úpadek. Díky podmínkám využití je to částečně pravda. Nicméně je nezbytně nutné ho udržet perspektivní, neboť každá počítačová technologie je založena metodách manuálního programování. Manuální programování pro CNC slouží jako podklad pro nové technologie – je to základ, na kterém je počítačové programování založeno. Tato základní znalost otevírá dveře pro vývoj výkonnějších hardwarů a softwarových aplikací.

Dnes může být manuální programování použito poněkud méně často, ale víme dobře, že je a bude klíčem k výkonnému CAM softwaru. Ani počítače však nedokáží udělat všechno. Bez ohledu na cenu budou vždy nějaké speciální projekty, kde nebude k dispozici CAM software, a budeme se muset spokojit s ručním programováním. Pokud řídicí systém stroje umí zvládnout manuální programování, kdy ostatní metody nemusí být vhodné a praktické, budeme mít dokonalé řízení. [3]

2.2 Dílenské programování

Postupem doby a vývojem techniky se v některých případech přenáší programování do dílny. Kvalifikovaná obsluha v překrytém čase, kdy koná pasivní dozor u CNC stroje, který obrábí, využívá čas a připravuje si program pro další vyráběnou součást. Zde je jednotnost programování v dílně s externím programátorským pracovištěm. Programuje se při využití grafické podpory tak, že lze přímo vidět simulaci obrábění. Při napojení na počítačovou síť je možné přebírat výkresy ze systému CAD včetně externě vyhotovených programů. [1]

Společnosti s CNC obráběcími stroji a CAM softwarem mají rozdílné cesty k vytvoření programu pro jejich stroje.

Jedna cesta je neprogramovat, ale raději spouštět programy poskytované zákazníkem. Zatím co tato metoda může šetřit peníze za nákup CAM softwaru, může být také hodně riskantní, když zvažíte bezpečnost stroje a nástrojů. Bez CAM systému nebo nějakých jiných softwarů pro zobrazení CNC souborů a jejich jednoduchou úpravu, důvěřujete programování někomu, kdo neví, jaké jsou bezpečné operace na vašem obráběcím stroji. [45]

Kromě toho může být strojní čas značný, pokud máte namontovaný díl na stroji, ale čekáte, než třetí strana dokončí program na daný díl nebo jeho úpravy.

Pro firmy, které investují do CAM softwaru, je typické programovat mimo dílnu v oddělené programátorské místnosti. Alternativou je naprogramovat CNC sadou CAM programů přímo na dílně.

V dílenském programování má vedle stroje operátor CNC prostor pro CAM software a může zde vytvořit potřebné řezné dráhy nástroje. [45]

2.2.1 Výhody dílenského programování

Dílenské programování má mnoho výhod, například:

Operátor může přesně programovat součást, jak on chce, bez stížností na programátora součásti. Eliminuje mnoho přerušení a prostojů v případě konzultace s programátorem nebo vytváření úprav v oddělené programátorské místnosti.

Umožňuje užší načasování mezi součásti a obráběcí operací. Mnoho součástí zvláště vyráběných na zakázku obsahují hodně vzhledových a technických změn. Takový programátor může současně programovat další součást, zatímco se aktuální součást obrábí. Pokud byly řezné dráhy vytvořeny s dostatečným předstihem v programovací místnosti, bude z důvodu technických změn nutné přepočítat vyšší procento z nich.

Dílenský programátor ví, které nástroje jsou dostupné a které jsou nedostatkovým zbožím. Existuje jen málo věcí horších než programování několika řezných drah na součásti, jen abyste zjistili, že jste mimo konkrétní velikost nástroje. Zvláště pokud jsou pozdější řezné dráhy závislé na předchozích. [45]

2.3 Počítačem podporované programování

Ruční programování je časově náročné a potřebuje zkušeného programátora, který by měl mít znalosti přes obrábění, materiál, rychlosti a posuvy, programovací jazyky a možnosti různých obráběcích strojů atd. Ruční programování je práce orientovaná na úkoly a potřebuje zkušenosti programátora. Pokud je osoba expertem v programování jednoho stroje, nemusí být schopný programovat ostatní stroje. Protože formát nebo typ informace požadovaný pro dva stroje může být rozdílný. S moderními NC/CNC stroji, kde jsou řízeny více než tři osy, nemusí být možné vyvíjet programy pomocí manuálního programování.

Všechny tyto problémy byly překonány a programování bylo značně zjednodušeno s použitím počítačové podpory programování, kde počítač generuje program požadovaný pro stroj na danou součást. Proces generování programu je částečně zhotoven programátorem a částečně počítačem. [4]

Práce programátora v počítačem podporovaném programování je nejprve definování geometrie součásti. Geometrie nebo plocha součásti je rozdělena na jednoduché prvky, jako jsou body, úsečky, oblouky, plné kružnice, vzdálenosti a směry. Těmto prvkům jsou přidělena specifická čísla pro identifikaci jejich pozice. Geometrie prvků součásti je definována pomocí zkrácených jednoduchých anglických výrazů majících specifický význam, které

jsou srozumitelné pro počítač a řídicí systém. Instrukce pro definování bodu a přímkou mohou být napsány jako:

P1/0, 0 (souřadnice bodu P1 jsou (0, 0))

L1/P1, P4 (úsečka L1 prochází body P2 a P4) [4]

Programátor může být schopen se dle možnosti systému podívat na geometrickou konstrukci. Druhou částí programátorovy práce je dát další informace týkající se obráběcích sekvencí, typu operace, velikosti nástroje atd. Z geometrie součásti systém generuje data potřebné pro stroj. Tato data jsou tzv. cutter location (CL) data. Vygenerovaná data po tomto bodu jsou nezávislé na stroji a mohou být použity na každém stroji schopném udělat požadované operace. Data neobsahují G nebo M kódy.

Pak jsou CL data post-procesorem v počítači převedena do formy srozumitelné pro konkrétní řídicí systém stroje. Postproces zahrnuje přidání G kódů, M kódů a ostatní informace závislé na požadovaném formátu.

Program v této fázi je závislý na stroji a může být použit pouze pro specifické stroje. [4]

Výhody použití počítačem podporovaného programování jsou:

- Programování je značně zjednodušené.
- Vygenerované programy jsou přesné a efektivní.
- Všechny aritmetické výpočty jsou udělány počítačem, výsledkem je úspora času a eliminace chyb.
- Programování rozdílných strojů může být provedeno jednou osobou, která pak provede postproces pro rozdílné stroje.
- Systém se může zabývat víceosým souběžným pohybem.
- Pokud jsou přidány nové stroje, může být pouze potřeba začlenit postprocesor s existujícím systémem. [4]

2.4 Plánování programu

Požadované individuální kroky v plánování programu jsou obvykle stanoveny podle povahy obráběné součásti. Není k dispozici žádný celkový návod pro všechny operace, ale některé kroky jsou stejné a měly by být vždy pečlivě zváženy. [3]

- Předpoklad počátečních informací/ funkce obráběcího stroje
- Složitost součásti/hodnocení vlastností obrábění
- Ruční programování/ počítačové programování
- Programový postup/ programová struktura
- Kreslení součásti/ strojírenská data
- Metoda obrábění/ vlastnosti materiálu
- Posloupnost obrábění – operace/ pořadí nástrojů
- Výběr nástroje/ celistvé nástroje/ s břitovými destičkami/ HSS nástroje
- Nastavení součásti/ upnutí součásti/ upínací přípravky
- Zvolení technologie/ podmínky obrábění
- Pracovní náčrt a individuální výpočet
- Úvaha kvality v CNC programování [3]

Všechny kroky v seznamu jsou pouze návrhy – pokyny. Jednotlivé kroky by měly být vždy pružné a také přizpůsobeny jakékoliv práci a požadavkům. [3]

2.5 Typický postup programování

Plánování CNC programu není moc rozdílné od ostatního plánování – v domě, v práci, nebo kdekoliv – musí se blížit v logické a metodické cestě. První rozhodnutí se týká otázky, jaký je úkol a jakých cílů má být dosaženo. Ostatní rozhodnutí se týkají toho, jak efektivně a bezpečně splnit tyto cíle. Progresivní metoda není pouze osamostatnění rozvíjejících se individuálních problémů, ale také jejich řešení před každým dalším provedeným krokem.

Následující seznam položek má dost společných a logických částí úkolů, které by měly být provedeny v CNC programování. Všechny zobrazené položky jsou pouze navrženy a nabídnuty k dalšímu a hlubšímu porozumění. Toto nebo jiné pořadí může být změněno dle speciálních podmínek nebo pracovních návyků. Některé položky mohou chybět a některé mohou být nadbytečné. [3]

- Studium počátečních informací (kreslení a metody)

- Příklad materiálu (polotovaru)
- Vlastnosti obráběcího stroje
- Funkce řídicího systému
- Sled obráběcích operací
- Výběr nástrojů a jejich uspořádání
- Ustavení součásti na stroj
- Technologická data (otáčky, posuvy atd.)
- Stanovení dráhy nástroje
- Pracovní náčrty a matematický výpočet
- Napsání programu a příprava postprocesu
- Odzkoušení a odladění programu
- Dokumentace programu [3]

Jediným cílem plánování programu je poskytnutí všech instrukcí ve formě programu, které vedou k bezchybnému, bezpečnému a efektivnímu CNC obrábění. Individuální kroky navrhovaného postupu mohou být dle požadavku změněny. Mohou být buď dočasné pro danou práci, nebo trvalé s cílem vytvářet styl programování. Neexistuje však ideální postup pro všechny operace. [3]

3 DOSTUPNÉ CAM PROCESORY

3.1 NX CAM

System NX se využívá v mnoha průmyslových oborech a jako takový nabízí prověřené funkce pro obrábění a výrobu leteckých a automobilových součástí, lékařského vybavení, rozmanitých vylisků a dalších výrobků.

Software NX CAM nabízí široké spektrum funkcí od jednoduchého NC programování až po vysokorychlostní a víceosé obrábění. Tyto funkce umožňují řešit široké spektrum úloh v rámci jediného systému. Software NX CAM je velmi flexibilní a umožňuje provádět i ty nejnáročnější úkoly.

Umožňuje: 2,5, 3, 5 – ti osé frézování, HSM obrábění, soustružení, drátové řezání, programovat multifunkční obráběcí stroje.

Přednosti: Díky funkcím FBM (Feature-based machining) je možné zkrátit čas potřebný k programování až o 90 %, umožňuje snadno generovat požadovaný NC kód pro většinu obráběcích strojů, integrované CAD/CAM řešení, interakce s uživatelem a intuitivní grafické programování, úplná kontrola revizí umožňuje snadno spravovat všechny typy dat včetně 3D modelů součástí, seřizovacích listů, seznamů nástrojů a výstupních souborů pro CNC obráběcí stroje. [7]

3.2 Edgecam

Edgecam je navržen tak, aby zvládal programování jednoduchých i velmi složitých součástí a nabízí plnou podporu pro poslední verze CAD systémů, obráběcích strojů, nástrojů a nejmodernějších technologií.

Edgecam je kompletní softwarové CAM řešení jak pro produkční obrábění, tak i pro výrobu tvarových forem a zápustek.

Umožňuje: 2 až 5 – ti osé frézovací cykly, soustružení, programovat soustružnicko-frézovací centra.

Přednosti: Zjednodušuje NC programování, vysoce výkonné obrábění, inteligentní hrubovací cykly, pokročilé dokončovací strategie, automatické rozpoznání útvarů, zaručená integrita dat, plná simulace obrábění, snížení časů při přípravě programů. [8]

3.3 Delcam

3.3.1 FeatureCAM

FeatureCAM je samostatný CAD/CAM software pro CNC programování.

Umožňuje: Frézování, soustružení, programovat soustružnicko-frézovací centra a elektroerozivní obrábění.

Přednosti: Výběr vhodného nástroje, výpočet řezných podmínek včetně kroků a hloubek řezů, rozdělení hrubovací a dokončovací strategie, generuje dráhy a NC kód, cokoliv automaticky vytvořené můžete sami ovlivnit nebo změnit.

K dispozici je i neplacená verze, ve které lze simulovat obrábění a získávat čas obrábění. Nelze však ukládat projekt a generovat NC kód. [9]

3.3.2 PowerMILL

Umožňuje: Programování tříosých i víceosých frézovacích center, frézování tvarových ploch tříosými, čtyřosými i pětiosými strategiemi, HSM frézování, frézování roboty, mikrofrézování, obrábění elektrod. [9]

3.3.3 Delcam for SolidWorks

Je integrovaný CAM program do prostředí CAD programu SolidWorks. Obsahuje efektivní a ověřené technologie z programů PowerMILL a FeatureCAM, které jsou navíc doplněny o plnou asociativitu s modely v SolidWorks. Delcam for SolidWorks pracuje přímo se strojem SolidWorks a využívá jej k definování CNC programování. [9]

3.4 Bobcad-cam

Umožňuje: Programování CNC frézek, soustruhů, řezacích plotrů, vodního paprsku, laseru, plazmy. Řízení je možné ve 2, 3, 4 a 5 - ti osách.

Přednosti: Dynamické strategie umožňují nahrát více obráběcích strategií do jedné operace, výkonný a snadno použitelný systém.

K dispozici je taky integrovaný CAM do SolidWorks, který obsahuje speciálního průvodce obráběním pro všechny frézovací strategie.

Tento systém je zdarma ke stažení. [10]

3.5 Mastercam

Mastercam poskytuje nejlepší možné „nástroje“ pro rychlé a efektivní obrábění.

Umožňuje: Frézování (2,5D, 3D až víceosé), soustružení, elektrojiskrové obrábění.

Přednosti: Rychlé 2D HST řetězení regionů, výkonnější 2D HST dynamické dráhy nástrojů, chytré zbytkové hrubování, hybridní dokončovací „vyplňovací“ dráhy, obrábění lopatek.

K dispozici je i Robotmaster, což je plně kompatibilní software instalovaný uvnitř Mastercamu, prostřednictvím kterého lze jednoduchým způsobem programovat obrábění ve 2,5 D až po složité pětiosé obrábění robotem.

Díky modulu MasterCam for SolidWorks lze součásti naprogramovat přímo v SolidWorks a přitom použít dráhy nástroje a obráběcí strategie, které jsou používány ve většině dílen a podniků na světě. [11]

3.6 SolidCAM

Modul iMachiningSolidCAM je špičkovým CAM softwarem integrovaným do SolidWorks a Autodesk Inventor. Dostupný je taky jako samostatné CAD/CAM řešení, které nabízí pro operace CNC frézování neuvěřitelné úspory a zvýšenou efektivitu.

Umožňuje: 2D, 2.5D, 3D frézování, 3D HSM frézování, indexované 5 – ti osé frézování, souvislé 5 – ti osé frézování, soustružení, drátové řezání, měření sondou.

Přednosti: Snížené časy cyklů, delší životnost nástroje, automatické řezné podmínky, snížený čas programování, morfující spirály, inteligentní separace.[12]

3.7 GibbsCAM (Cimatron group)

GibbsCAM poskytuje širokou škálu CNC programovacích funkcí včetně objemového modeláře.

Umožňuje: 2 – 5 – ti osé frézování, vysokorychlostní obrábění, soustružnicko-frézovací obrábění, podporu CNC automatů, drátové řezání EDM, multifunkční obrábění a další.

Volný způsob interakce v GibbsCAM umožňuje snadno přecházet mezi vytvářením geometrie, dráhy nástroje, vizualizací procesů a postprocesingem.

Přednosti: Snadné použití CAM, efektivita programování, rychlost a krátké zaškolovací časy. [13]

3.8 CimatronE

Umožňuje: 2,5 – 5 – ti osé frézování, vrtání, mikro obrábění, HSM obrábění, elektroerozivní obrábění. Dále je možnost návrhu elektrody a její obrábění v modulu k tomu určeném.

Přednosti: Rychlé obrábění, optimalizace dráhy nástroje, vhodný pro jakoukoliv práci, vestavěné CAD nástroje, flexibilní automatizace, integrace CAD/CAM. [14]

3.9 CAMWorks

CAMWorks je intuitivní funkce na základě CAM řešení, která pomáhá výrobcům zvýšit produktivitu a ziskovost díky nejlepší technologii ve své třídě a automatickým nástrojům, které maximalizují efektivitu obrábění.

Umožňuje: 2,5, 3 a více osé frézování, soustružnicko-frézovací obrábění, soustružení, elektroerozivní obrábění, návrh a obrábění elektrody.[15]

3.10 Autodesk Inventor HSM

Autodesk Inventor HSM Express je bezplatné CAM řešení, které je integrované uvnitř návrhového prostředí aplikace Autodesk Inventor. Integrace umožňuje uživatelům Inventoru využít pracovních postupů a nástrojů, které lze očekávat při programování CNC obráběcích drah.

Přednosti: Integrovaný CAM do Inventoru, strategie dráhy nástroje, zbytkové obrábění, simulace, postprocess, výkonný CNC editor. [16]

3.11 HSMWorks

Byl navržen pro práci v programu SolidWorks.

Umožňuje: Strategie dráhy nástroje ve 2D, strategie dráhy nástroje ve 3D, víceosé frézování, soustružení.

Přednosti: Zajišťuje vysoce kvalitní dráhy nástroje, což se projeví na zlepšení kvality výrobku. Dráhy nástroje v HSMWorks jsou optimalizovány pro snížení doby cyklu, zlepšení kvality povrchu a prodloužení životnosti nástroje. [17]

3.12 EnRoute

Poskytuje software CAD/CAM řešení pro CNC obrábění dřeva.

Umožňuje: 3 osé frézování

Přednosti: 3D reliéfy, barokní zkosení, parametrická textura, Remnant tvorba, obrázky, textury. [18]

3.13 Alphacam

Alphacam je přední CAD/CAM systém v oblastech obrábění dřeva, kovu, plastů a minerálů.

Umožňuje: Obrábění od 2osého frézování a soustružení jednoduchých součástí, až po 5 – ti osé obrábění složitých komponent.

Přednosti: Zajišťuje vysokou úroveň flexibility, produktivity a spolehlivosti. [19]

3.14 SurfCAM

SURFCAM je nejrozšířenějším CAM systémem na českém trhu.

Umožňuje: 2 až 5 – ti osé frézování, soustružení, vyvrtávání, drátové řezání a další.

Technologie TrueMill automaticky přizpůsobuje dráhu nástroje tak, aby úhel styku nástroje s materiálem nepřekročil maximálně povolenou hodnotu.

Přednosti: Technologie TrueMill pro výrazné zvýšení produktivity obrábění, nové technologie založené na HSM obrábění, špičkové hrubovací a dokončovací operace včetně zbytkového dokončování, verifikace dráhy nástroje, knihovna se 160 postprocessorsy, import dat mnoha formátů, CAD část určená především pro editaci importovaných modelů, nezávislost na jiném systému. [20]

3.15 RhinoCAM

Nabízí snadno použitelný, ale výkonný obráběcí program pro každého uživatele.

Umožňuje: 2 - 2.5, 3, 4 a 5 – ti osé frézování a tvorbu děr.

Přednosti: Plně integrovaný do CAD Rhino, automatické aktualizace drah při změně geometrie, jedno prostředí pro CAD a CAM. [21]

3.16 SprutCAM

Systém pracuje přímo s geometrickými objekty nadřazeného modelu (včetně křivek NURBS) bez předběžné aproximace.

Umožňuje: 2, 2.5, 3 až 5 – ti osé frézování, soustružení, elektroerozivní obrábění a ostatní metody obrábění.

Přednosti: Výpočet výsledné dráhy nástroje s libovolnou přesností, možnost náhledu ve více oknech, široká škála nástrojů pro manipulaci s objekty. [22]

3.17 SmartCAM

Dráhy nástroje jsou vytvořeny jako typ geometrie prvku, proto lze každý úsek dráhy nástroje snadno upravit podle potřeby.

Umožňuje: 2 – 2.5 osé frézování, 3 + 2 osé frézování, komplexní plošné obrábění, 2 osé a 2 až 6 – ti osé soustružení, elektroerozivní řezání, programovat soustružnicko – frézovací centra, laser, plasmu, děrovačku, vodní paprsek.

Přednosti: Schopnost ručně nebo automaticky vytvářet, upravovat a odstraňovat dráhy nástroje jako grafické elementy. [23]

3.18 Esprit

Esprit je plné spektrum funkcí. Bezproblémové CAD/CAM rozhraní, do kterého lze importovat model součásti z jakéhokoliv zdroje, zcela neporušený, bez nutnosti další úpravy.

Umožňuje: 2 až 5 – ti osé frézování, 2 až 22 - ti osé soustružení, 2 až 5 – ti osé drátové řezání, soustružnicko-frézovací obrábění a obrábění B – osých obráběcích strojů.

Přednosti: Přesný G kód, plná strojní simulace, synchronizace a optimalizace, pružné 5 – ti osé frézování. [24]

3.19 CamBam

Software pro vytváření G kódu ze zdrojových souborů CAD nebo vytvořených ve vlastním editoru.

Umožňuje: 2.5 osé frézování, 2.5 osé frézování dutin s automatickou detekcí ostrůvků, vrtání, gravírování.

Přednosti: Intuitivní uživatelské rozhraní, rychlejší a přesnější dráhy nástroje, podpora experimentálního obrábění. [25]

3.20 MeshCAM

Je určen pro uživatele, kteří nejsou odborníci na CAM software. Pracuje téměř s každým souborem z 3D CAD programu uloženého jako STL a DXF. Po otevření souboru obrázku (JPG, BMP, PNG) jej MeshCAM převede na 3 D povrch, který lze přímo obrábět. [26]

3.21 HyperMILL CAM

HyperMILL je výkonný CAM systém integrovaný do CAD systému. Není problém zároveň tvořit technologické prvky potřebné pro obrábění a současně aplikovat strategie výrobního procesu.

Umožňuje: Soustružení, 2 až 5 – ti osé frézování, soustružnicko – frézovací obrábění.

Přednosti: Jednoduchost ovládání, přehledné a uživatelsky příjemné a intuitivní rozhraní, přímá integrace do CAD systémů, vysoce kvalitní strategie, FEATURE technologie u všech typů obrábění, MAKRO technologie pro automatizaci výrobních procesů, vysoce kvalitní "Inteligentní" postprocesory, možnost vlastní konfigurace, automatické předcházení kolize, simulace prostoru vlastního stroje. [27]

3.22 Dolphin CAD/CAM

Umožňuje: 2, 2.5 a 3 osé frézování, soustružení, drátové řezání, programovat plotry, laser, plazmu, vodní paprsek a mnoho dalších strojů, které se v dnešní době v průmyslu používají.

Přednosti: Jednoduché používání a rychlé učení řezní dráhy nástroje. [28]

3.23 VisiCAD/CAM

Umožňuje: Komplexní 2, 3 a 5 – ti osé obráběcí strategie, návrh a výrobu elektrody.

Přednosti: Ochrana před kolizí, optimalizovaná dráha nástroje, kinematická simulace, zbytkové hrubování, kombinované dokončovací strategie, spolehlivý a efektivní NC kód. [29]

3.24 AlibreCAM

AlibreCAM je založený na programu VisualMILL. Tento modul je kompletně součástí AlibreDesingn.

Umožňuje: 2 – 2.5, 3, 4 a 5 – ti osé frézování a vrtání děr.

Přednosti: Intuitivní uživatelské rozhraní pro kombinaci CAD a CAM, plně asociativní dráhy nástroje, automatická aktualizace drah nástroje při změně modelu. [30]

3.25 VisualMILLforSolidWorks

VisualMill pro SolidWorks je plně integrovaný do SolidWorks. Nabízí intuitivní uživatelské rozhraní pro kombinovanou formu CAD/CAM a plně asociativní dráhy nástroje.

Umožňuje: 2, 2.5, 3, 4 a 5 – ti osé obrábění.

Přednosti: Snadnost použití, stejné jedno okno pro ostatní integrované produkty pro SolidWorks, automatická aktualizace drah nástroje při změně modelu. [31]

3.26 PTC CreoCompleteMachiningExtension

Nabízí kompletní řešení pro vytváření všech typů programů pro CNC stroje používané v produkčních prostředích.

Umožňuje: 2, 2.5 až 5 – ti osé frézování, víceosé soustružení, soustružnicko – frézovací obrábění a 4 osé drátové řezání.

Přednosti: Zjednodušuje ukládání a opětovné využití postupů pomocí osvědčených výrobních šablon, zlepšuje kvalitu výrobku generováním NC drah přímo na 3D návrhu, není vyžadován žádný převod dat mezi CAD/CAM, snižuje čas na aktualizace dráhy nástroje při změně geometrie dílu. [32]

3.27 GO2cam

Byl vyvinut s cílem snížit čas NC programování, a tím zvýšit účinnost obrábění.

Umožňuje: Frézování, soustružení, drátové řezání, rapid prototyping

Přednosti: Kompatibilní se všemi hlavními CAD softwary, intuitivní uživatelské rozhraní, úspora času, velmi uživatelsky příjemný. [33]

3.28 TopSolid Cam

Založen na automatickém rozpoznání topologických vlastností, identifikuje jednotlivé tvary a může tak navrhnout nejlepší obráběcí metodu.

Umožňuje: Frézování, soustružení, soustružnicko – frézovací obrábění a elektroerozivní obrábění.

Přednosti: Výkonný, souběžná simulace obrobku, prevence kolizí, mezioperační a osové pohyby, 5 – ti osé obrábění, realistická simulace stroje, automatické rozpoznávání rovinných ploch, otvorů, využití vysokorychlostního obrábění pro všechny dráhy nástroje, automatické přepracování zbytkového materiálu ve 2D a 3D. [34]

3.29 WorkNC

Je software pro objemové modely v oblasti forem, zápustek a náradí v 2 až 5 - ti osém obrábění.

Umožňuje: 2, 2.5, 3, 4 a 5 – ti osé frézování, vrtání, řezání závitů.

Přednosti: Výkonný editor dráhy nástroje, automatický výpočet dráhy nástroje, kolize nástroje, simulace obrábění, maximální autonomie, optimalizované vysokorychlostní obrábě-

ní, automatická dílenská dokumentace, předdefinované obráběcí sekvence pro automatické obrábění. [35]

3.30 AlmaCAM

AlmaCAM je zcela otevřené prostředí schopné interakce s existujícím informačním systémem výrobním podnikem.

Umožňuje: 2 a 3 osé obrábění, programovat obráběcí plotry na dřevo a plasty, děrovačky, roboty pro svařování.

Přednosti: Strukturované a dohledatelné údaje díky databázovému prostředí, dodržování zásad řízení jakosti, prostředí usnadňuje programování, snadná manipulace dat. [36]

3.31 Catia Manufacturing

Portfolio aplikací pokrývajících činnosti spojené s výrobou na NC strojích. Použití knihoven technologických operací vede k vysoké míře automatizace a standardizace.

Umožňuje: Prizmatické frézování, 3 až 5 – ti osé frézování, soustružení a programování obráběcích center.

Přednosti: Ověření dráhy nástroje, simulace obrábění, analýza zbytkového materiálu, vytvoření shopfloor dokumentace, společná infrastruktura pro všechny produkty NC programování v CatiaV5, použití a úprava NC programů z Catia V4, silná spolupráce při řešení optimalizace PLM. [37]

3.32 Kovoprogram

CAD/CAM systém Kovoprogram je jediný systém na trhu který má českého výrobce. Jedná se o původní český produkt s dlouhou tradicí. Kovoprogram slouží k přípravě programů pro obrábění na NC a CNC obráběcích strojích.

Umožňuje: Soustružení s vodorovnou i svislou osou včetně poháněných nástrojů, 2.5 osé frézování, vrtání, obrábění na elektroerozivních vyřezávacích strojích. Přednosti: Vyznačuje se velmi příznivým poměrem cena-výkon, program je dostupný kromě české lokalizace také v anglické, německé a polské lokalizaci. [38]

3.33 PEPS

Nabízí obráběcí moduly, které umožňují programování většiny složitých součástí ve velmi krátkém časovém období.

Umožňuje: Drátové řezání, 2.5 a 3 osé frézování, soustružení, děrování, stříhání, řezání laserem a vodním paprskem.

Přednosti: Intuitivní vedení uživatele, import dat ze všech CAD systémů v několika různých formátech, použití „inteligentních“ postprocesorů. [39]

3.34 Mikroprog

Slouží pro řízení krokových a AC servopohonů v řadě pro 2 až 5 souvisle řízených os. V současné době jsou nabízeny systémy řady Mikroprog ve čtyřech softwarově odlišných variantách. Jedná se o ruční programování.

Umožňuje: Frézování, soustružení, broušení, programování speciálních strojů. [40]

3.35 G - SIMPLE

G-SIMPLE je jednoduchý software pro tvorbu nástrojových drah. Tento CAM systém byl vytvořen spíše pro koníčky než pro komerční využití, proto si jej můžete zdarma stáhnout.

Umožňuje: Vrtání, 2.5 osé frézování, gravírování. [41]

3.36 FreeMILL

FreeMILL je plně funkční 3 osý frézovací CAM software, vytvořený na základě proslulého systému VisualMILL.

Přednosti: Simulace dráhy nástroje, generování G kódu, více než 250 postprocesorů, je zcela zdarma ke stažení. [42]

3.37 HeeksCNC

CAM software, který umožňuje generování NC kódu pro frézování. Je zdarma ke stažení. [43]

3.38 CNC Code Maker

Jednoduchý 2D CAD/CAM software s generováním dráhy nástroje. Je zdarma ke stažení.

Přednosti: Specifické cykly postprocesoru, cykly kontury, jednoduchá funkce point to point. [44]

3.39 LinuxCNC

LinuxCNC je CAM software pro obráběcí stroje jako jsou frézky a soustruhy. Je zdarma ke stažení.

Přednosti: Několik grafických rozhraní, systém plánování v reálném čase, současný pohyb až 9 os, interpretace G kódu.

Neumožňuje kreslení (CAD) a generování G kódu z kreslení (CAM). [45]

3.40 Autodesk CAM 360

Je založen na programech HSMWorks a Inventor HSM.

Přednosti: Funguje na více platformách, poradí si s různými druhy formátů souborů (2D a 3D), spolupráce s programátory v reálném čase. [46]

3.41 RopeCAM

Specializovaný software pro programování lichoběžníkového závitu nerovnoramenného a rovnoramenného na CNC soustruhu.

Přednosti: Vytváří programy pro každé NC řízení, závity mohou být hrubovány nebo i dokončeny, teoretický výpočet drsnosti povrchu, vícenásobné programování závitu. [47]

3.42 InventorCAM

Software může řešit výrobní úkoly v programu Autodesk Inventor a Autodesk Inventor LT. Aplikace je srovnatelná se SolidCAM, protože jejich vývoj je paralelní.

Umožňuje: 2, 2.5, 3 osé frézování, 4 a 5 – ti osé indexové frézování, kontinuální 4 a 5 – ti osé frézování, soustružení, soustružení s poháněnými nástroji a drátové řezání.

Přednosti: Bezešvá generace dráhy nástroje, umožňuje řízení vedlejších operací. [48]

4 SHRUTÍ A CÍLE DIPLOMOVÉ PRÁCE

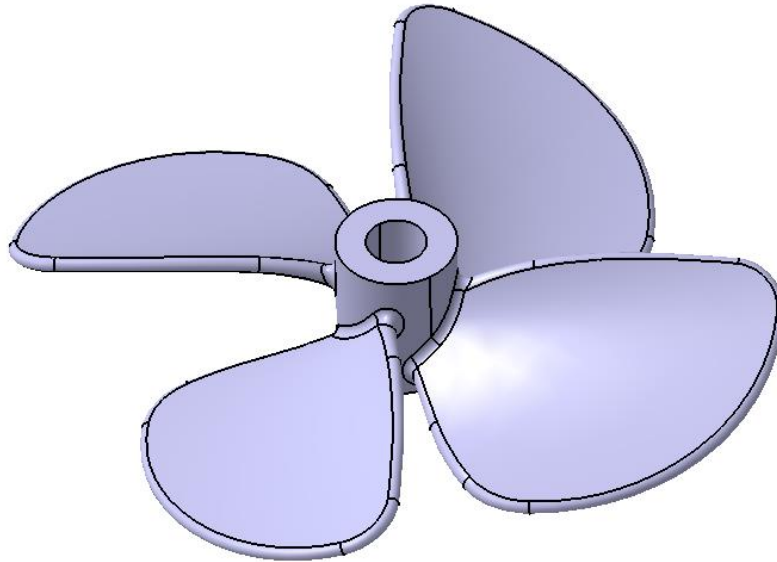
Teoretická část diplomové práce se zabývá CNC obráběcími stroji, jejich řídicím systémem a jejich rozdělením podle počtu souvisle řízených os. Programováním CNC strojů a jeho rozdělením na tři základní způsoby tvorby programu, a to ruční, dílenské, strojní programování, jejich základy, přednosti, nedostatky atd. V poslední části je vytvořen přehled a možnosti dostupných CAM procesorů na světovém trhu.

Cílem praktické části je navržení a vytvoření 3D součásti, vygenerování řezných drah nástrojů v CAM softwaru a samotná výroba součásti na CNC frézce HWT-442. Vytvoření manuálu pro programování součásti, sloužícího jako přehled a možnosti použití operací u dané součásti pro začínající programátory.

II. PRAKTICKÁ ČÁST

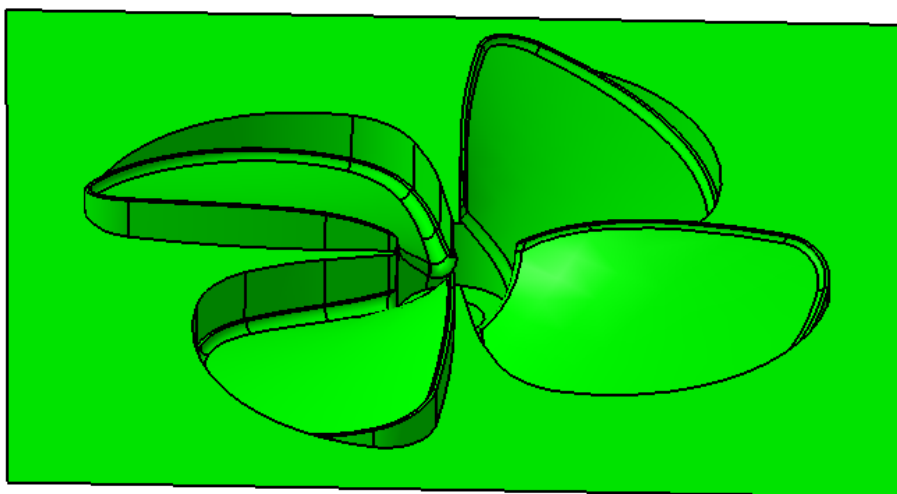
5 TVORBA 3D MODELU SOUČÁSTI

Pro tvorbu programu byl zvolen model tvarové dutiny pro výrobu vrtule, konkrétně jedné poloviny dutiny. Model byl vytvořen v programu CATIA V5R18 a to tak, že nejprve byla vytvořena samotná vrtule v modulu Generative Shape Design.



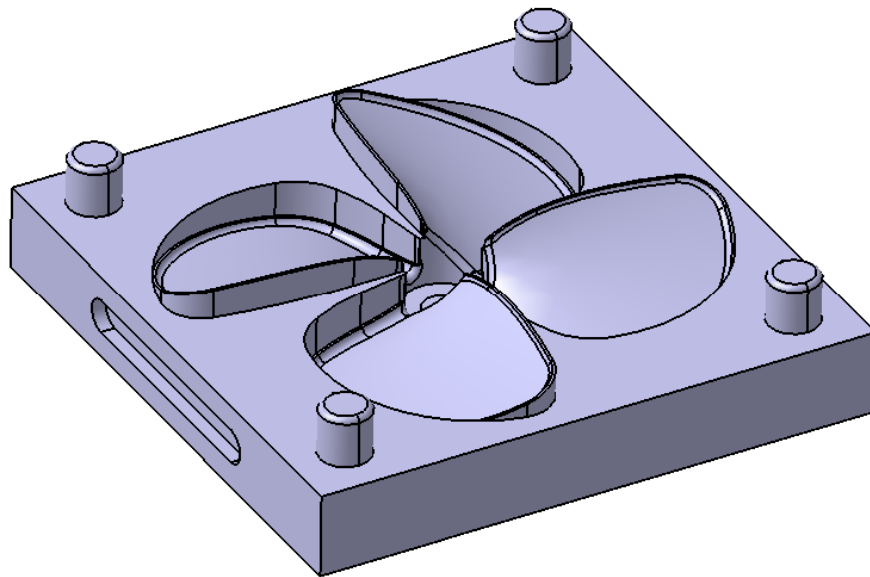
Obr. 6. Vrtule

Po jejím vytvoření byla v modulu Core and Cavity Design rozdělena na plochy představující tvárník a tvárnici. Těmito plochami byly následně ořezány předem připravené polotovary.



Obr. 7. Plochy tvárnice

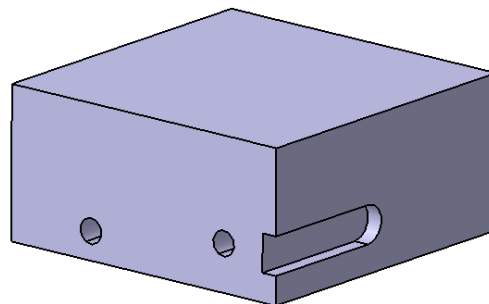
Zbývalo už jen vytvoření bočních drážek a vodicích kolíků a děr pro vedení tvarových desek. Výsledkem byl tvárník a tvárnice pro vrtuli.



Obr. 8. Tvarová deska - tvárnice

Tvorba polotovaru

Samotný polotovar je tvořen čtyřmi dílčími polotovary a to z důvodu, že každá část bude v jiné fázi obrobění. Polotovary mají boční drážku a díry pro kolíky.



Obr. 9. Polotovar

6 POSTUP PRO PROGRAMOVÁNÍ SOUČÁSTI V NX

6.1 Popis používaných operací v Mill Contour

Cavity Mill



Hrubování tvarových ploch odstraněním materiálu v řezných rovinách kolmých na osu nástroje. Operace je doporučena pro úběr velkých objemů materiálu v dutinách, zápustkách, na tvárnících, odlitcích a výkovcích.

Plunge Milling



Hrubování tvarových ploch v po sobě jdoucích zavrtávacích pohybech podél osy nástroje. Operace je doporučena pro efektivní hrubování velkých objemů materiálu v hlubokých oblastech. Vyžaduje dlouhé nástroje se zvýšenou tuhostí.

Corner Rough



Hrubování zbývajícího materiálu v rozích, kde se předchozí nástroj nemohl dostat. Operace je doporučena pro hrubování materiálu, kde se předchozí nástroj nemohl dostat vzhledem k jeho průměru a poloměru rohu. Podmínkou je nastavení referenčního nástroje z předchozí operace.

Rest Milling



Odstranění zbývajícího materiálu, který zůstal po předcházející operaci. Operace je doporučena pro obrábění zbývajícího materiálu, který zůstal po předchozí operaci kvůli přídavku materiálu, velikosti nástroje nebo řezným úrovním.

Zlevel Profile



Používá rovinné řezy kolmé k ose nástroje na profilové stěny v určité úrovni. Může také začistit materiál zanechaný v mezerách mezi jednotlivými úrovněmi. Operace je doporučena pro předdokončení a dokončení tvarových ploch jako jsou formy, zápustky, odlitky a výkovky.

Zlevel Corner



Dokončení rohů v určité oblasti, kde se nemohl dostat předchozí nástroj. Operace je doporučena pro hrubování materiálu, kde se předchozí nástroj nemohl dostat vzhledem k jeho průměru a poloměru rohu.

Fixed Contour



Slouží k obrábění obrysu součásti nebo plochy různými metodami, omezeními a styly řezání. Operace je doporučena pro obecné dokončení tvarových ploch.

Contour Area



Používá metodu Area Milling pro obrábění ploch určité oblasti. Operace je doporučena pro dokončení určité oblasti.

Contour Surface Area



Používá metodu Surface Area pro dokončení geometrie definované výběrem ploch. Operace je doporučena pro dokončení jedné oblasti, která se skládá z dobře uspořádaných ploch obdélníkové mřížky.

Contour Non-Steep Areas



Používá metodu Area Milling pro obrábění ploch se strmostí menší než je zadaný strmý úhel. S použitím operace Zlevel Profile pro dokončení strmých a čelních ploch rozdílnými strategiemi. Obráběná plocha je rozdělena mezi dvě operace založené na strmém úhlu.

Contour Steep Areas



Používá metodu Area Milling pro obrábění ploch se strmostí větší než je zadaný strmý úhel. Použití po operaci Contour Area ke snížení vroubkování přejezdem předchozích cik-cak řezů na strmých plochách.

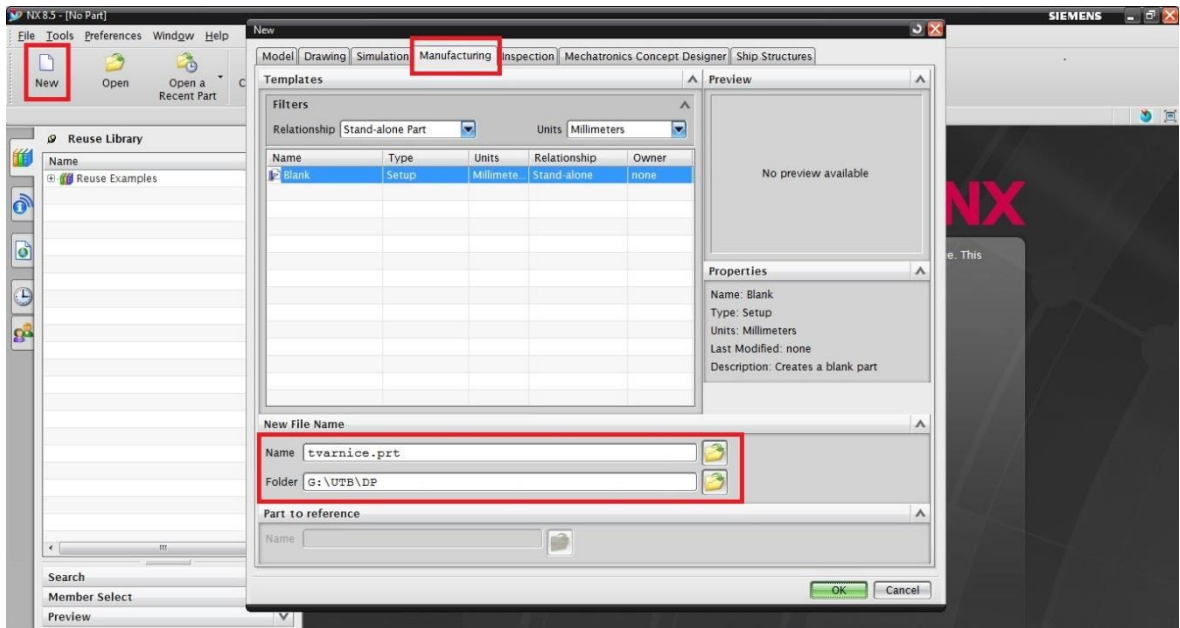
Contour Text



Obrábění textu na tvarové ploše. Operace je doporučena pro obrábění jednoduchého textu, jako jsou identifikační čísla.

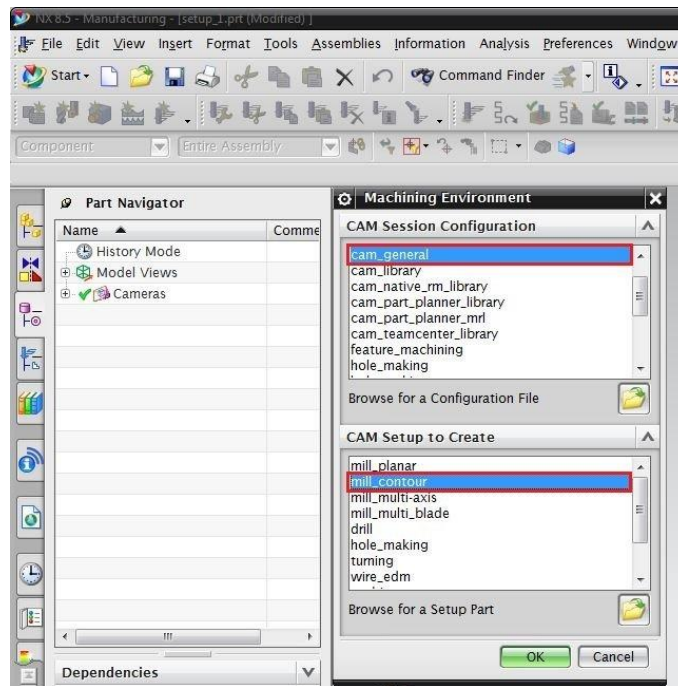
6.2 Vytvoření nového projektu

Po spuštění programu NX 8.5 vytvoříme nový projekt kliknutím na ikonu New. Jelikož budeme pouze programovat (máme již vytvořený model), vybereme horní záložku Manufacturing. Do položky Name napíšeme název projektu a v položce Folder vybere umístění souboru na disku. Název projektu nesmí obsahovat diakritiku.



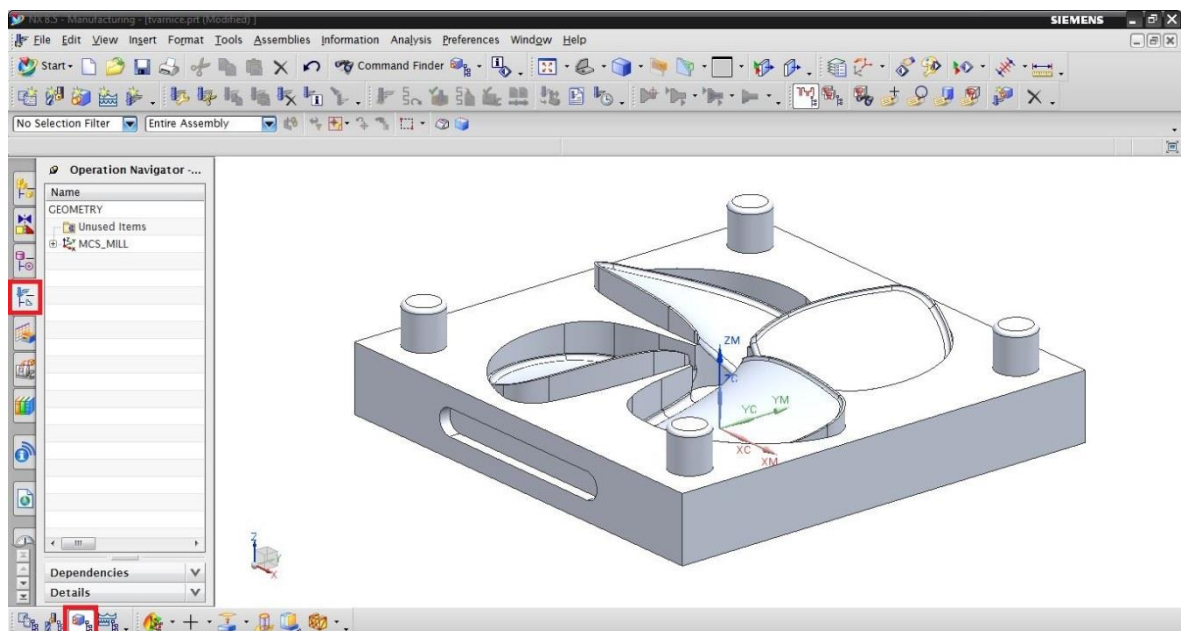
Obr. 10. Vytvoření nového projektu

Ze zobrazené nabídky Machining Environment vybereme cam_general a skupinu operací mill_contour.



Obr. 11. Nastavení projektu

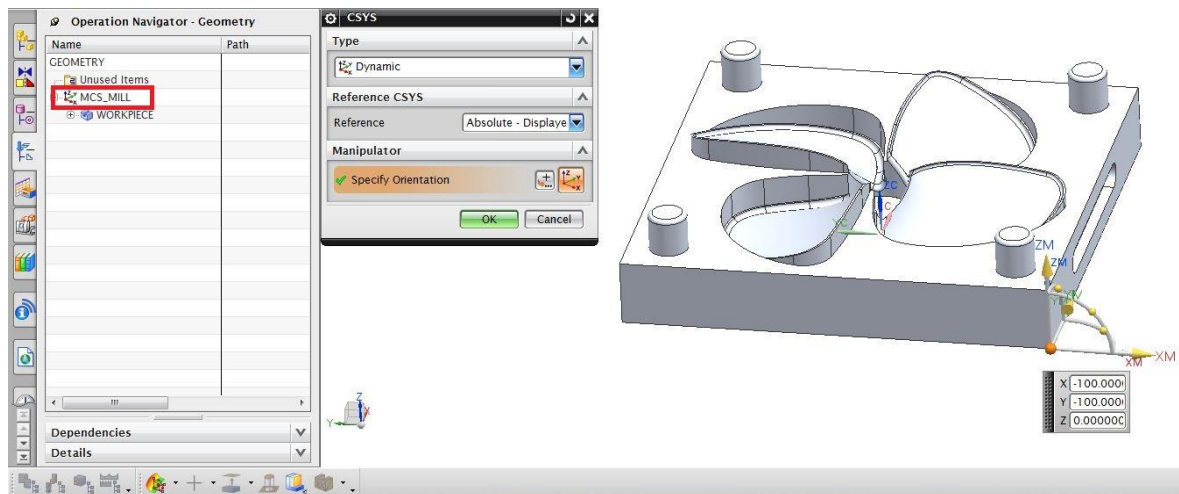
Přes File → Import → CATIA V5 vložíme vytvořený model k programování. Po vložení modelu se přepneme v levém sloupci do Operation Navigator a následně v panelu Navigator do Geometry View.



Obr. 12. Vložení modelu

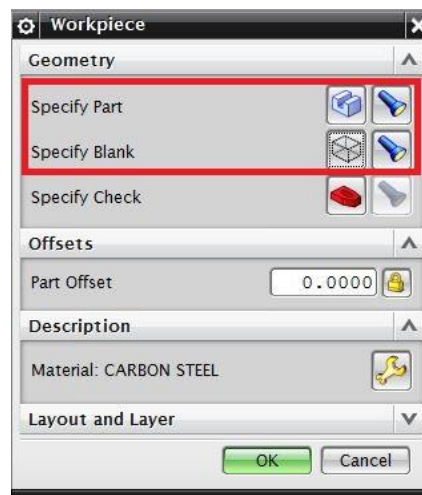
6.3 Nastavení souřadného systému a geometrie součásti

Zde po otevření MCS_MILL nastavíme polohu souřadného systému tak, aby odpovídala poloze na stroji. Osa Z musí být rovnoběžná s osou vřetene. Většinou se souřadný systém nastavuje do některého rohu modelu tak, abychom jej mohli nastavit na polotovaru na CNC stroji.



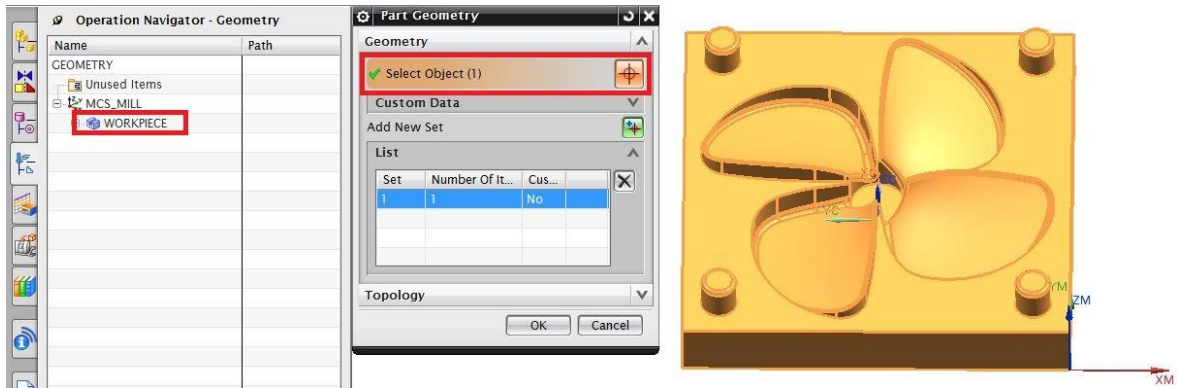
Obr. 13. Nastavení souřadného systému

Pro nastavení součásti a velikosti polotovaru slouží příkaz WORKPIECE.



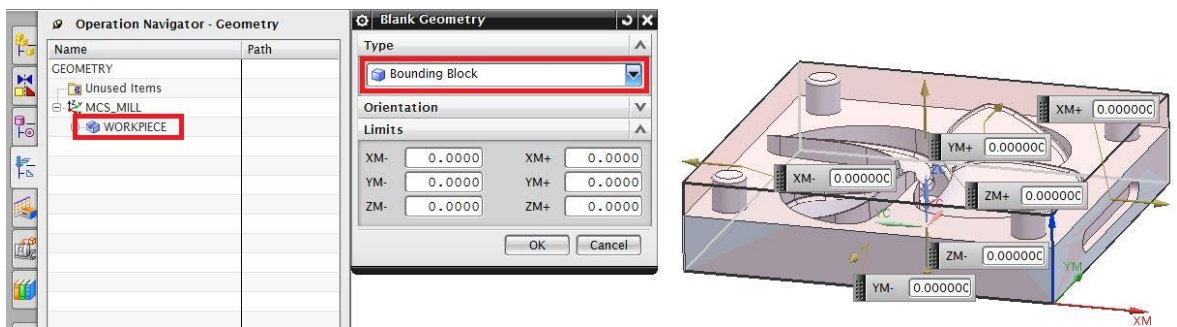
Obr. 14. Panel Workpiece

Po otevření daného příkazu pod položkou Specify Part zvolíme kliknutím na model součásti, která se má obrábět.



Obr. 15. Určení modelu

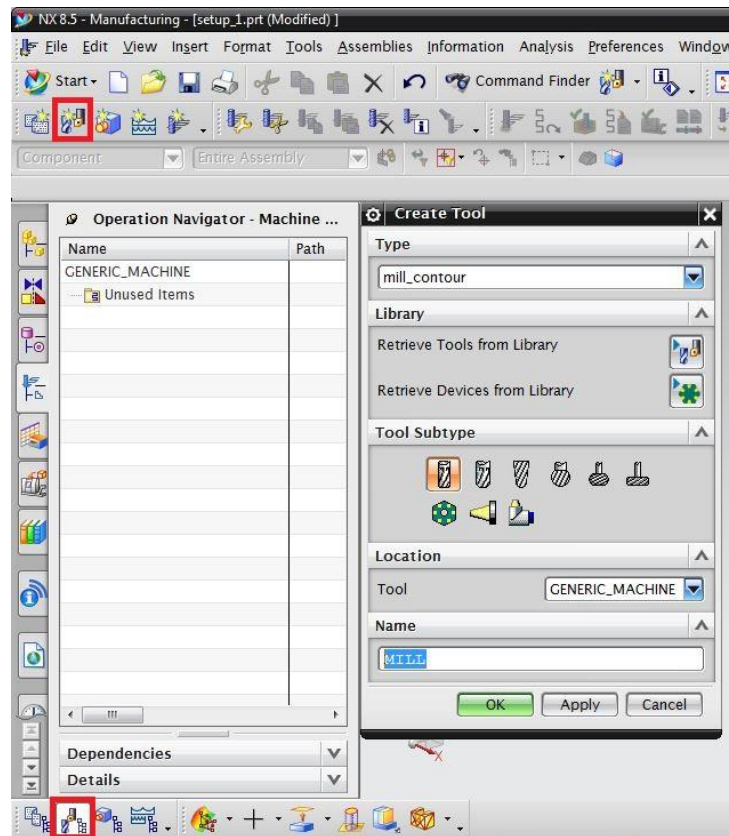
Následně pod položkou Specify Blank nastavíme velikost polotovaru. Pro čtvercový polotovar využijeme možnost výběru Bounding Block, kde volíme jeho rozměry jako vzdálenost jednotlivých stěn od modelu součásti dle požadovaných rozměrů polotovaru.



Obr. 16. Definování polotovaru

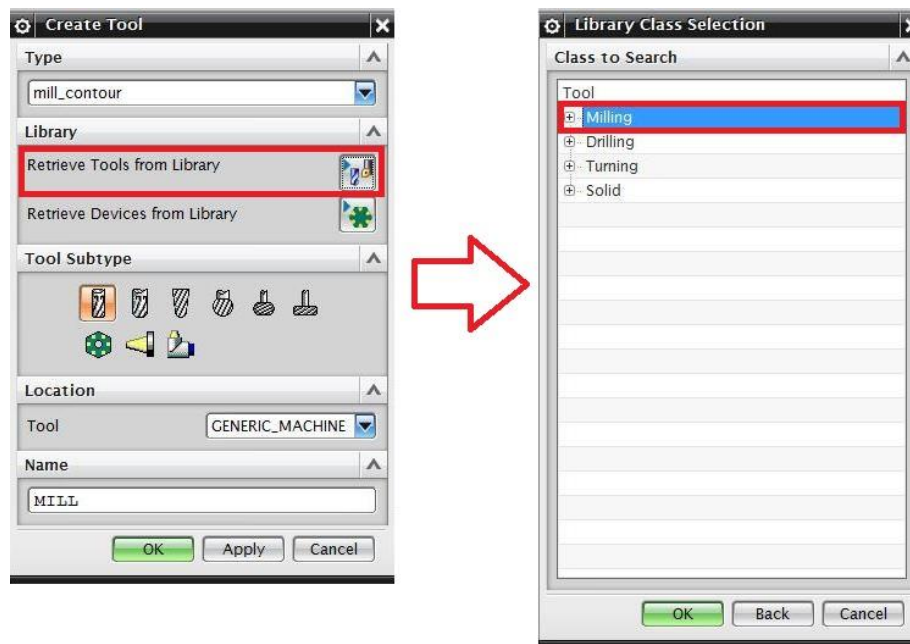
6.4 Tvorba nového nástroje

Pro vytvoření nástroje se přepneme v panelu Navigator do Machine Tool View. Po otevření příkazu Create Tool v panelu Insert máme možnost tvorby nástrojů různých tvarů.



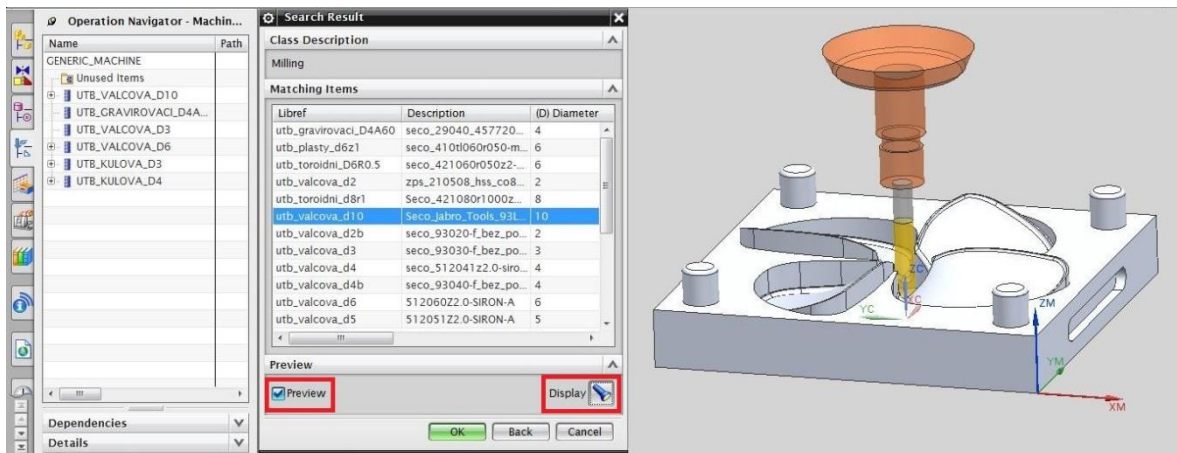
Obr. 17. Tvorba nového nástroje

S výhodou využijeme již vytvořených nástrojů z dostupné knihovny nástrojů, které jsou zároveň k dispozici v dílnách UVI. Postup načtení nástrojů z knihovny je následující. Zvolíme možnost Retrieve Tools from Library, následně označíme řádek Milling a potvrdíme.



Obr. 18. Postup načtení nástrojů z knihovny

Následující nabídku pouze potvrdíme OK a zobrazí se seznam dostupných nástrojů. Označením nástroje a potvrzením nabídky OK dojde k načtení nástroje z knihovny.



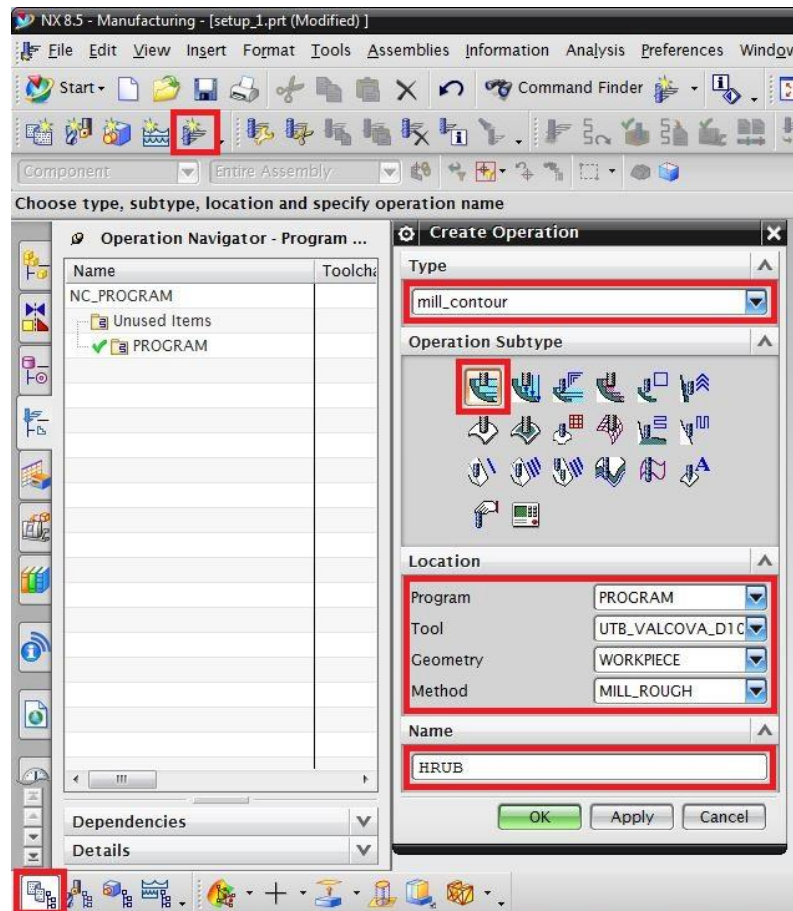
Obr. 19. Seznam nástrojů v knihovně

Označením ikony Preview a stisknutím ikony Display se zobrazí nástroj včetně upínací hlavy, která odpovídá upínací hlavě CNC frézky v dílnách UVI. Pro naprogramování dané součásti bude potřeba válcová fréza o ϕ 10 a 6 mm, kulová fréza o ϕ 4 a 3 mm a gravírovačící fréza.

6.5 Programování součásti

6.5.1 Hrubování

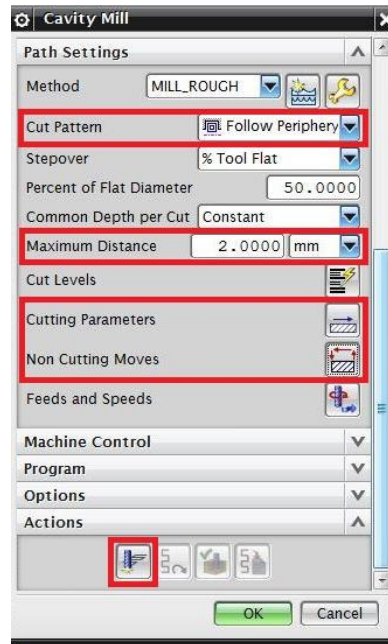
Pro zobrazení vytvořených operací zvolíme v panelu Navigator ikonu Program Order View. K vytváření jednotlivých operací slouží příkaz Create Operation v panelu Insert. Po jeho spuštění se zobrazí skupina operací pod mill_contour, zvolíme první z nich tedy Cavity Mill.



Obr. 20. Vytvoření nové operace - hrubování

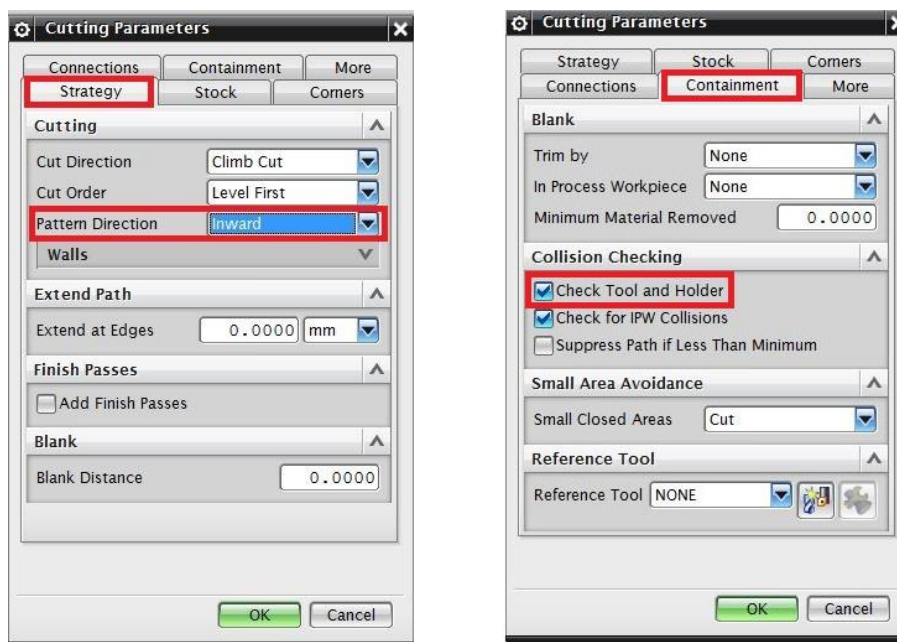
V položce Program zvolíme umístění operace do PROGRAM. Dále v Tool zvolíme použitý nástroj tedy UTB_VALCOVA_D10, čemuž odpovídá válcová fréza o průměru 10 mm. V Geometry zvolíme nastavený obrobek, tedy WORKPIECE. V Method zvolíme metodu obrábění MILL_ROUGH, což je hrubování, po kterém zůstane přídavek na další obrábění 1 mm. Do položky Name napíšeme název operace, nazveme ji HRUB a potvrdíme OK.

V dalším kroku pod záložkou Path Settings zvolíme v položce Cut Pattern styl obrábění Follow Periphery a hloubku záběru Maximum Distance nastavíme na 2 mm.



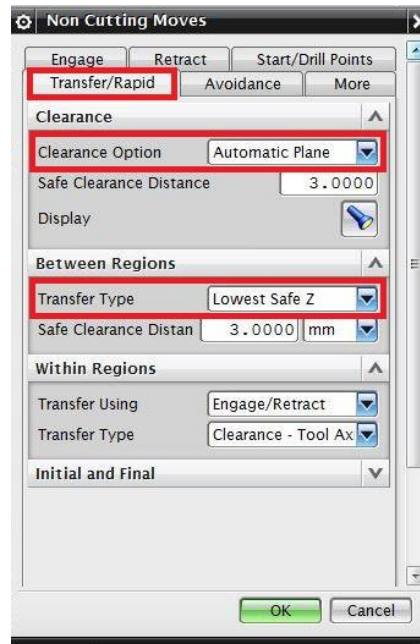
Obr. 21. Nastavení operace –
hrubování

V Cutting Parameters pod záložkou Strategy zvolíme v Pattern Direction možnost Inward, tedy směr frézování dovnitř. Pod záložkou Containment zvolíme Check Tool and Holder, tedy kontrolu nástroje včetně upínače před kolizí.



Obr. 22. Nastavení rezných parametrů - hrubování

V Non Cutting Moves pod záložkou Transfer/Rapid zvolíme v položce Clearance Option možnost Automatic Plane a dále v Transfer Type možnost Lowest Safe Z.

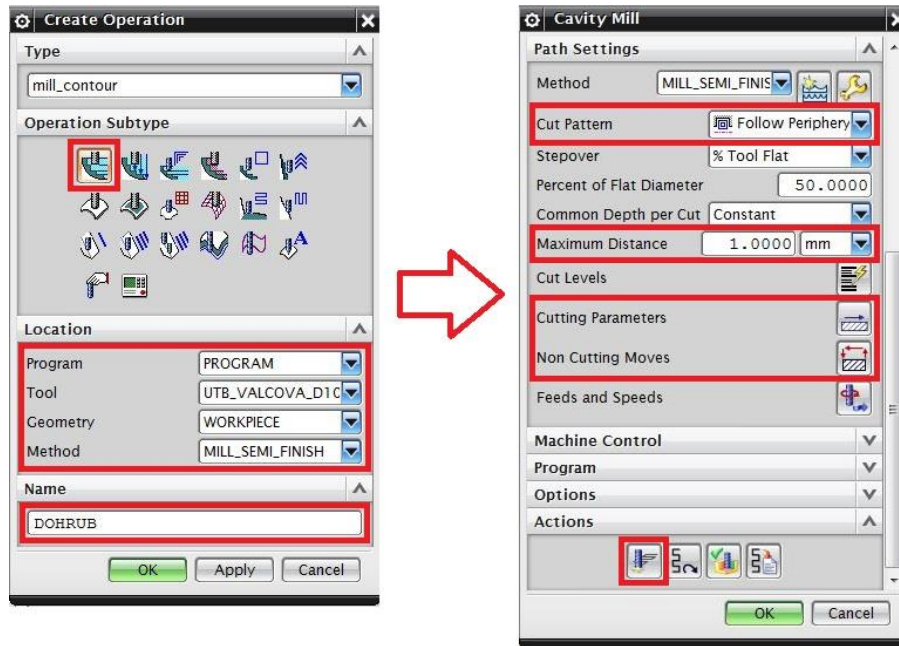


Obr. 23. Nastavení vedlejších pohybů - hrubování

Po nastavení všech parametrů příkazem Generate v záložce Action vygenerujeme dráhy nástroje.

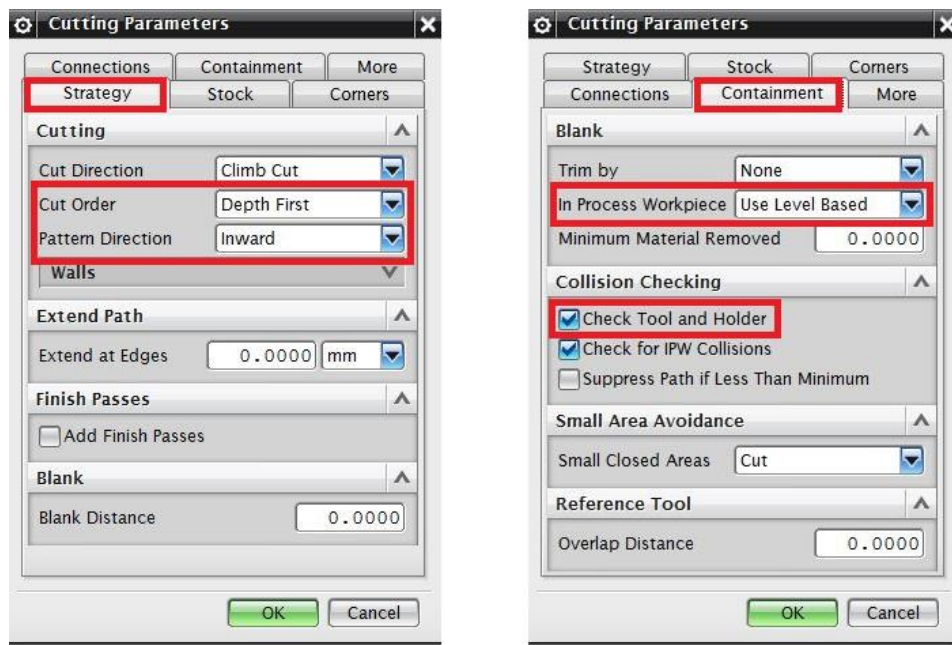
6.5.2 Dohrubování

Pro dohrubování zvolíme operaci Cavity Mill a obdobně jako u hrubování nastavíme úvodní tabulku. Tedy umístění programu do PROGRAM, nástrojem je UTB_VALCOVA_D10, geometrií je WORKPIECE. Metodu obrábění zvolíme MILL_SEMI_FINISH, po této operaci zůstane přídavek na dokončení 0,25 mm. Operaci nazveme DOHRUB a potvrdíme OK. V dalším kroku pod záložkou Path Settings nastavíme Cut Pattern na Follow Periphery. Maximální hloubku záběru zvolíme 1 mm.



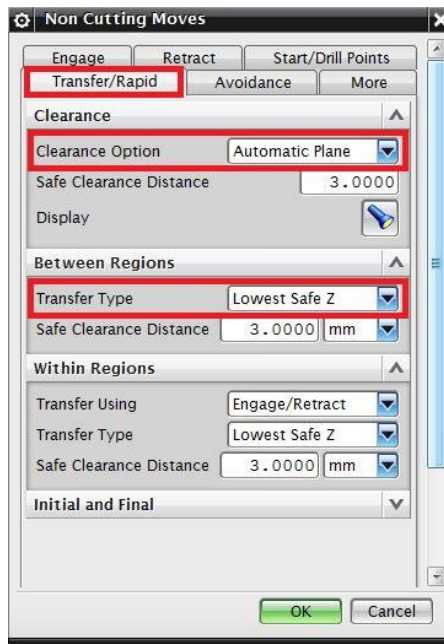
Obr. 24. Vytvoření nové operace - dohrubování

Po otevření příkazu Cutting Parameters pod záložkou Strategy zvolíme v Cut Order možnost Depth First a v Pattern Direction možnost Inward, tedy směr frézování dovnitř. Pod záložkou Containment zvolíme v položce In Process Workpiece možnost Use Level Based a dále označíme Check Tool and Holder.



Obr. 25. Nastavení řezných parametrů - dohrubování

V příkazu Non Cutting Moves pod záložkou Transfer/Rapid zvolíme v položce Clearance Option možnost Automatic Plane a dále v Transfer Type možnost Lowest Safe Z.

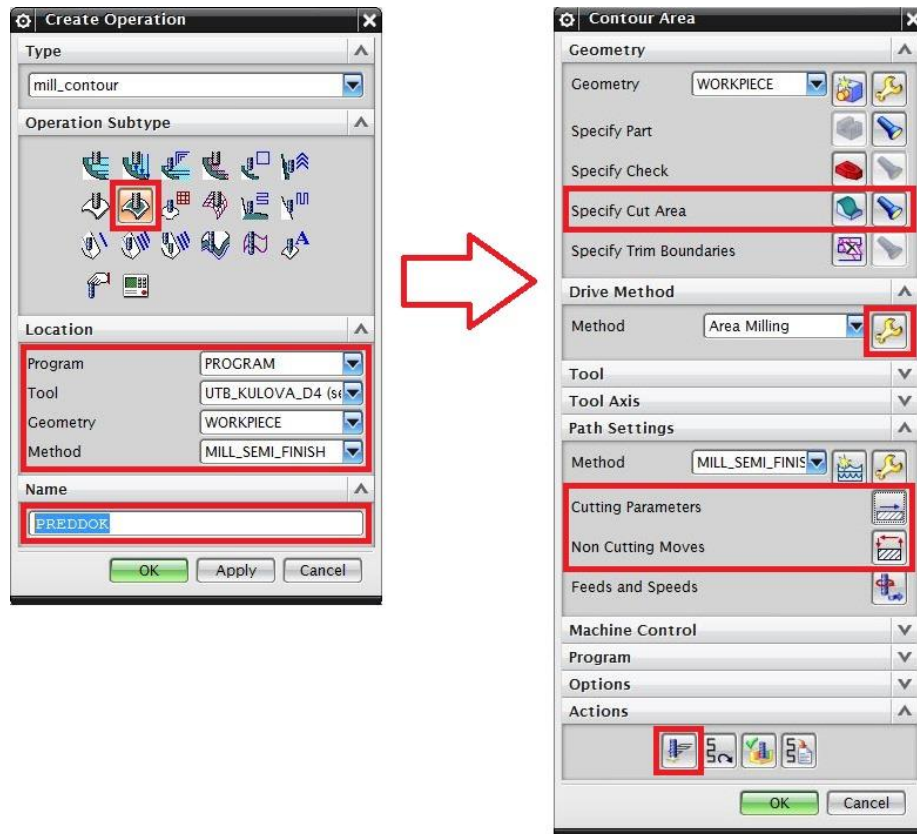


Obr. 26. Nastavení vedlejších pohybů - dohrubování

Po nastavení všech parametrů vygenerujeme dráhy nástroje.

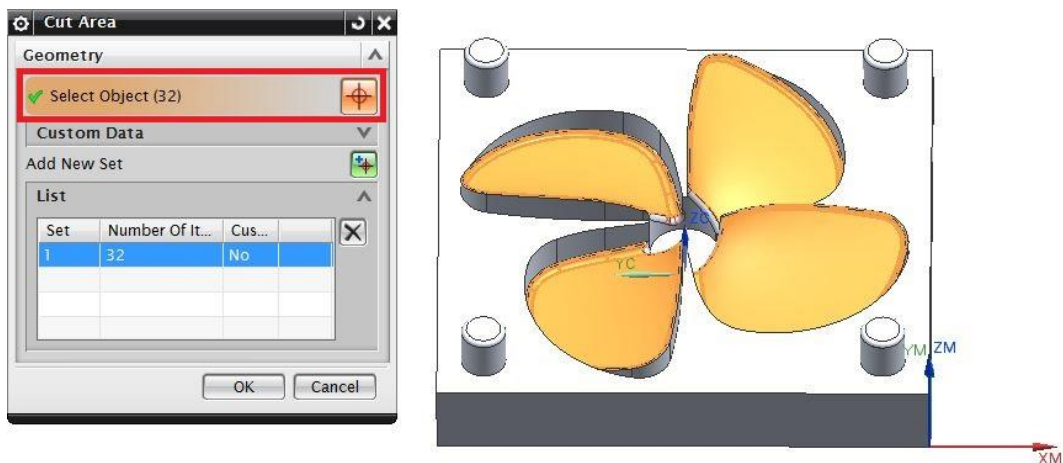
6.5.3 Předdokončení

Pro předdokončení zvolíme operaci Contour Area a obdobně jako u dohrubování nastavíme úvodní tabulku. Tedy umístění programu do PROGRAM, nástrojem je UTB_KULOVA_D4, geometrií je WORKPIECE. Metodu obrábění zvolíme MILL_SEMI_FINISH. Operaci nazveme PREDDOK a potvrdíme OK.



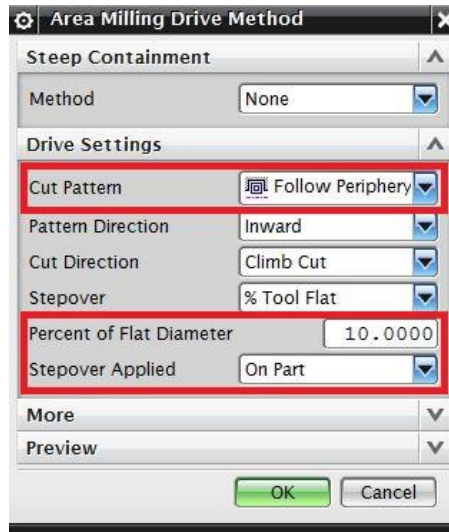
Obr. 27. Vytvoření nové operace - předdokončení

V dalším kroku pod záložkou Geometry vybereme příkaz Specify Cut Area, kde označíme podle obrázku 28 oblast, která se bude obrábět.



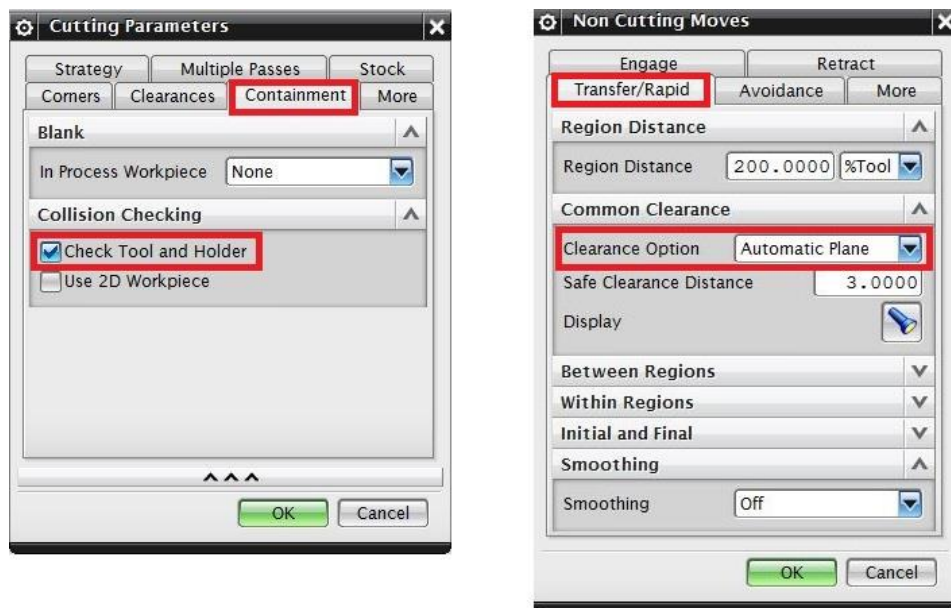
Obr. 28. Výběr obráběné oblasti – předdokončení

Otevřeme příkaz Edit v Drive Method a nastavíme Cut Pattern na Follow Periphery. Hodnotu u Percent of Flat Diameter přepíšeme na 10% a položku Stepover Applied nastavíme na On Part.



Obr. 29. Nastavení metody obrábění - předdokončení

Po otevření příkazu Cutting Parameters pod záložkou Containment označíme možnost Check Tool and Holder. V příkazu Non Cutting Moves pod záložkou Transfer/Rapid zvolíme v položce Clearance Option možnost Automatic Plane.

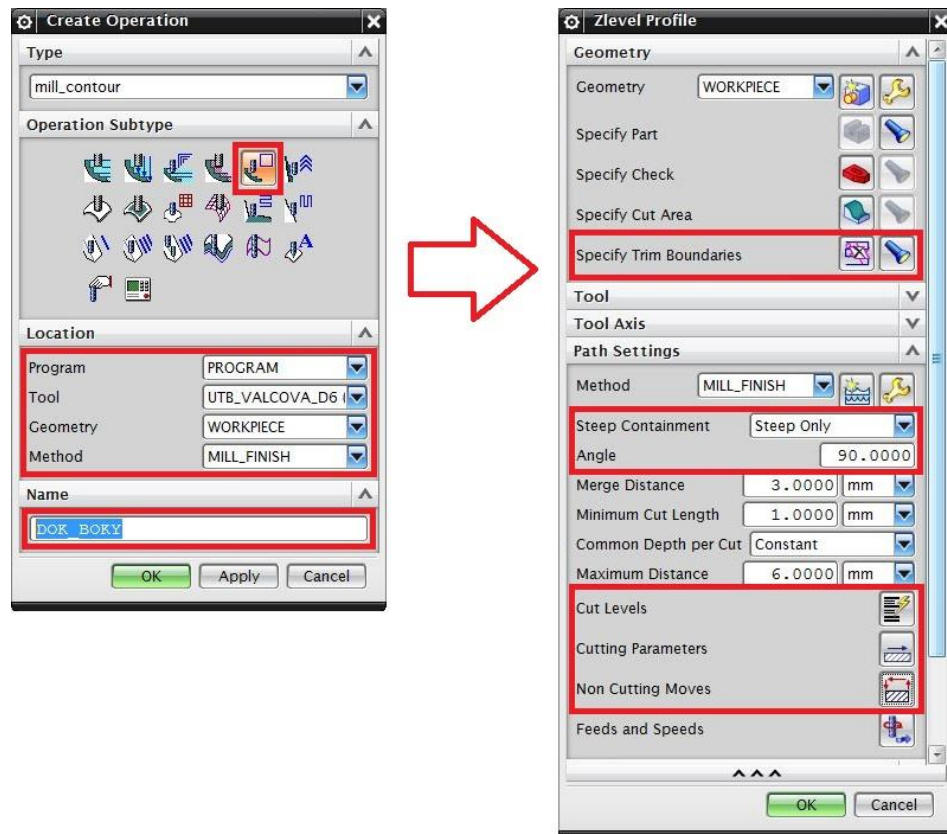


Obr. 30. Nastavení řezných parametrů - předdokončení

Po nastavení všech parametrů vygenerujeme dráhy nástroje.

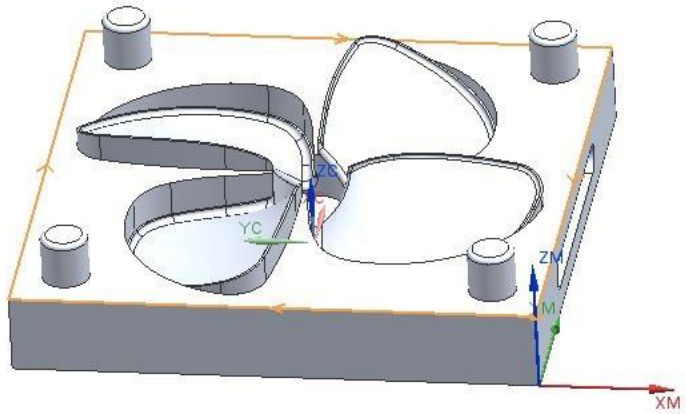
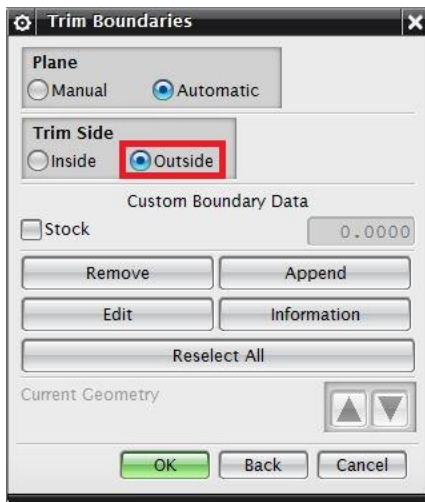
6.5.4 Dokončení strmých stěn

Pro dokončení strmých stěn zvolíme operaci Zlevel Profile a obdobně jako u předchozí operace nastavíme úvodní tabulku. Tedy umístění programu do PROGRAM, nástrojem je UTB_VALCOVA_D6, geometrií je WORKPIECE. Metodu obrábění zvolíme MILL_FINISH, která dokončí součást na požadovaný rozměr. Operaci nazveme DOK_BOKY a potvrdíme OK.



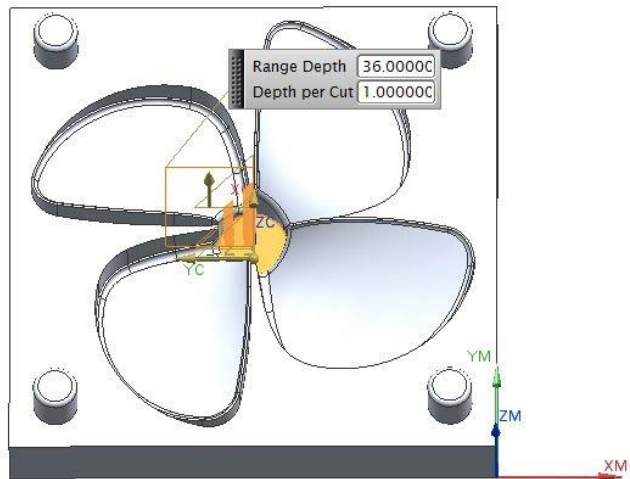
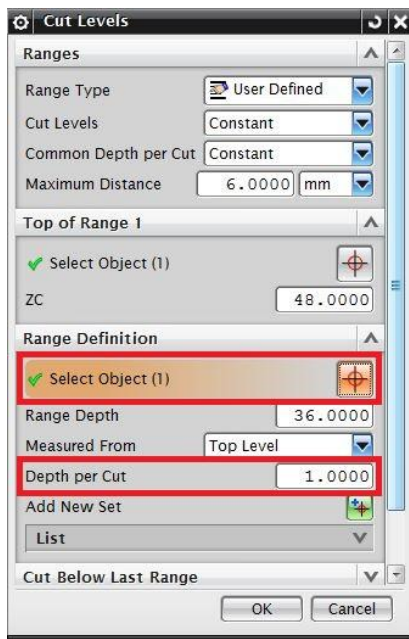
Obr. 31. Vytvoření nové operace – dokončení strmých ploch

V dalším kroku pod záložkou Geometry příkazem Specify Trim Boundaries nastavíme hranice podle obrázku 32, kde se nebude obrábět a Trim Side nastavíme na Outside.



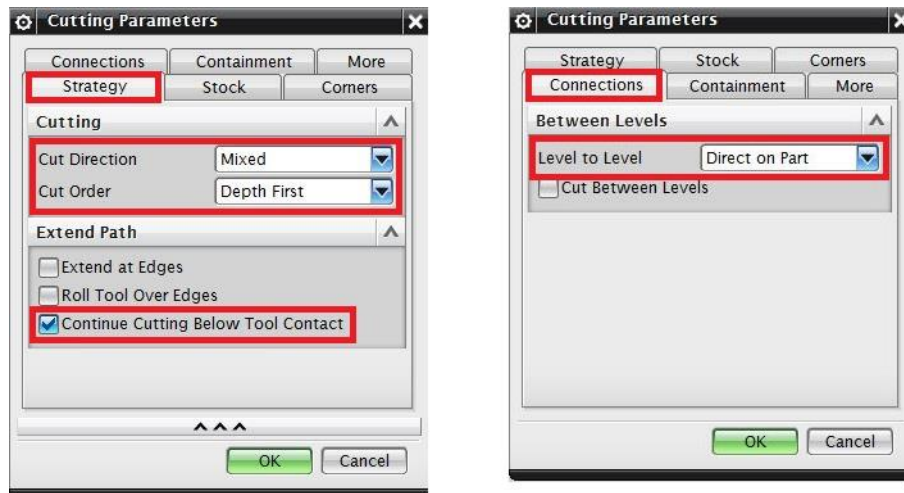
Obr. 32. Nastavení hranice – dokončení strmých ploch

V záložce Path Settings nastavíme položku Steep Containment na Steep Only a Angle přepíšeme na 90. Otevřeme příkaz Cut Levels a v záložce Range Definition vybereme příkazem Select Object plochu podle obrázku 33. Pak zde položku Depth per Cut přepíšeme na 1.



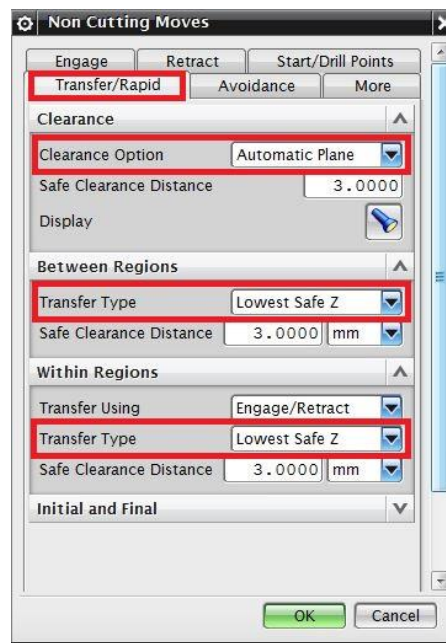
Obr. 33. Nastavení parametrů – dokončení strmých ploch

Po otevření příkazu Cutting Parameters v záložce Strategy změníme Cut Direction na Mixed, Cut Order na Depth First a zvolíme možnost Continue Cutting Below Tool Contact. Dále v záložce Connections zvolíme v položce Level to Level možnost Direct on Part.



Obr. 34. Nastavení řezných parametrů – dokončení strmých ploch

Kontrolu kolize nevybíráme, nástroj by se musel více vyložit z upínače, aby nedošlo ke kolizi. V příkazu Non Cutting Moves pod záložkou Transfer/Rapid zvolíme v položce Clearance Option možnost Automatic Plane a položky Transfer Using změníme na Lowest Safe Z.

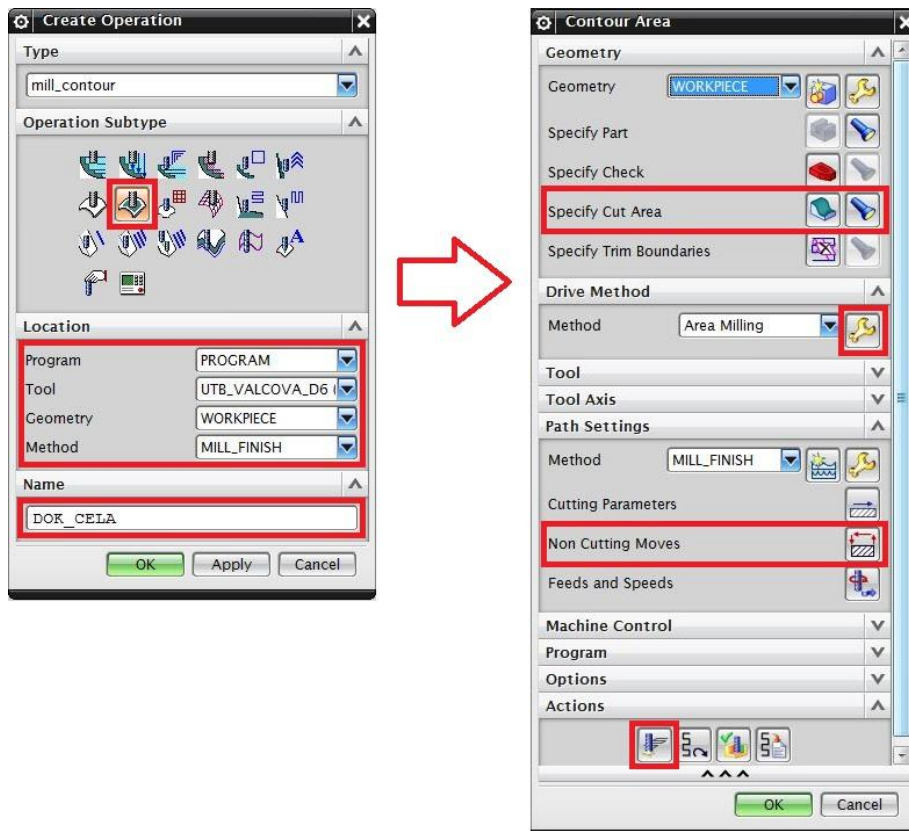


Obr. 35. Nastavení vedlejších pohybů – dokončení strmých ploch

Po nastavení všech parametrů vygenerujeme dráhy nástroje.

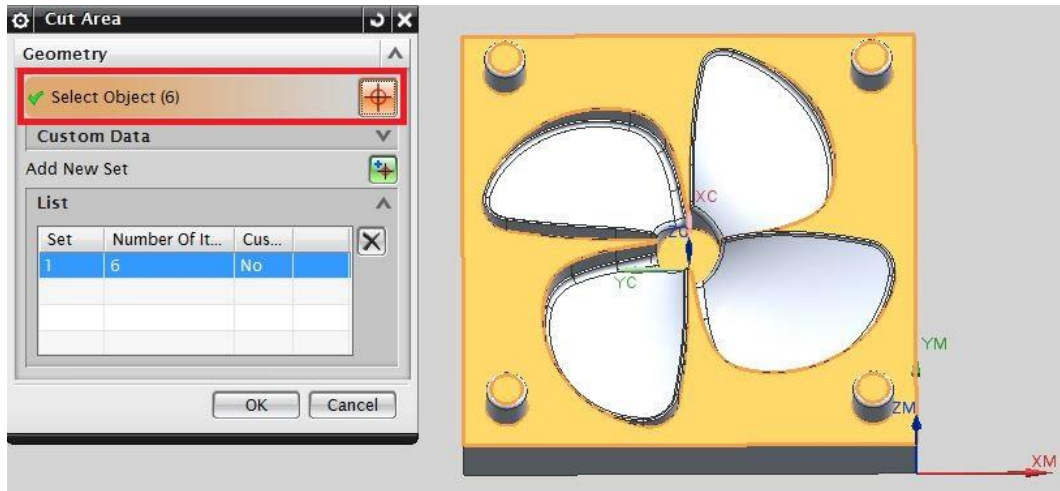
6.5.5 Dokončení čelních ploch

Pro dokončení čelních ploch zvolíme operaci Contour Area a obdobně jako u předchozí operace nastavíme úvodní tabulku. Tedy umístění programu do PROGRAM, nástrojem je UTB_VALCOVA_D6, geometrií je WORKPIECE. Metodu obrábění zvolíme MILL_FINISH. Operaci nazveme DOK_CELA a potvrdíme OK.



Obr. 36. Vytvoření nové operace – dokončení čelních ploch

V dalším kroku pod záložkou Geometry vybereme příkaz Specify Cut Area, kde označíme podle obrázku 37 oblast, která se bude obrábět.



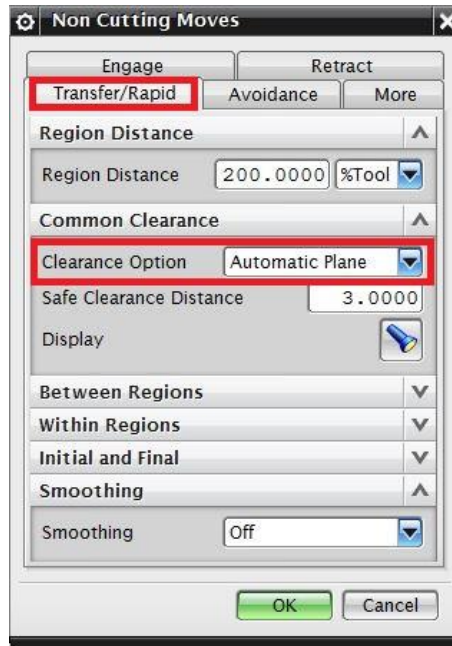
Obr. 37. Výběr obráběné oblasti – dokončení čelních ploch

Otevřeme příkaz Edit v Drive Method a nastavíme Cut Pattern na Follow Periphery.



Obr. 38. Nastavení metody obrábění – dokončení čelních ploch

V příkazu Non Cutting Moves pod záložkou Transfer/Rapid zvolíme v položce Clearance Option možnost Automatic Plane.

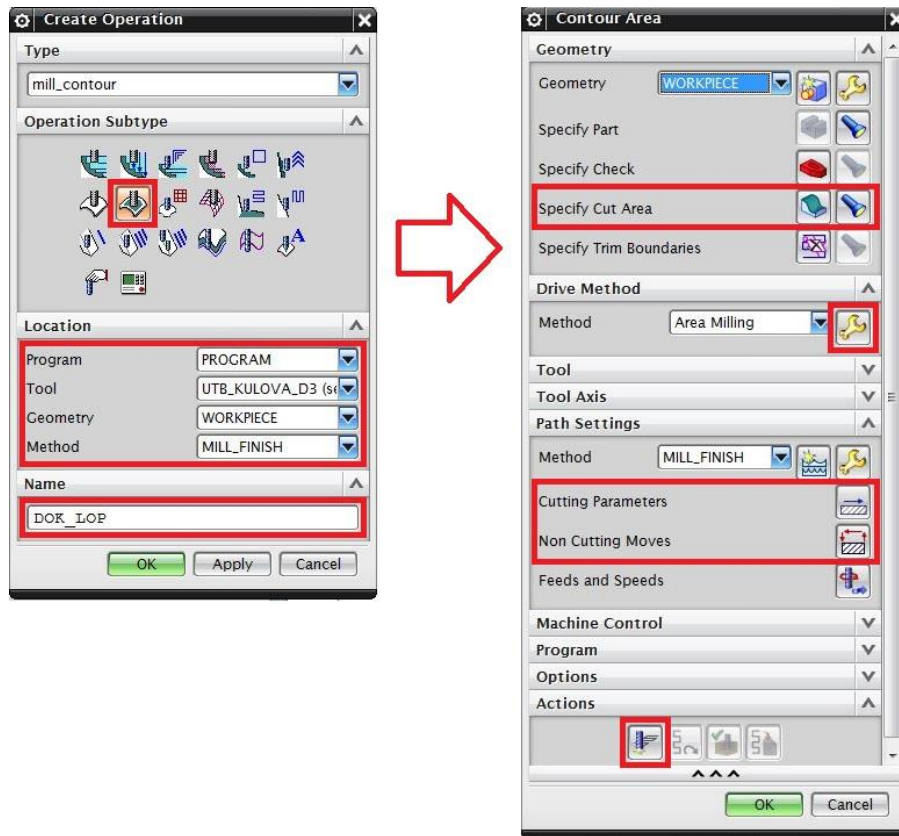


Obr. 39. Nastavení vedlejších pohybů – dokončení čelních ploch

Po nastavení všech parametrů vygenerujeme dráhy nástroje.

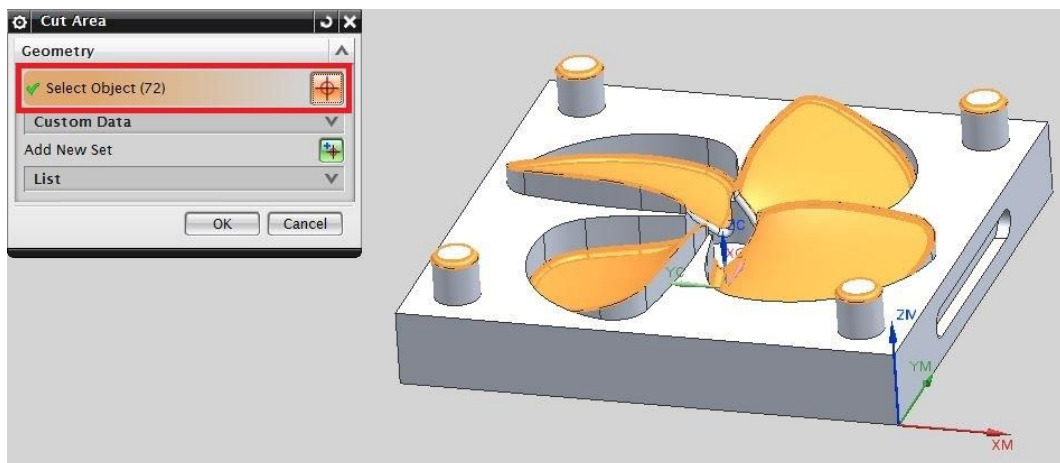
6.5.6 Dokončení lopatek

Pro dokončení lopatek zvolíme operaci Contour Area a obdobně jako u předchozí operace nastavíme úvodní tabulku. Tedy umístění programu do PROGRAM, nástrojem je UTB_KULOVA_D3, geometrií je WORKPIECE. Metodu obrábění zvolíme MILL_FINISH. Operaci nazveme DOK_LOP a potvrdíme OK.



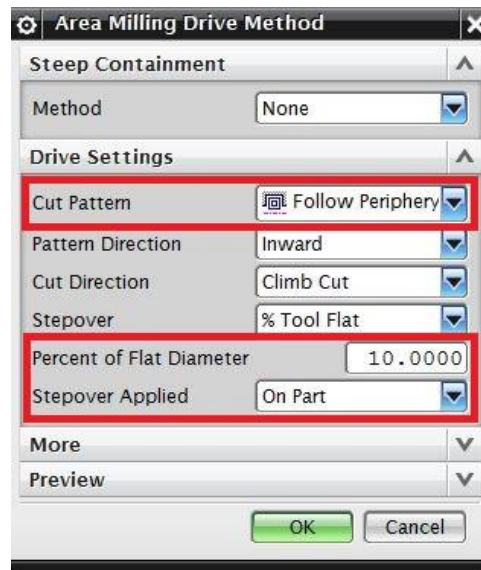
Obr. 40. Vytvoření nové operace – dokončení lopatek

V dalším kroku v části Geometry vybereme příkaz Specify Cut Area, kde označíme podle obrázku 41 oblast, která se bude obrábět.



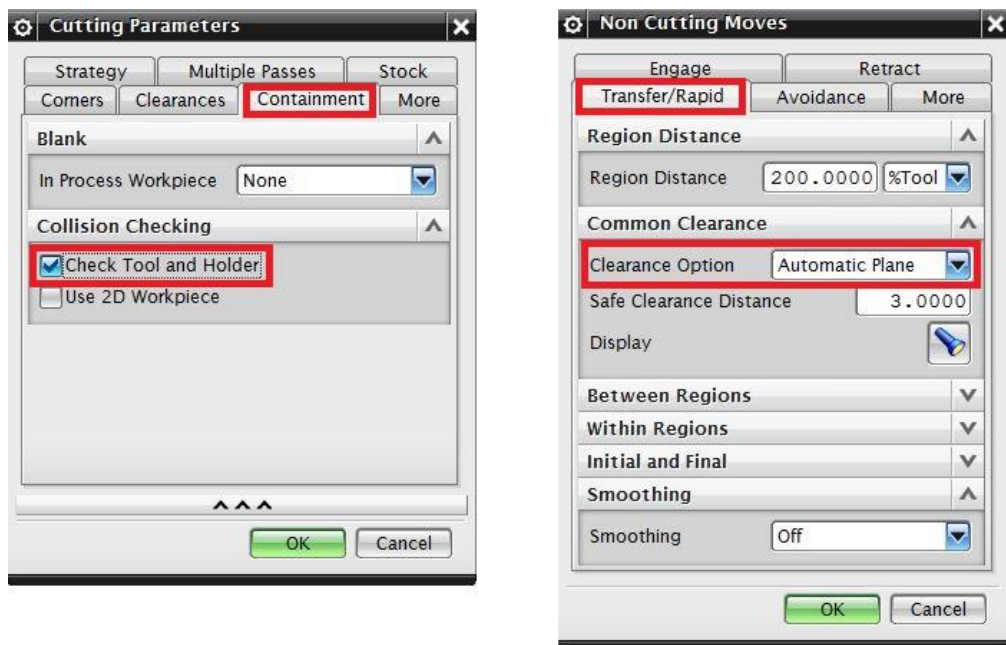
Obr. 41. Výběr obráběné oblasti – dokončení lopatek

Otevřeme příkaz Edit v Drive Method a nastavíme Cut Pattern na Follow Periphery. Hodnotu u Percent of Flat Diameter přepíšeme na 10% a položku Stepover Applied nastavíme na On Part.



Obr. 42. Nastavení metody obrábění – dokončení lopatek

Po otevření příkazu Cutting Parameters pod záložkou Containment označíme možnost Check Tool and Holder. V příkazu Non Cutting Moves pod záložkou Transfer/Rapid zvolíme v položce Clearance Option možnost Automatic Plane.

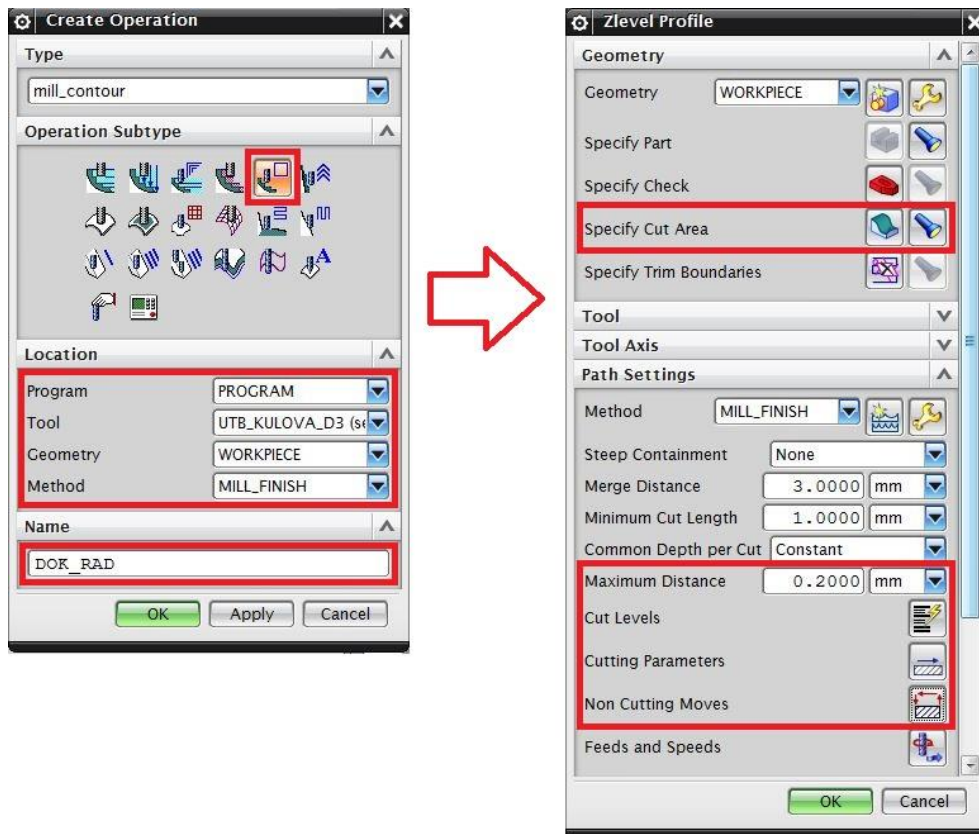


Obr. 43. Nastavení řezných parametrů – dokončení lopatek

Po nastavení všech parametrů vygenerujeme dráhy nástroje.

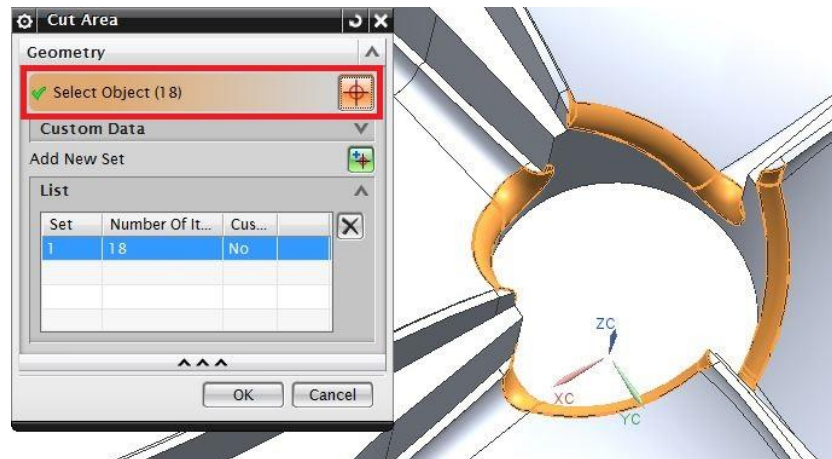
6.5.7 Dokončení rádiů

Pro dokončení rádiů zvolíme operaci Zlevel Profile a obdobně jako u předchozí operace nastavíme úvodní tabulku. Tedy umístění programu do PROGRAM, nástrojem je UTB_KULOVA_D3, geometrií je WORKPIECE. Metodu obrábění zvolíme MILL_FINISH. Operaci nazveme DOK_RAD a potvrdíme OK.



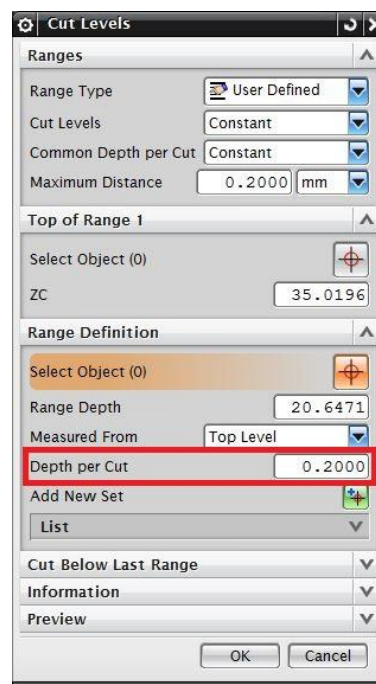
Obr. 44. Vytvoření nové operace – dokončení rádiusů

V dalším kroku pod záložkou Geometry příkazem Specify Cut Area označíme podle obrázku 45 oblast, která se bude obrábět.



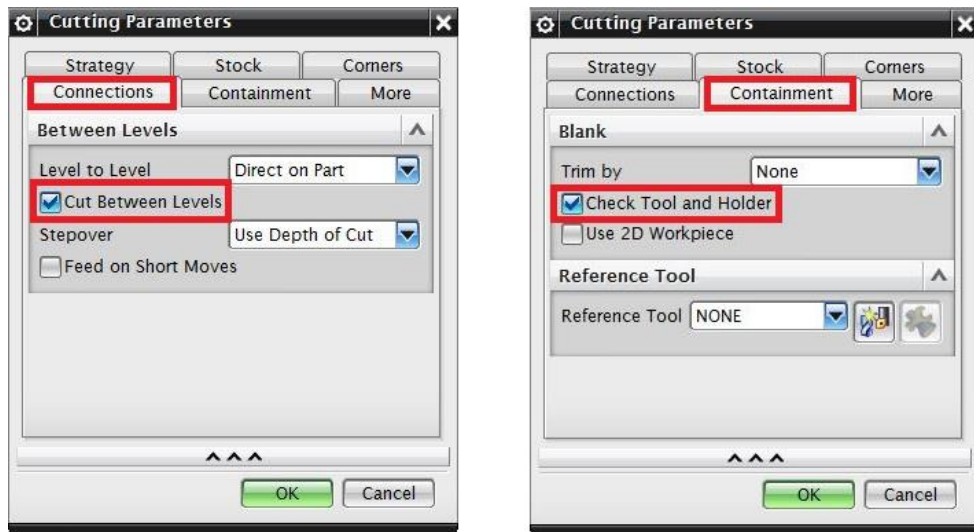
Obr. 45. Výběr obráběné oblasti – dokončení rádiusů

V záložce Path Settings nastavíme položku Maximum Distance na 0,2 mm. Otevřeme příkaz Cut Levels a v záložce Range Definition u položky Depth per Cut napíšeme 0,2 mm.



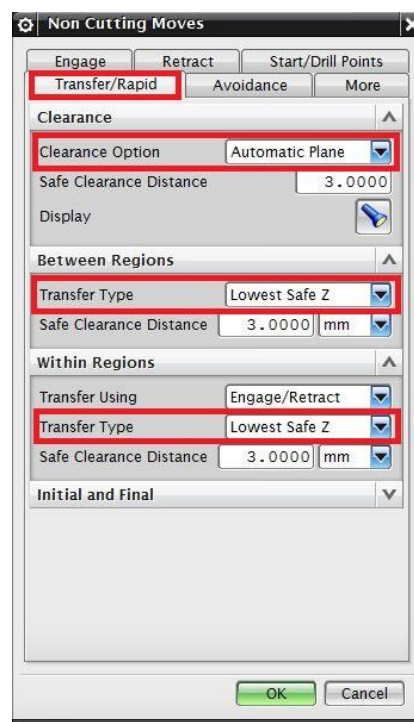
Obr. 46. Nastavení parametrů obrábění – dokončení rádiusů

Po otevření příkazu Cutting Parameters v záložce Connections zvolíme možnost Cut Between Levels. Dále v záložce Containment označíme možnost Check Tool and Holder.



Obr. 47. Nastavení řezných parametrů – dokončení rádiusů

V příkazu Non Cutting Moves pod záložkou Transfer/Rapid zvolíme v položce Clearance Option možnost Automatic Plane a položky Transfer Using změním na Lowest Safe Z.



Obr. 48. Nastavení vedlejších pohybů – dokončení rádiusů

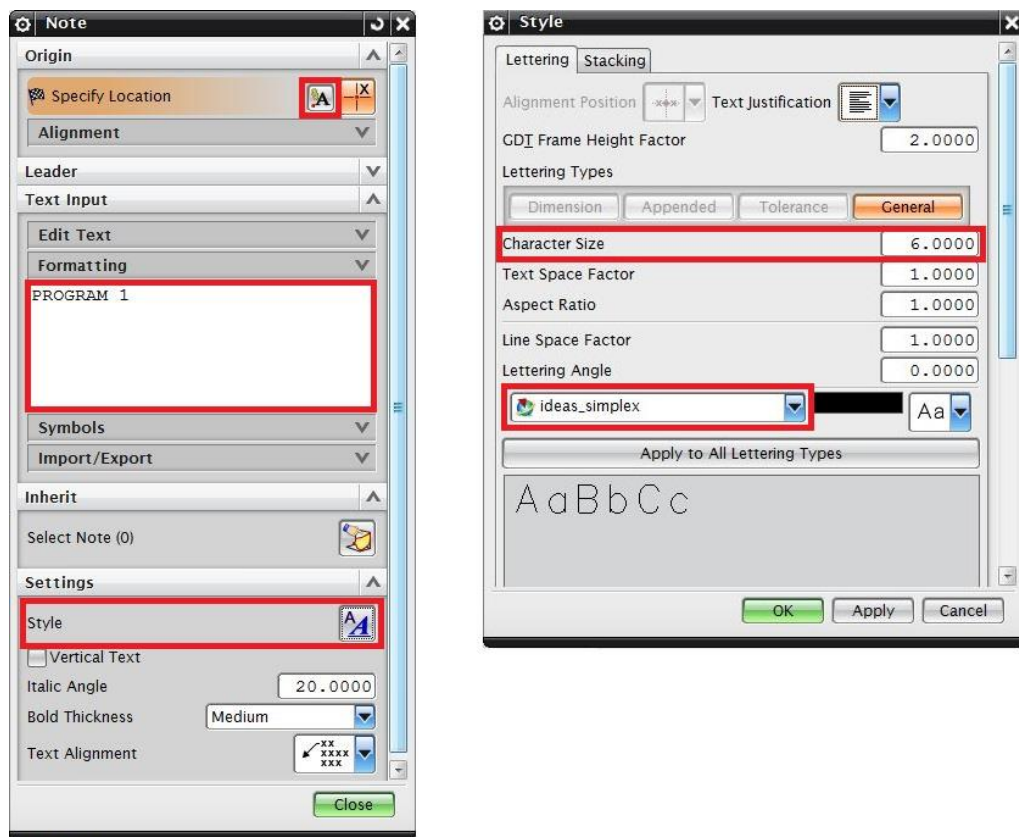
Po nastavení všech parametrů vygenerujeme dráhy nástroje.

6.5.8 Gravírování

Abychom mohli vygravírovat nějaký nápis, musíme ho nejprve vytvořit. K tomu slouží příkaz Note, který najdeme v panelu Insert.

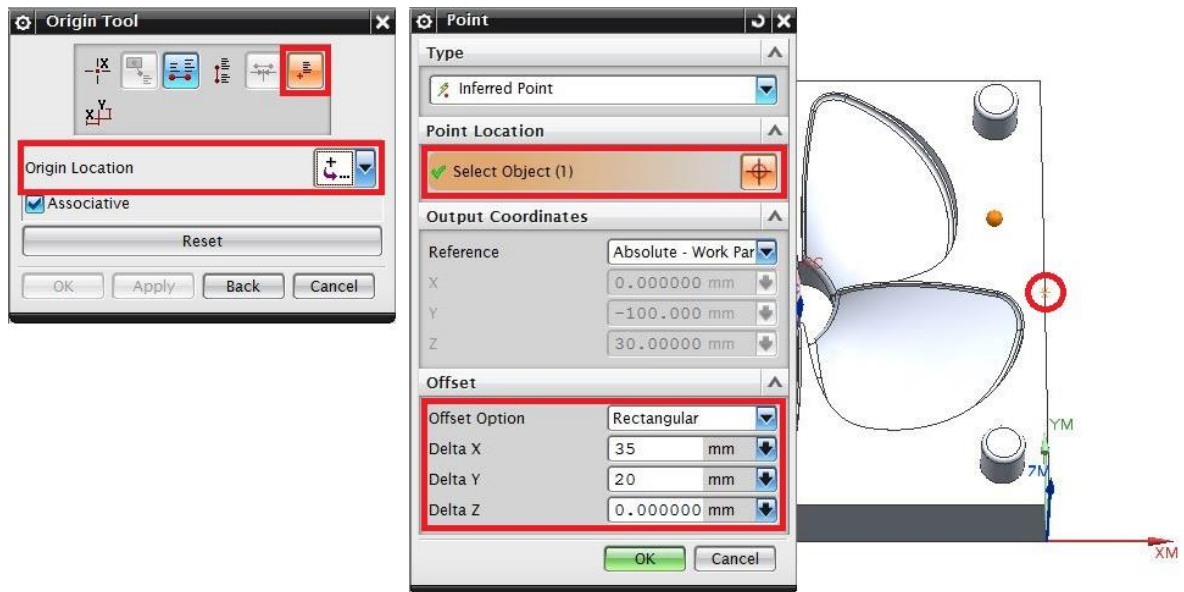
Vytvoření nápisu

Po otevření příkazu Note napíšeme do bílého pole v záložce Text Input požadovaný text, tedy PROGRAM 1. V záložce Settings a položce Style nastavíme velikost a styl písma tak, že do položky Character Size napíšeme 6 a zvolíme písmo ideas_simplex.



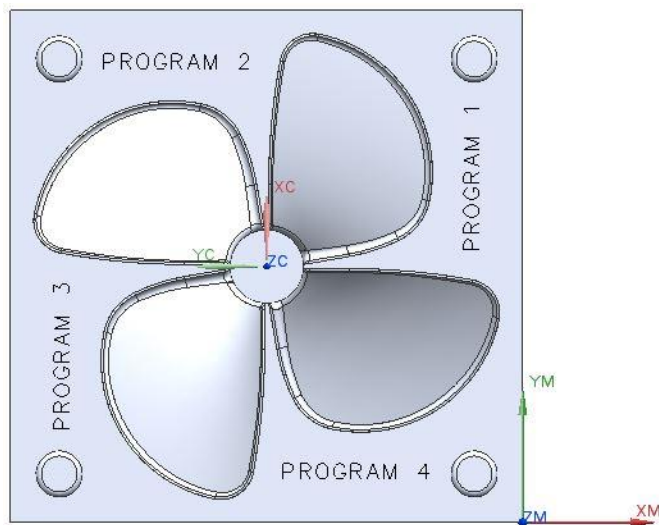
Obr. 49. Vytvoření textu

Po potvrzení v záložce Origin a položce Specify Location otevřeme příkaz Origin Tool. Označíme možnost Point Constructor a v Origin Location zvolíme Point Constructor. Vybereme bod ve středu hrany a v záložce Offset možnost Rectangular. Do položky Delta X zapíšeme 35 mm, do Delta Y zapíšeme 20 mm a potvrdíme OK a zavřeme Cancel.



Obr. 50. Určení polohy textu

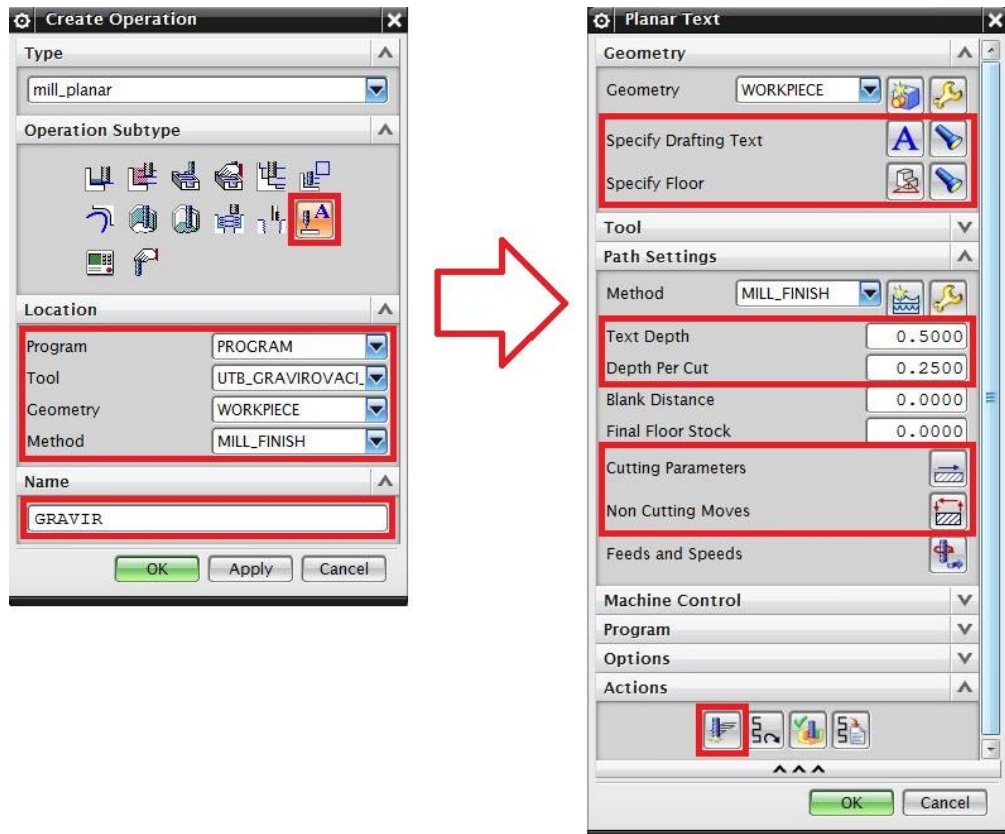
Obdobným způsobem vytvoříme a umístíme další text PROGRAM 2, PROGRAM 3 a PROGRAM 4 podle obrázku. Pro pootočení textu slouží položka Lettering Angle v příkazu Style.



Obr. 51. Náhled vytvořeného textu

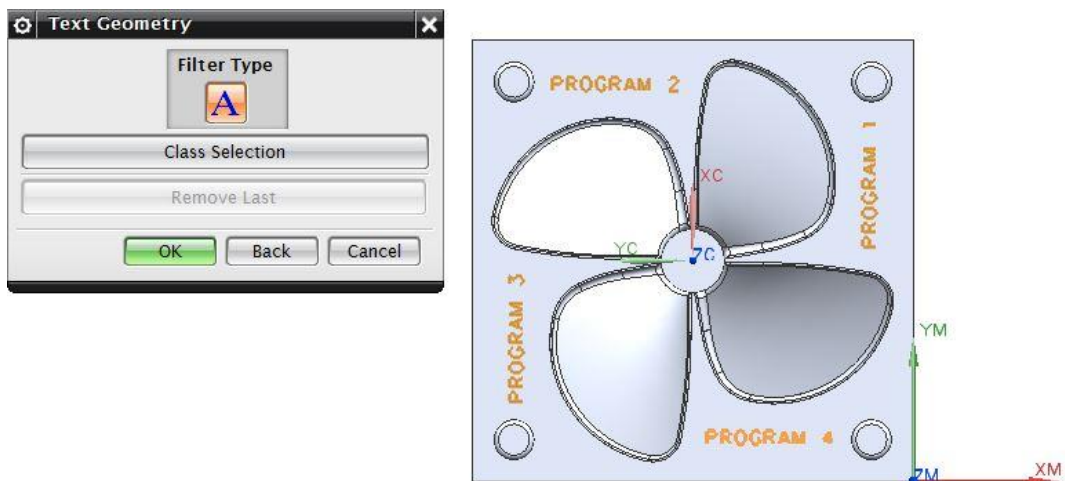
Vytvoření řezných drah gravírování

Pro gravírování textu zvolíme operaci Planar Text ze skupiny operací mill_planar a obdobně jako u předchozí operace nastavíme úvodní tabulku. Tedy umístění programu do PROGRAM, nástrojem je UTB_GRAVIROVACI_D4A60, geometrií je WORKPIECE. Metodu obrábění zvolíme MILL_FINISH. Operaci nazveme GRAVIR a potvrdíme OK.



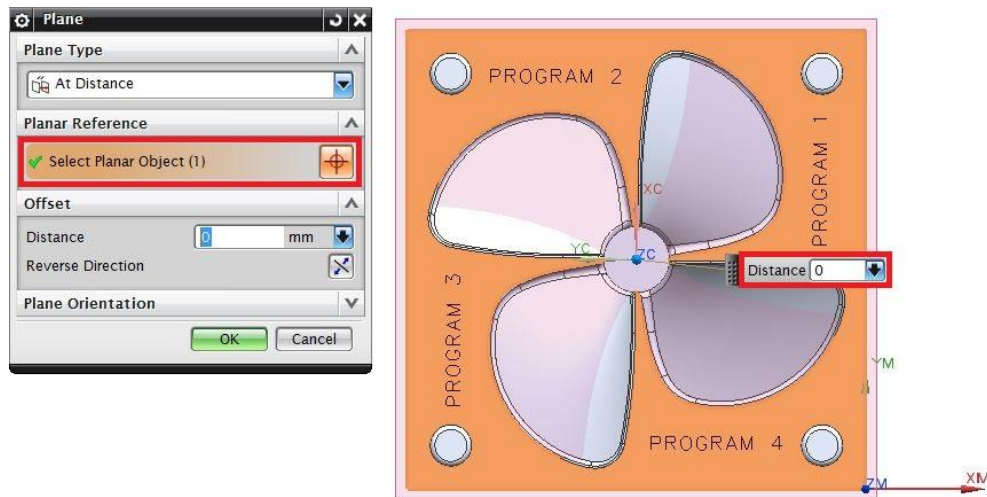
Obr. 52. Vytvoření nové operace - gravírování

V dalším kroku pod záložkou Geometry vybereme příkaz Specify Drafting Text, kde označíme všechny text.



Obr. 53. Výběr textu ke gravírování

V příkazu Specify Floor nastavíme podle obrázku 54 výchozí rovinu.



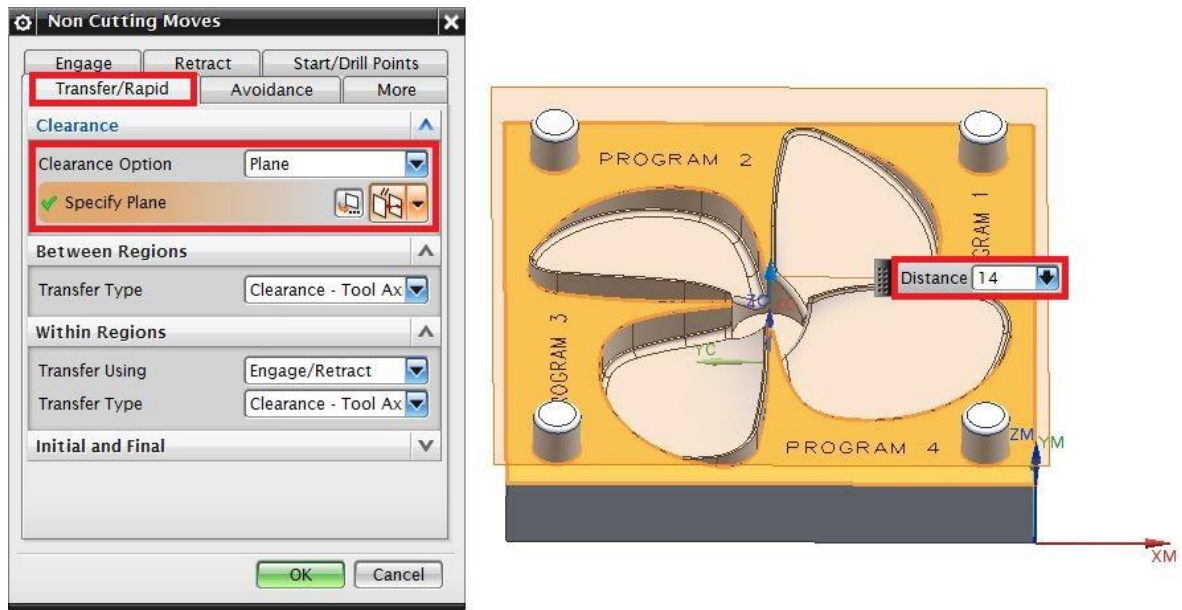
Obr. 54. Nastavení výchozí roviny

V záložce Path Settings nastavíme položku Text Depth na 0,5 a Depth Per Cut na 0,25. Po otevření příkazu Cutting Parameters pod záložkou Strategy zvolíme v položce Cut Order možnost Depth First.



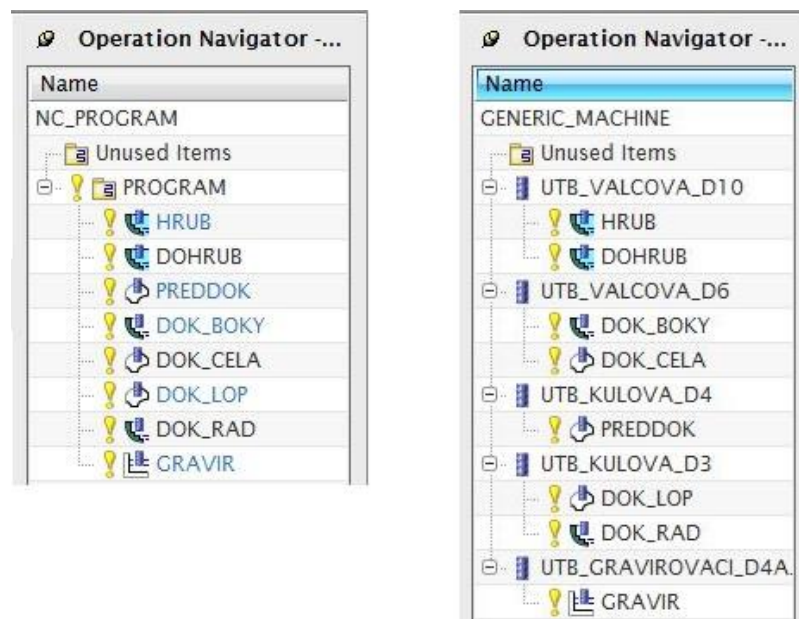
Obr. 55. Nastavení řezných parametrů - gravírování

V příkazu Non Cutting Moves pod záložkou Transfer/Rapid zvolíme v položce Clearance Option možnost Plane a nastavíme rovinu podle obrázku 56 ve vzdálenosti 14 mm.



Obr. 56. Nastavení vedlejších pohybů - gravírování

Po nastavení všech parametrů vygenerujeme dráhy nástroje.



Obr. 57. Seznam vytvořených operací

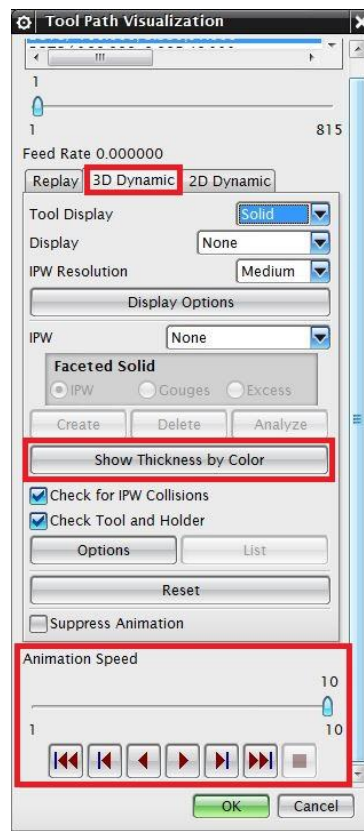
6.6 Verifikace vytvořeného programu

Po vytvoření operace je možné provést její verifikaci nebo celého programu. To provedeme označením operace (programu) a spuštěním příkazu Verify Tool Path v panelu Operations. Nabízí se možnost verifikace ve 3D pod záložkou 3D Dynamic nebo 2D pod záložkou 2D

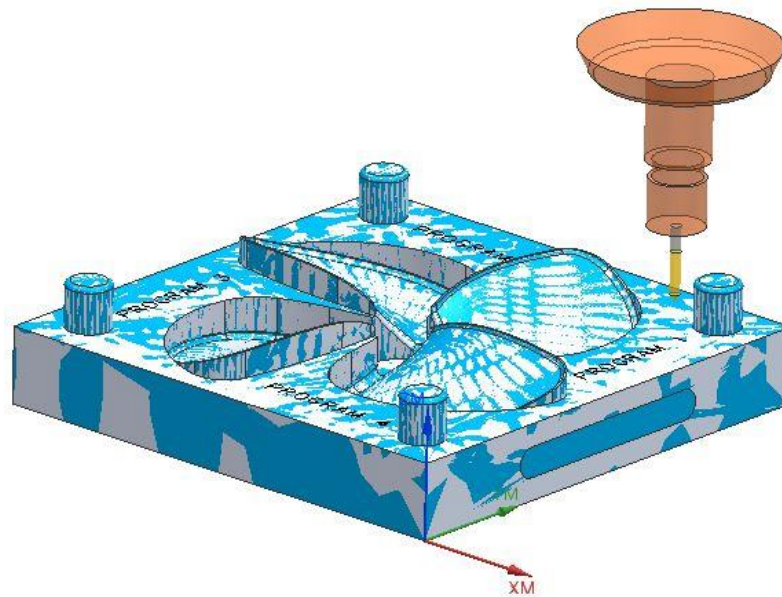
Dynamic. K ovládání průběhu verifikace slouží panel obdobný panelu v hudebních přehrávačích.

6.6.1 3D Dynamic

Tato verifikace umožňuje během simulace a po jejím skončení libovolně manipulovat s modelem.

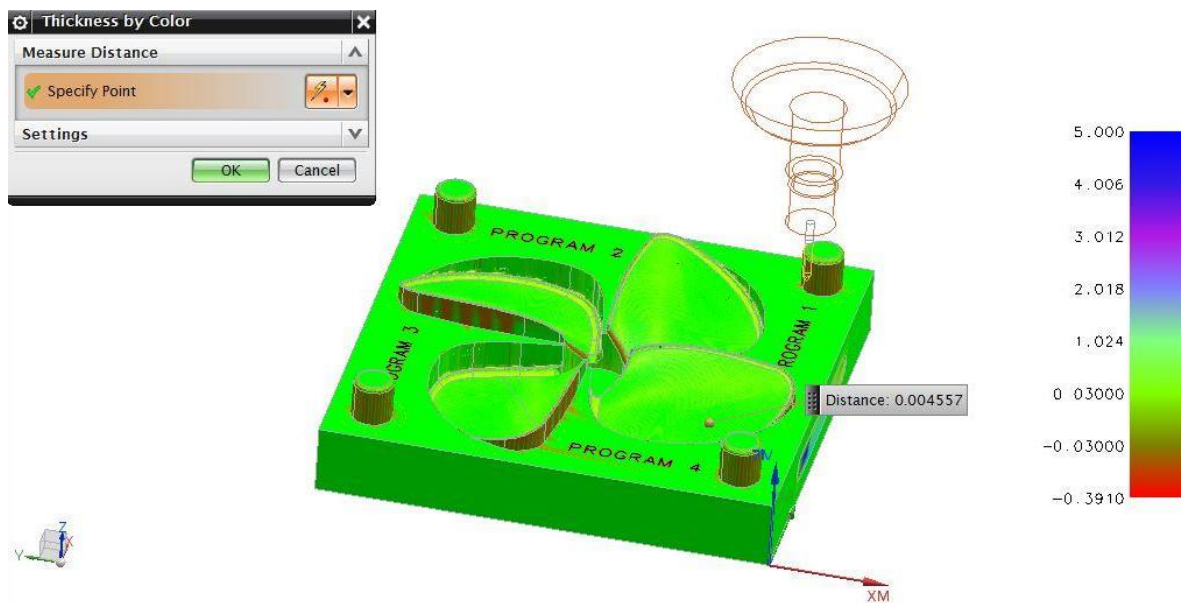


Obr. 58. Panel 3D verifikace



Obr. 59. Součást po 3D verifikaci

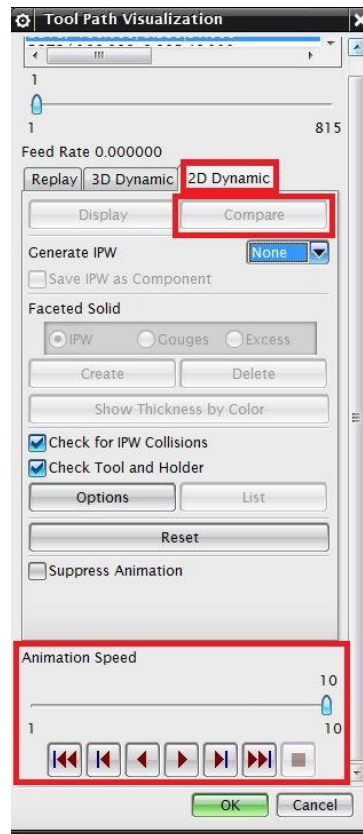
Po spuštění příkazu Show Thickness by Color se zobrazí obrobený barevný model po dané operaci. Barevná škála zobrazuje, kolik materiálu je potřeba ještě odebrat, aby byl model obroben na čisto. Kliknutím na dané místo se zobrazí množství zbývajícího materiálu.



Obr. 60. Součást po 3D verifikaci s barevným rozlišením zbývající tloušťky

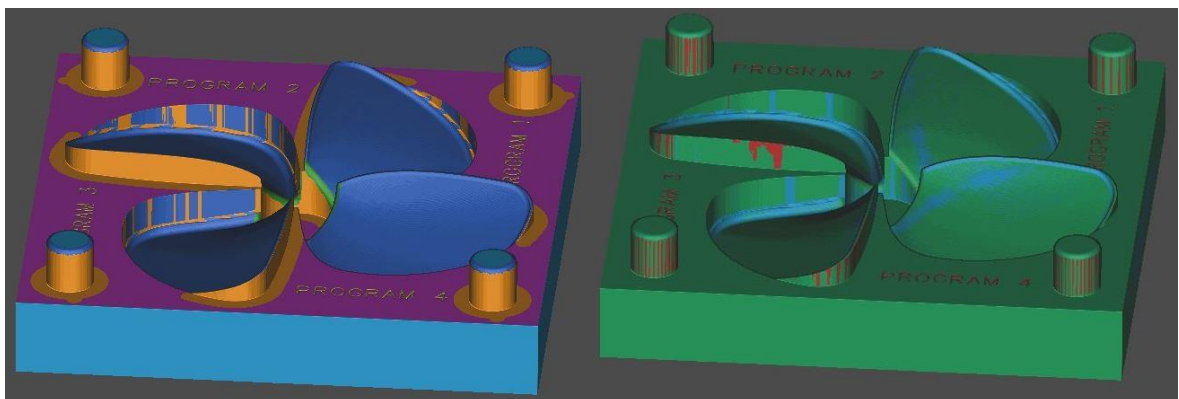
6.6.2 2D Dynamic

Tato verifikace neumožňuje jakoukoliv manipulaci s modelem ať už v průběhu simulace, nebo po ní.



Obr. 61. Panel 2D verifikace

Každá operace je v průběhu simulace jinak barevně odlišena. Po proběhnutí verifikace lze příkazem Compare porovnat zbývající materiál vůči modelu. Zelená barva znázorňuje dokončenou plochu.



Obr. 62. Součást po 2D verifikaci

6.7 Slovník použitých pojmů

Angle

Úhel

Automatic Plane	Automatická rovina
Bounding Block	Ohraničující blok
Cavity Mill	Frézování dutin
Clearance Option	Volba bezpečné vzdálenosti
Continue Cutting Below Tool Contact	Pokračování řezných drah nástroje
Create Operation	Vytvoření operace
Create Tool	Vytvoření nástroje
Cut Between Levels	Řezat mezi úrovněmi
Cut Direction	Směr řezání
Cut Levels	Úrovně řezání
Cut Order	Pořadí řezání
Cut Pattern	Styl řezání
Cutting Parameters	Řezné parametry
Depth First	První hloubka
Depth per Cut	Hloubka řezu
Direct on Part	Přímo na součásti
Display	Zobrazení
Folder	Složka
Follow Periphery	Postupovat podle obvodu
Generate	Vytvořit
Geometry	Geometrie
Geometry View	Zobrazení geometrie
Character Size	Velikost písma
Import	Vložit
In Process Workpiece	Obrobek v procesu

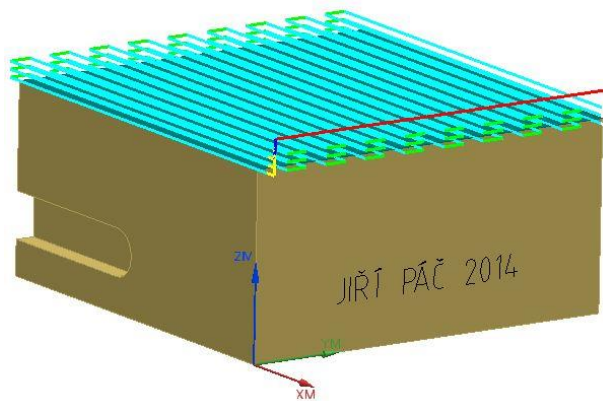
Inward	Směrem dovnitř
Lettering Angle	Úhel písma
Level to Level	Z úrovně do úrovně
Lowest Safe Z	Nejnižší bezpečná vzdálenost v ose Z
Machine Tool View	Zobrazení vytvořených nástrojů
Machining Environment	Obráběcí prostředí
Manufacturing	Výrobní
Maximum Distance	Maximální vzdálenost
Method	Frézování obrysů
Mill Finish	Dokončení
Mill Planar	Plošné frézování
Mill Rough	Hrubování
Mill Semi Finish	Předdokončení
Milling	Frézování
Mixed	Smíšené
Name	Název
New	Nový
Non Cutting Moves	Vedlejší pohyby
Note	Poznámka
On Part	Na součásti
Operation Navigator	Navigátor operace
Origin	Počátek
Origin Location	Původní poloha
Origin Tool	Původní nástroj
Outside	Vnější

Path Settings	Nastavení drah
Pattern Direction	Směr stylu frézování
Percent of Flat Diameter	Procento průměru nástroje
Point Constructor	Bod pomocí souřadnic
Preview	Náhled
Program Order View	Zobrazení vytvořených operací
Range Definition	Definice rozsahu
Rectangular	Obdélníkový
Retrieve Tools from Library	Načíst nástroje z knihovny
Settings	Nastavení
Specify Blank	Určit polotovar
Specify Cut Area	Určit obráběnou oblast
Specify Location	Určit polohu
Specify Part	Určit součást
Steep Only	Pouze strmé
Stepover Applied	Šířka záběru
Style	Styl
Text Depth	Hloubka textu
Text Input	Vložit text
Tool	Nástroj
Transfer Type	Typ posuvu
Transfer/Rapid	Posuv/rychloposuv
Trim Side	Oříznout stranu
Use Level Based	Použít založený na úrovni
Workpiece	Obrobek

7 PROGRAMOVÁNÍ VYRÁBĚNÉ SOUČÁSTI

7.1 Programování polotovaru

Jednotlivé plochy byly zarovnány pomocí operace Floor and Wall a válcové frézy ϕ 8 mm. K vytvoření děr a boční drážky byla použita operace CavityMill a válcová fréza ϕ 6 mm. Příkazem Note byl vytvořen požadovaný text a operací Planar Text byly vytvořeny dráhy gravírovací frézy.



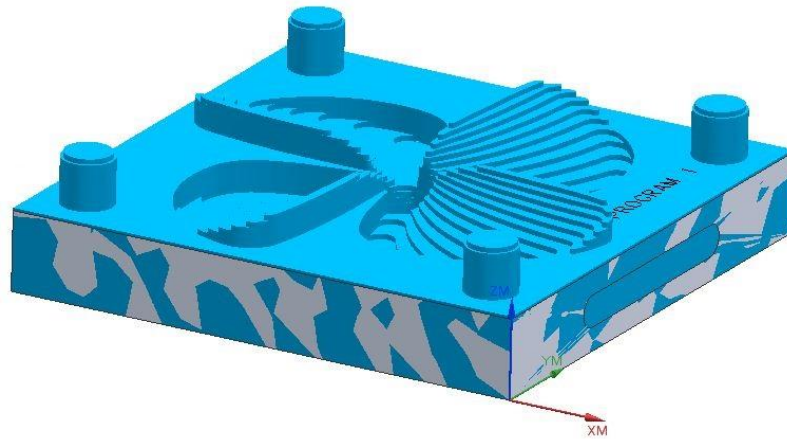
Obr. 63. Programování polotovaru

7.2 Programování součásti

Pro naprogramování vyráběné součásti se postupovalo podle postupu v předchozí kapitole, s tím že jednotlivé operace byly rozděleny na dílčí operace. To aby nebyla obrobena plocha, která už nemá být dále obráběna, a vynikl tak rozdíl operací hrubování, dohrubování, předdokončení a dokončení na jednotlivých polotovarech.

7.2.1 Hrubování součásti

Vytvoření operace hrubování je shodné s postupem v předchozí kapitole, tedy pomocí operace Cavity Mill a válcové frézy o ϕ 10 mm.



Obr. 64. Součást po hrubování

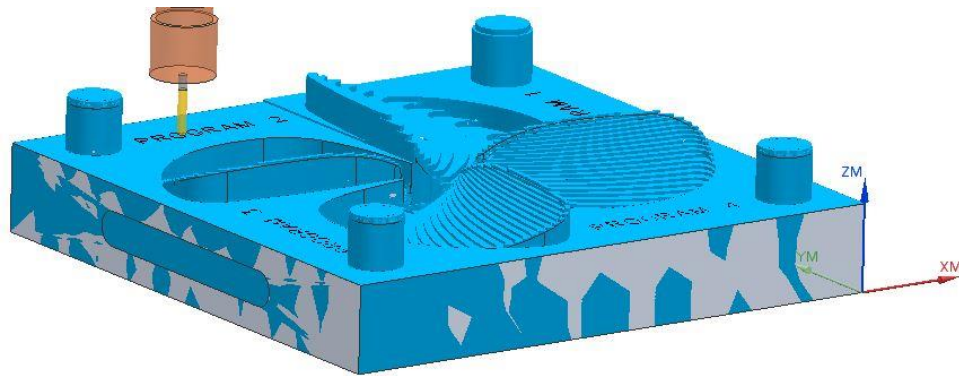
7.2.2 Dohrubování součásti

Dohrubování bylo vytvořeno z pěti operací použitím válcové frézy o ϕ 10 mm. Pro dohrubování, dohrubování boku a dohrubování dutiny byla zvolena operace Cavity Mill. V každé operaci byla příkazem Specify Cut Area vybrána určitá obráběná oblast a příkazem Specify Trim Boundaries nastaveny hranice oblasti, která nemá být obráběna.

U operace dohrubování boku byly v položce Part Floor Stock pod příkazem Cutting Parameters nastaveny 2 mm.

Pro dohrubování čela byla zvolena operace Contour Area a příkazem Specify Cut Area byla zvolena čelní plocha a příkazem Specify Trim Boundaries označeny hranice.

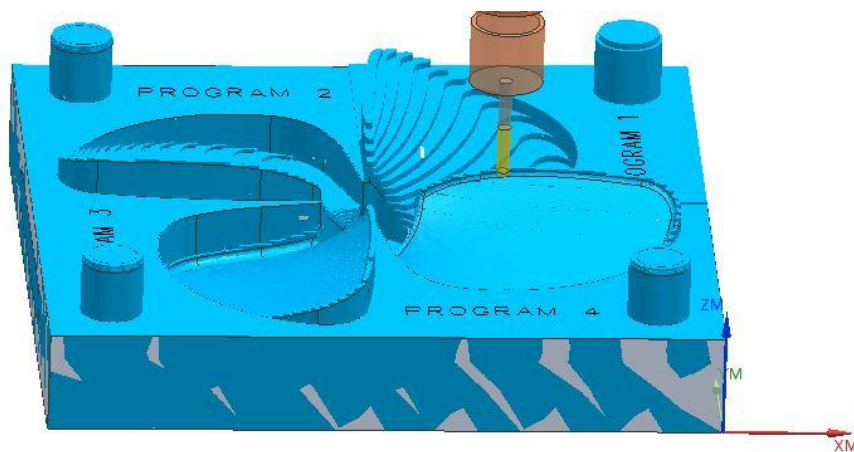
Pro dohrubování dna dutiny byla použita operace Contour Area a válcová fréza o ϕ 6 mm. Stejným způsobem byla nastavena obráběná a neobráběná oblast. Zbývající parametry byly nastaveny jako v postupu. Na zbytkové obrábění čela byla použita operace Rest Milling a válcová fréza o ϕ 3 mm. Zde byla nastavena obráběná oblast a hranice jako v předchozí operaci.



Obr. 65. Součást po dohrubování

7.2.3 Předdokončení součásti

Pro předdokončení lopatky byla použita operace Contour Area a kulová fréza o ϕ 4 mm. Příkazem Specify Cut Area byla vybrána obráběná oblast a zbývající parametry byly nastaveny jako v postupu.



Obr. 66. Součást po předdokončení

7.2.4 Dokončení součásti

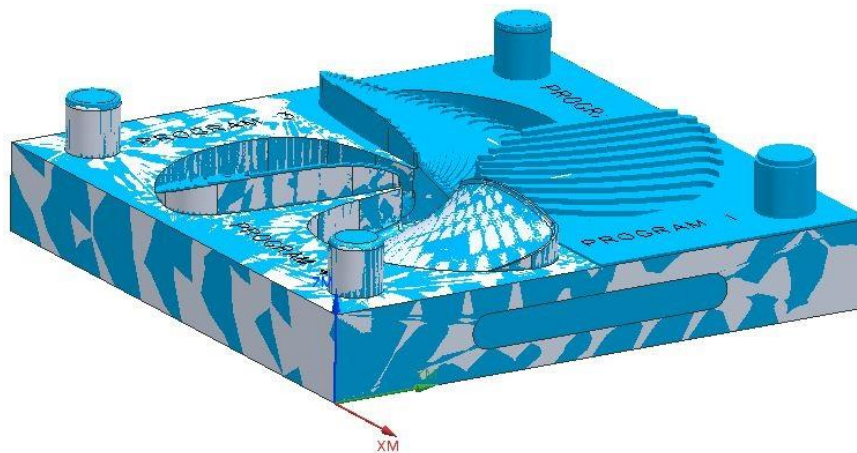
Dokončení strmých a čelních ploch bylo vytvořeno z pěti operací a pomocí válcové frézy o ϕ 6 mm. Na dokončení boků byly použity dvě operace Cavity Mill. V každé operaci byla příkazem Specify Cut Area vybrána určitá obráběná oblast a příkazem Specify Trim Boundaries nastaveny hranice oblasti, která nemá být obráběna. V jedné operaci byl v poloze Part Floor Stock pod příkazem Cutting Parameters nastaven 1 mm.

Na dokončení dna a čela byly použity operace Contour Area. V každé operaci byla příkazem Specify Cut Area vybrána určitá obráběná oblast a příkazem Specify Trim Boundaries

nastaveny hranice oblasti, která nemá být obráběna. Na zbytkové obrábění čelní plochy byla použita operace Rest Milling a válčová fréza o ϕ 3 mm. Zde byla nastavena obráběná oblast a hranice jako v předchozí operaci.

Na dokončení lopatky byla použita operace Contour Area a kulová fréza o ϕ 4 mm. Příkazem Specify Cut Area byla vybrána obráběná oblast a zbývající parametry nastaveny jako v postupu.

Pro dokončení rádií byly použity operace Zlevel Profile a Contour Area a kulová fréza o ϕ 3 mm. Po vybrání obráběné oblasti byly zbývající parametry nastaveny jako v postupu.

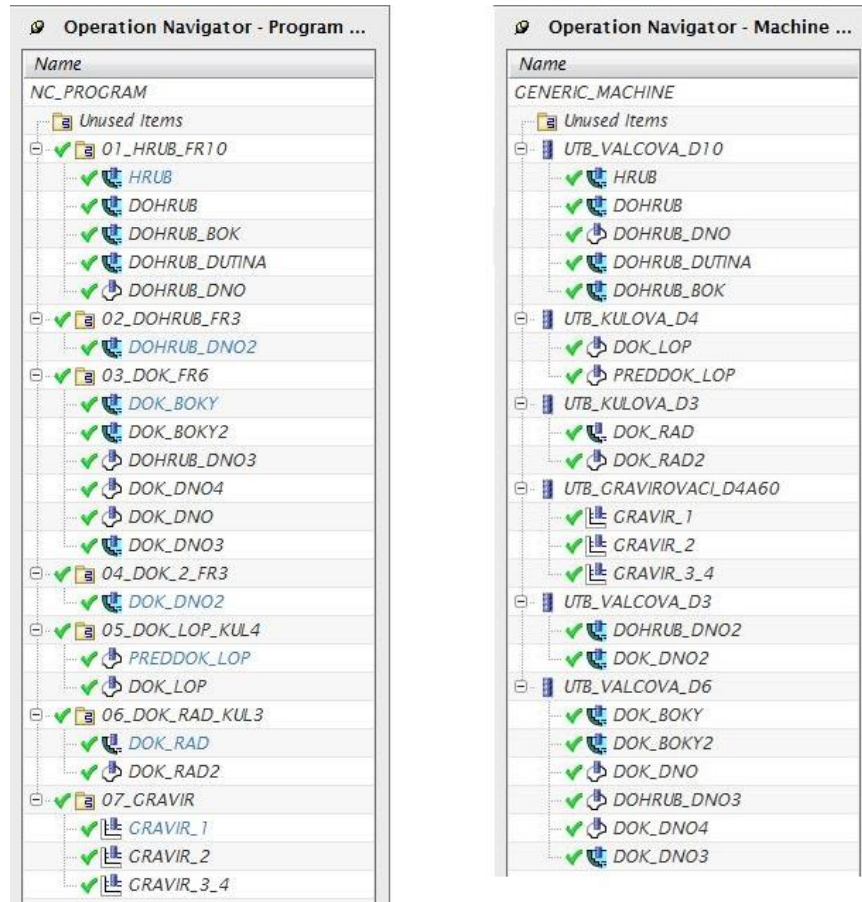


Obr. 67. Součást po dokončení

7.2.5 Gravírování součásti

Před samotným gravírováním byl podle postupu v předchozí kapitole vytvořen text. Na gravírování byla použita operace Planar Text. Jelikož se liší výška jednotlivých obrobeneých částí, byly vytvořeny tři operace Planar Text. V hrubované části (PROGRAM 1) byla příkazem Specify Floor nastavena výchozí rovina ve vzdálenosti 1 mm od čelní plochy. V dohrubované části (PROGRAM 2) byla příkazem Specify Floor nastavena výchozí rovina ve vzdálenosti 0,25 mm od čelní plochy. V předdokončené a dokončené části (PROGRAM 3 a PROGRAM 4) byla příkazem Specify Floor nastavena výchozí rovinou čelní plocha. Ostatní parametry u těchto operací byly nastaveny podle postupu v předchozí kapitole.

Po vytvoření všech operací byly seřazeny do jednotlivých programů podle použitého nástroje.



Obr. 68. Seznam vytvořených operací - součást

Následovala verifikace a po ní mohl proběhnout postprocess. Po označení programu a spuštění příkazu Post Process byl vybrán kód srozumitelný pro daný řídicí systém, tedy AZK_HWT_442_Iso.

8 VÝROBA SOUČÁSTI

8.1 Technické parametry CNC frézky HWT C-442

Frézka je vhodná pro výrobu grafitových elektrod, frézování plastů, dřeva, hliníku. Je vybavena kompenzací tepelné dilatace vřeteníku, osvětlením nástroje a pracovního prostoru, odsávacími hubicemi a úplným zakrytím. [49]

Tab. 1. Technické parametry [49]

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



Obr. 69. CNC frézka HWT C-442

8.2 Použitý materiál

Na výrobu součásti byl použit materiál Necuron. Je to polyuretanová deska, která je velmi podobná dřevu. Tento materiál je vyráběn firmou Necumer. Je dodáván v několika různých hustotách, podle nichž se liší číselné označení materiálu. [50]

Vlastnosti Necuronu 651

Tab. 2. Vlastnosti Necuron 651 [50]

Barva	Hnědá
Koeficient tepelné roztažnosti	$52 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$
Teplotní odolnost	70°C
Tvrdost Shore D	67
Pevnost v tlaku	26 N/mm ²
Pevnost v ohybu	30 N/mm ²
Měrná hmotnost	0,70 g/cm ³

8.3 Použité nástroje

Na výrobu součásti byly použity nástroje uvedené v Tab. 3 včetně jejich parametrů.

Tab. 3. Použité nástroje

	SecoJabroTools 93L100	512060z2.0-Siron-A	SecoJabroTools 93080	Seco 93030-F	Seco 37041 4489934-238	Seco 97L032	Seco 29040 4577205-144
Průměr nástroje(mm)	10	6	8	3	4	3	4
Délka nástroje (mm)	72	27	43	20	31	41	30
Délka řezné části (mm)	52	15	30	15	16	23	20
Počet zubů	2	2	2	2	2	2	1
Úhel špičky (°)	-	-	-	-	-	-	60

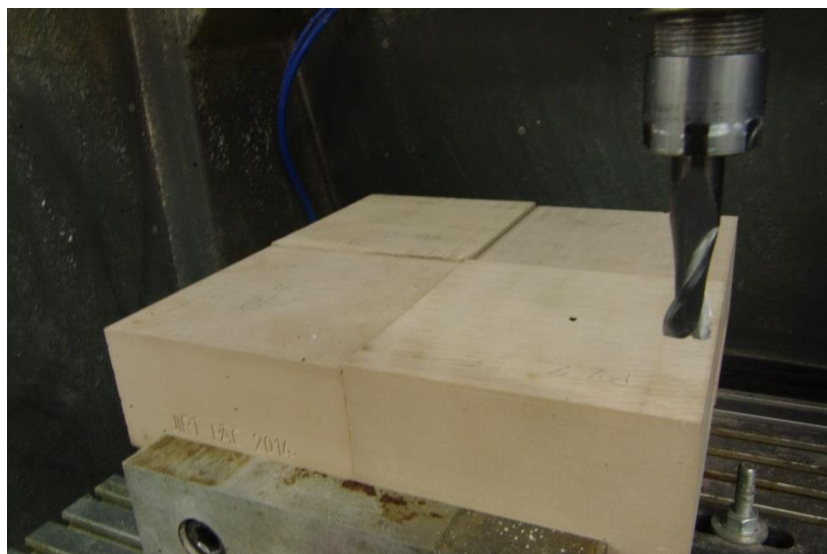
8.4 Výroba polotovaru

Na pásové pile byly nařezány čtyři polotovary, které byly následně obrobeny na požadovaný rozměr 100 x 100 x 50 mm, včetně boční drážky, děr pro kolíky a gravírovaného nápisu.



Obr. 70. Dílčí polotovar

Po jejich obrobení byly pomocí dřevěných kolíků spojeny v jeden celek, který představoval výchozí polotovar pro tvarovou desku.



Obr. 71. Výchozí polotovar

Na výrobu polotovaru byly použity nástroje uvedené v následující tabulce.

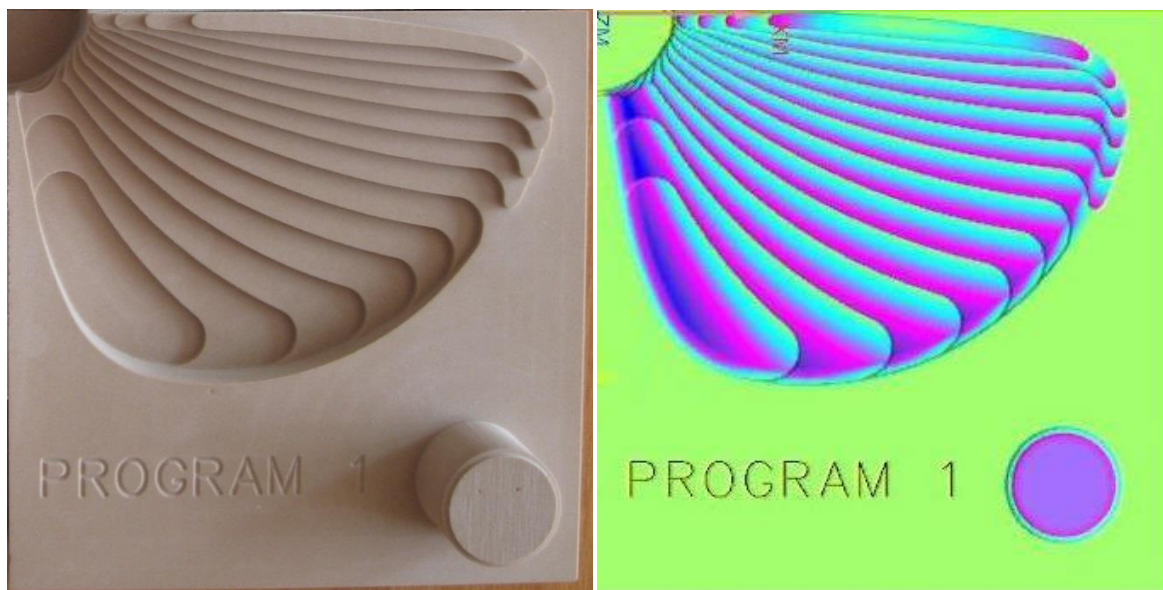
Tab. 4. Parametry obrábění polotovaru

Operace	Nástroj	Hloubka řezu (mm)	Posuvová rychlost (mm/min)	Otáčky (ot/min)
Zarovnání čela	Válcová fréza ϕ 8 mm	2	2000	10 000
Frézování drážky	Válcová fréza ϕ 8 mm	2	2000	10 000
Vrtání děr	Válcová fréza ϕ 6 mm	1	1000	11 000
Gravírování	Gravírovací fréza ϕ 4 mm	0,25	300	14 000

8.5 Výroba součásti

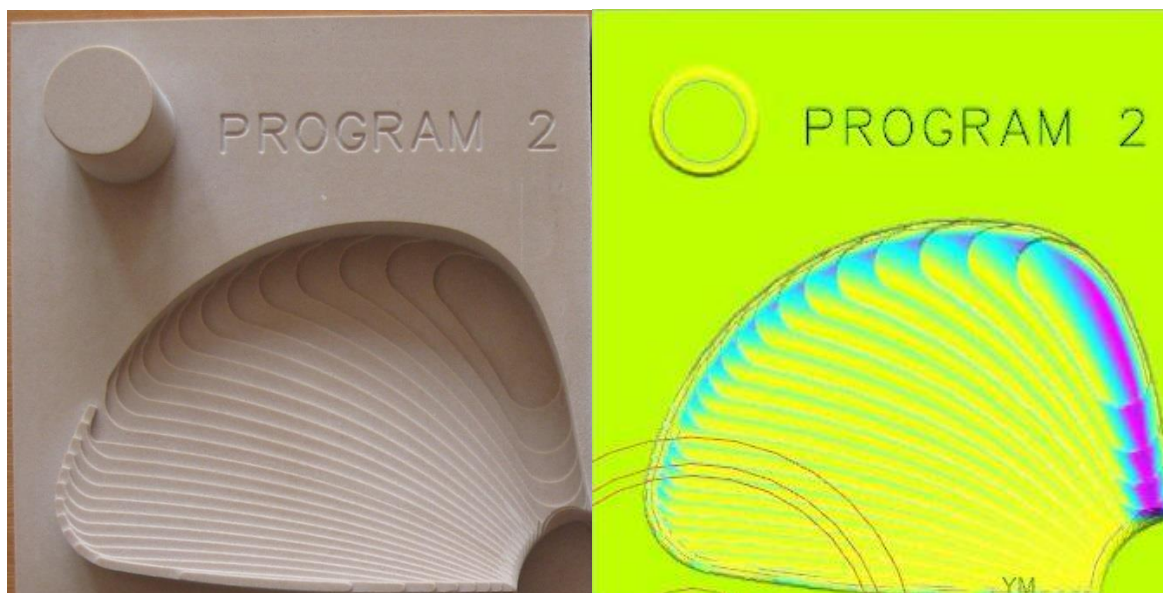
Připravený polotovar byl upnut do strojního svěráku a po nastavení nulového bodu obrobku mohl být spuštěn samotný program. Celý proces výroby byl dokumentován pomocí fotoaparátu s časovou sekvencí 20 sekund, který byl připevněn na stojanu k pracovnímu stolu CNC frézky. Posléze bylo z těchto fotografií vytvořeno video zobrazující průběh výroby.

Jak již bylo řečeno, součást se skládá ze čtyř dílčích polotovarů a každý z nich byl pro názornost obroben v jiné fázi výroby. Část označená program 1 byla hrubována,



Obr. 72. Výroba součásti – program 1

část označená program 2 byla dohrubována,



Obr. 73. Výroba součásti – program 2

část označená program 3 byla předdokončena



Obr. 74. Výroba součásti – program 3

a část označená program 4 byla dokončena.



Obr. 75. Výroba součásti – program 4

Výsledkem byla obrobena součást zobrazená na obr. 76.



Obr. 76. Vyrobená součást

Na výrobu součásti byly použity nástroje uvedené v následující tabulce.

Tab. 5. Parametry obrábění součásti

Operace	Nástroj	Hloubka řezu (mm)	Šířka záběru (% ϕ nástroje)	Posuvová rychlost (mm/min)	Otáčky (ot/min)
Hrubování	Válcová fréza ϕ 10 mm	2	-	2000	10 000
Dohrubování	Válcová fréza ϕ 10 mm	1	-		
Zbytkové obrábění-dohrub.	Válcová fréza ϕ 3 mm	1	-	2000	14 000
Zbytkové obrábění - dok.		1	-	1100	14 000
Dokončení	Válcová fréza ϕ 6 mm	1	-	1000	11 000
Předdokončení lopatky	Kulová fréza ϕ 4 mm	-	10	780	13 000

Dokončení lopatky		-	10	780	13 000
Dokončení rádiů	Kulová fréza ϕ 3 mm	0,2	-	560	14 000
Gravírování	Gravírovací fréza ϕ 4 mm	0,25	-	300	14 000

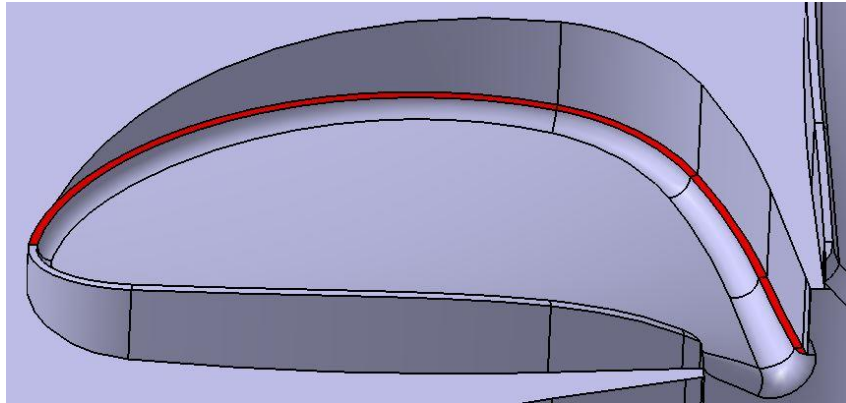
V následující tabulce jsou srovnány časy teoretické, tedy odečtené z programu NX a skutečné časy vykonání jednotlivých operací na CNC frézce.

Tab. 6. Srovnání teoretického a skutečného času výroby

Operace	Nástroj	Čas teoretický (hod : min : s)	Čas skutečný (hod : min : s)
Hrubování, dohrubování	Válcová fréza ϕ 10 mm	01 : 15 : 26	01 : 45 : 38
Zbytkové obrábění - dohrub.	Válcová fréza ϕ 3 mm	00 : 00 : 44	00 : 02 : 10
Dokončení	Válcová fréza ϕ 6 mm	00 : 12 : 49	00 : 19 : 21
Zbytkové obrábění - dok.	Válcová fréza ϕ 3 mm	00 : 00 : 51	00 : 01 : 26
Předdokončení, dokončení lopatky	Kulová fréza ϕ 4 mm	00 : 40 : 49	00 : 48 : 19
Dokončení rádiusů	Kulová fréza ϕ 3 mm	00 : 10 : 03	00 : 13 : 22
Gravírování	Gravírovací fréza ϕ 4 mm	00 : 06 : 08	00 : 09 : 51

9 NÁVRH ELEKTRODY

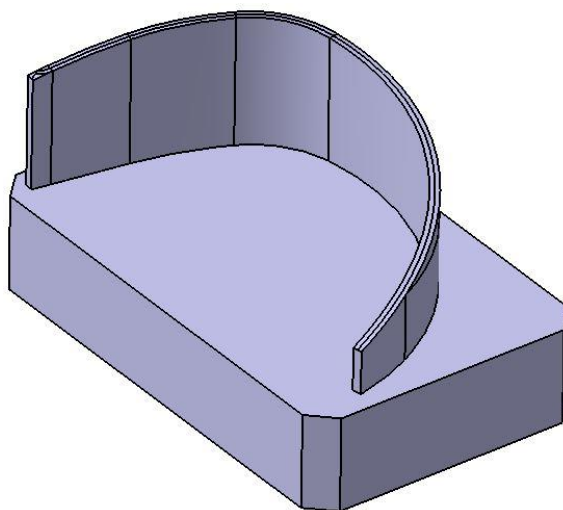
Jelikož součást obsahuje tvarové plochy, které nelze obrobit na 3 osé CNC frézce, byl zpracován návrh elektrody, pomocí které by bylo možné dané místa obrobit na konečný rozměr.



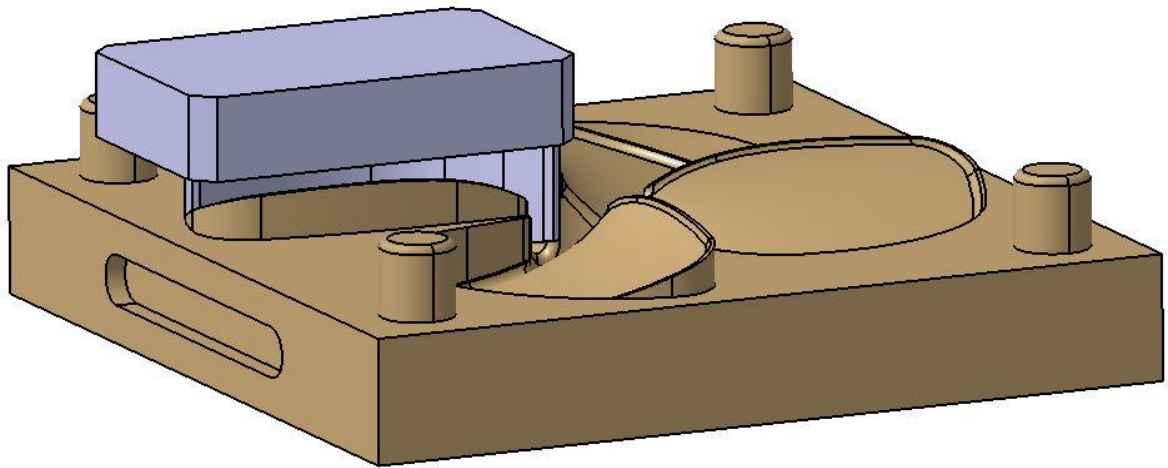
Obr. 77. Tvarová plocha

Velikost jiskrové mezery, tedy vzdálenosti mezi obrobkem a elektrodou se volí pro hrubování v desetinách milimetrů a pro dokončení v setinách milimetrů. Jelikož byla součást obrobena, bude se jednat pouze o dokončení tvarové části elektrodou. Byla tedy zvolena velikost jiskrové mezery 0,05 mm.

Návrh elektrody byl vytvořen v programu Catia V5R18. K vytvoření tvarové desce byla v modulu Generative Shape Design pomocí ploch navržena elektroda, která byla po dokončení převedena na objem. Výsledkem byla elektroda, která odpovídá tvaru jedné tvarové plochy na součásti. Tudíž budou jednotlivé plochy obrobena postupně.



Obr. 78. Elektroda

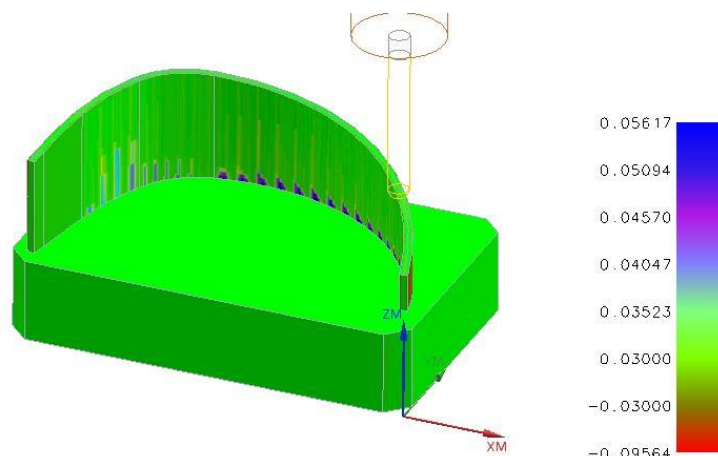


Obr. 79. Elektroda v tvarové dutině

Dle tabulky byl zvolen obráběcí proud 20 A a obráběcí napětí 35 V. Materiálem elektrody byl zvolen grafit.

9.1 Programování elektrody

Pro hrubování elektrody použita operace Cavity Mill a válcová fréza ϕ 10 mm. Na dokončení strmých ploch byla použita operace Cavity Mill a válcová fréza ϕ 8 mm. Tvarová plocha byla dokončení pomocí operace Contour Area a kulové frézy o ϕ 5 mm. Po naprogramování proběhla verifikace.



Obr. 80. Elektroda po 3D verifikaci

ZÁVĚR

V první části byl navržen a následně vymodelován v programu Catia v5r18 tvarově složitější model, čemuž odpovídá tvarová dutina pro vrtuli. V dalším kroku byl model importován do programu NX 8.5, kde proběhlo vytvoření řezných drah nástrojů pomocí operací Mill Contour. Součást byla pomyslně rozdělena na čtvrtiny a každá čtvrtina byla naprogramována pro jinou fázi výroby, tedy hrubování, dohrubování, předdokončení a dokončení. Po úspěšné verifikaci byl vygenerován CNC kód srozumitelný pro řídicí systém CNC frézky HWT C – 442.

Pro výrobu byl zvolen polotovar, který se skládá ze čtyř dílčích polotovarů. Jednotlivé polotovary byly obrobena a spojeny v jeden celek pomocí dřevěných kolíků. Takto vytvořený polotovar byl upnut do strojního svěráku CNC stroje a následně obrobena. Celý proces obrábění byl sledován pomocí fotoaparátu připevněného na stojanu k pracovnímu stolu frézky. Z jednotlivých snímků bylo následně vytvořeno video zachycující jednotlivé fáze obrábění, které je uloženo na přiloženém DVD v adresáři Video. Výsledkem byl model tvarové dutiny pro lopatku obrobena ve čtyřech fázích výroby a to hrubování, dohrubování, předdokončení a dokončení.

Pro danou součást byl vytvořen manuál programování, který poslouží studentům jako postup k úspěšnému vytvoření programu této a jiných součástí. Součástí manuálů je i video zachycující postup vytváření a nastavení jednotlivých operací v programu NX 8.5, včetně videa zachycujícího verifikaci vytvořených operací.

Jelikož součást obsahuje tvarová místa, která nebylo možné dokončit na 3 osé CNC frézce, byl zpracován návrh elektrody, pomocí které by bylo možné daná místa dokončit.

Výsledkem práce je manuál a video pro programování dané součásti v programu NX s využitím operací Mill Contour. Tyto podklady jsou uloženy na přiloženém DVD. Pro lepší představu byl obrobena daný model v jednotlivých fázích výroby. Součástí práce jsou příklady (modely) tříosého frézování, na kterých je možné aplikovat vytvořený manuál.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] ŠTULPA, M. *CNC obráběcí stroje a jejich programování*. 1. vydání. BEN-technická literatura, Praha, 2008. ISBN 978-80-7300-207-7.
- [1] JANDEČKA, K. *Postprocesory a programování NC strojů*. Ústí nad Labem, 2007. ISBN 978-80-7044-870-0.
- [2] SMID, P. *CNC programming handbook: a comprehensive guide to practical CNC programming*. 3rd ed. New York, NY: Industrial Press, 2008, 540 p. ISBN 978-0-8311-3347-4.
- [3] ADITHAN, M., PABLA, M. *CNC Machines*. 2nd ed. New Delhi: New Age International Publishers, 2011, XI, 127 p. ISBN 81-224-2019-2.
- [4] RAO, R. N. *CAD/CAM: Principles and Applications*. Tata McGraw - Hill Publishing Company Limited. 2006, 253 p., ISBN 0-07-0583-73-0.
- [5] MAREK, J. *Konstrukce CNC obráběcích strojů*. Praha: MM Publishing, 2010. 420 s. ISBN 978-80-254-7980-3.
- [7] NX CAM [online]. [citace 4. Prosinec 2013]. Dostupný z WWW: https://www.plm.automation.siemens.com/cz_cz/products/nx/formanufacturing/cam/index.shtml
- [8] EdgeCAM [online]. [citace 4. Prosinec 2013]. Dostupný z WWW: <http://www.edgcamcz.cz/edgcam-uvod/>
- [9] Delcam [online]. [citace 4. Prosinec 2013]. Dostupný z WWW: <http://www.delcam.cz/produkty/>
- [10] Bobcad – cam [online]. [citace 4. Prosinec 2013]. Dostupný z WWW: <http://bobcad.com/>
- [11] Mastercam [online]. [citace 4. Prosinec 2013]. Dostupný z WWW: <http://www.mastercam.cz/o-nas>
- [12] SolidCAM [online]. [citace 4. Prosinec 2013]. Dostupný z WWW: <http://www.solidcam.cz/>
- [13] GibbsCAM [online]. [citace 4. Prosinec 2013]. Dostupný z WWW: <http://www.gibbscam.com/cs/home>

- [14] CimatronE [online]. [citace 4. Prosinec 2013]. Dostupný z WWW:
<http://www.cimatron.com/Main/general.aspx?FolderID=4471&lang=en>
- [15] CAMWorks [online]. [citace 4. Prosinec 2013]. Dostupný z WWW:
<http://www.camworks.com/>
- [16] Autodesk Inventor HSM [online]. [citace 4. Prosinec 2013]. Dostupný z WWW:
<http://cam.autodesk.com/hsm.php#>
- [17] HSMWorks [online]. [citace 4. Prosinec 2013]. Dostupný z WWW:
<http://www.hsmworks.com/overview/>
- [18] EnRoute [online]. [citace 4. Prosinec 2013]. Dostupný z WWW:
<http://www.enroutesoftware.com/default.aspx>
- [19] Alphacam [online]. [citace 4. Prosinec 2013]. Dostupný z WWW:
<http://www.alphacam.cz/alphacam-uvod/>
- [20] SurfCAM [online]. [citace 4. Prosinec 2013]. Dostupný z WWW:
<http://www.3epraha.cz/surfcam>
- [21] RhinoCAM [online]. [citace 4. Prosinec 2013]. Dostupný z WWW:
<http://rhinocam.com/index.shtml>
- [22] SprutCAM [online]. [citace 4. Prosinec 2013]. Dostupný z WWW:
<http://solicad.com/h/sprutcam>
- [23] SmartCAM [online]. [citace 4. Prosinec 2013]. Dostupný z WWW:
<http://www.smartcamcnc.com/>
- [24] Esprit [online]. [citace 4. Prosinec 2013]. Dostupný z WWW:
<http://www.dpotechnology.com/index.asp>
- [25] Camban [online]. [citace 7. Prosinec 2013]. Dostupný z WWW:
<http://www.cambam.info/>
- [26] MeshCAM [online]. [citace 7. Prosinec 2013]. Dostupný z WWW:
<http://www.grzsoftware.com/>
- [27] HyperMILL CAM [online]. [citace 7. Prosinec 2013]. Dostupný z WWW:
<http://hypermill.cz/html/hyperMILL.html>

- [28] Dolphin CAD/CAM [online]. [citace 7. Prosinec 2013]. Dostupný z WWW: <http://www.dolphincadcamusa.com/>
- [29] Visi CAD/CAM [online]. [citace 7. Prosinec 2013]. Dostupný z WWW: <http://www.visicadcam.com/products>
- [30] AlibreCAM [online]. [citace 7. Prosinec 2013]. Dostupný z WWW: <http://alibrecam.com/index.shtml>
- [31] VisialMILL for SolidWorks [online]. [citace 7. Prosinec 2013]. Dostupný z WWW: <http://www.visualmillforsolidworks.com/index.shtml>
- [32] PTC Creo Complete Machining Extension [online]. [citace 7. Prosinec 2013]. Dostupný z WWW: <http://www.ptc.com/product/creo/complete-machining-extension>
- [33] Go2cam [online]. [citace 7. Prosinec 2013]. Dostupný z WWW: http://www.go2cam.net/GO2cam_cam_software_milling_turning_wire_edm.asp
- [34] TopSolid Cam [online]. [citace 7. Prosinec 2013]. Dostupný z WWW: <http://www.topsolid.com/products/solutions-for-industries/mechanicalengineering/topsolidcam.htm>
- [35] WorkNC [online]. [citace 7. Prosinec 2013]. Dostupný z WWW: <http://www.sescoi.com/products/worknc-cadcam/>
- [36] AlmaCAM [online]. [citace 7. Prosinec 2013]. Dostupný z WWW: <http://www.almacam.com/Products/almaCAM-the-new-generation-CAM-software>
- [37] Catia Manufacturing [online]. [citace 7. Prosinec 2013]. Dostupný z WWW: <http://www.3ds.com/products-services/catia/portfolio/catia-v5/allproducts/domain/Machining/product/NCG/?cHash=d31fea31cc179536551c5a4a8d53f484>
- [38] Kovoprog [online]. [citace 7. Prosinec 2013]. Dostupný z WWW: <http://kovoprog.cz/cz/index.html>
- [39] PEPS [online]. [citace 7. Prosinec 2013]. Dostupný z WWW: http://www.peps.de/Main.php?Content=PEPS_Uebersicht&LANG=EN

- [40] Mikroprog [online]. [citace 7. Prosinec 2013]. Dostupný z WWW:
<http://www.mikronex.cz/index.html>
- [41] G - SIMPLE [online]. [citace 9. Prosinec 2013]. Dostupný z WWW:
<http://www.gsimple.eu/>
- [42] FreeMILL [online]. [citace 9. Prosinec 2013]. Dostupný z WWW:
<http://mecsoft.com/freemill/>
- [43] HeeksCNC [online]. [citace 9. Prosinec 2013]. Dostupný z WWW:
<http://mecsoft.com/freemill/http://heeks.net/>
- [44] CNC Code Maker [online]. [citace 9. Prosinec 2013]. Dostupný z WWW:
<http://www.craftsmanspace.com/free-software/free-cam-software.html>
- [44] LinuxCNC [online]. [citace 9. Prosinec 2013]. Dostupný z WWW:
<http://www.linuxcnc.org/index.php/english/about>
- [45] ShopFloor CAM programming [online]. [citace 9. Prosinec 2013]. Dostupný z WWW:
[3/shop-floor-cam/#comments](http://www.shop-floor-cam.com/#comments)
- [46] Autodesk CAM 360 [online]. [citace 13. Prosinec 2013]. Dostupný z WWW:
<http://cam.autodesk.com/cam.php>
- [47] RopeCAM [online]. [citace 13. Prosinec 2013]. Dostupný z WWW:
http://www.cenic.fi/english/ropecam_eng.htm
- [48] InventorCAM [online]. [citace 13. Prosinec 2013]. Dostupný z WWW:
<http://www.inventorcam.com>
- [49] AZK, frézky HWT [online]. [citace 26. Březen 2014]. Dostupný z WWW:
http://www.azk.cz/line-c-profi.php?lang_cz
- [50] NECUMER, Necuron 651 [online]. [citace 26. Březen 2014]. Dostupný z WWW:
<http://www.necumer.de/index.php?link=produkte&produkt=11>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

X,Y,Z	Základní posuvové osy kartézského souřadného systému	[-]
A,B,C	Rotační osy kartézského souřadného systému	[-]
<i>D</i>	Průměr frézy	[mm]
<i>n</i>	Otáčky	[ot ⁻¹]
CNC	Computer Numerical Control (Počítačem číslicové řízení)	[-]
N	Číslo věty	[-]
G	Přípravná funkce	[-]
M	Pomocná funkce	[-]
F	Posuvová funkce	[m.min ⁻¹]
S	Otáčková funkce	[ot ⁻¹]
T	Číslo nástroje	[-]
NC	Numerical Control (Číslicové řízení)	[-]
CAD	Computer Aided Design (Počítačem podporovaný návrh)	[-]
CAM	Computer Aided Manufacturing (Počítačem podporovaná výroba)	[-]
HSM	High Speed Machining (Vysokorychlostní obrábění)	[-]
UVI	Ústav výrobního inženýrství	[-]
SFP	Shop Floor Programming (Dílenské programování)	[-]
ISO	International Organization for Standardization (Mezinárodní organizace pro normalizaci)	[-]
HSS	High Speed Steel (Rychlořezná ocel)	[-]
AC	Alternating Current (Střídavý proud)	[-]

SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obr. 1. Normální souřadný systém [4]</i>	16
<i>Obr. 2. Schéma dvouose řízeného CNC stroje [2]</i>	18
<i>Obr. 3. Schéma tříose řízeného CNC stroje [2]</i>	19
<i>Obr. 4. Schéma čtyřose řízeného CNC stroje [2]</i>	19
<i>Obr. 5. Schéma pětiose řízeného CNC stroje [2]</i>	20
<i>Obr. 6. Vrtule</i>	42
<i>Obr. 7. Plochy tvárnice</i>	42
<i>Obr. 8. Tvarová deska - tvárnice</i>	43
<i>Obr. 9. Polotovar</i>	43
<i>Obr. 10. Vytvoření nového projektu</i>	46
<i>Obr. 11. Nastavení projektu</i>	47
<i>Obr. 12. Vložení modelu</i>	47
<i>Obr. 13. Nastavení souřadného systému</i>	48
<i>Obr. 14. Panel Workpiece</i>	48
<i>Obr. 15. Určení modelu</i>	49
<i>Obr. 16. Definování polotovaru</i>	49
<i>Obr. 17. Tvorba nového nástroje</i>	50
<i>Obr. 18. Postup načtení nástrojů z knihovny</i>	50
<i>Obr. 19. Seznam nástrojů v knihovně</i>	51
<i>Obr. 20. Vytvoření nové operace - hrubování</i>	52
<i>Obr. 21. Nastavení operace – hrubování</i>	53
<i>Obr. 22. Nastavení rezných parametrů - hrubování</i>	53
<i>Obr. 23. Nastavení vedlejších pohybů - hrubování</i>	54
<i>Obr. 24. Vytvoření nové operace - dohrubování</i>	55
<i>Obr. 25. Nastavení rezných parametrů - dohrubování</i>	55
<i>Obr. 26. Nastavení vedlejších pohybů - dohrubování</i>	56
<i>Obr. 27. Vytvoření nové operace - předdokončení</i>	57
<i>Obr. 28. Výběr obráběné oblasti – předdokončení</i>	57
<i>Obr. 29. Nastavení metody obrábění - předdokončení</i>	58
<i>Obr. 30. Nastavení rezných parametrů - předdokončení</i>	58
<i>Obr. 31. Vytvoření nové operace – dokončení strmých ploch</i>	59

<i>Obr. 32. Nastavení hranice – dokončení strmých ploch</i>	60
<i>Obr. 33. Nastavení parametrů – dokončení strmých ploch</i>	60
<i>Obr. 34. Nastavení rezných parametrů – dokončení strmých ploch</i>	61
<i>Obr. 35. Nastavení vedlejších pohybů – dokončení strmých ploch</i>	61
<i>Obr. 36. Vytvoření nové operace – dokončení čelních ploch</i>	62
<i>Obr. 37. Výběr obráběné oblasti – dokončení čelních ploch</i>	63
<i>Obr. 38. Nastavení metody obrábění – dokončení čelních ploch</i>	63
<i>Obr. 39. Nastavení vedlejších pohybů – dokončení čelních ploch</i>	64
<i>Obr. 40. Vytvoření nové operace – dokončení lopatek</i>	65
<i>Obr. 41. Výběr obráběné oblasti – dokončení lopatek</i>	65
<i>Obr. 42. Nastavení metody obrábění – dokončení lopatek</i>	66
<i>Obr. 43. Nastavení rezných parametrů – dokončení lopatek</i>	66
<i>Obr. 44. Vytvoření nové operace – dokončení rádiusů</i>	67
<i>Obr. 45. Výběr obráběné oblasti – dokončení rádiusů</i>	68
<i>Obr. 46. Nastavení parametrů obrábění – dokončení rádiusů</i>	68
<i>Obr. 47. Nastavení rezných parametrů – dokončení rádiusů</i>	69
<i>Obr. 48. Nastavení vedlejších pohybů – dokončení rádiusů</i>	69
<i>Obr. 49. Vytvoření textu</i>	70
<i>Obr. 50. Určení polohy textu</i>	71
<i>Obr. 51. Náhled vytvořeného textu</i>	71
<i>Obr. 52. Vytvoření nové operace - gravírování</i>	72
<i>Obr. 53. Výběr textu ke gravírování</i>	72
<i>Obr. 54. Nastavení výchozí roviny</i>	73
<i>Obr. 55. Nastavení rezných parametrů - gravírování</i>	73
<i>Obr. 56. Nastavení vedlejších pohybů - gravírování</i>	74
<i>Obr. 57. Seznam vytvořených operací</i>	74
<i>Obr. 58. Panel 3D verifikace</i>	75
<i>Obr. 59. Součást po 3D verifikaci</i>	76
<i>Obr. 60. Součást po 3D verifikaci s barevným rozlišením zbývající tloušťky</i>	76
<i>Obr. 61. Panel 2D verifikace</i>	77
<i>Obr. 62. Součást po 2D verifikaci</i>	77
<i>Obr. 63. Programování polotovaru</i>	81
<i>Obr. 64. Součást po hrubování</i>	82

<i>Obr. 65. Součást po dohrubování</i>	83
<i>Obr. 66. Součást po předdokončení</i>	83
<i>Obr. 67. Součást po dokončení</i>	84
<i>Obr. 68. Seznam vytvořených operací - součást</i>	85
<i>Obr. 69. CNC frézka HWT C-442</i>	86
<i>Obr. 70. Dílčí polotovár</i>	88
<i>Obr. 71. Výchozí polotovár</i>	88
<i>Obr. 72. Výroba součásti – program 1</i>	90
<i>Obr. 73. Výroba součásti – program 2</i>	90
<i>Obr. 74. Výroba součásti – program 3</i>	91
<i>Obr. 75. Výroba součásti – program 4</i>	91
<i>Obr. 76. Vyrobená součást</i>	92
<i>Obr. 77. Tvarová plocha</i>	94
<i>Obr. 78. Elektroda</i>	94
<i>Obr. 79. Elektroda v tvarové dutině</i>	95
<i>Obr. 80. Elektroda po 3D verifikaci</i>	95

SEZNAM TABULEK

<i>Tab. 1. Technické parametry [49]</i>	86
<i>Tab. 2. Vlastnosti Necuron 651 [50]</i>	87
<i>Tab. 3. Použité nástroje</i>	87
<i>Tab. 5. Parametry obrábění polotovaru</i>	89
<i>Tab. 6. Parametry obrábění součásti.....</i>	92
<i>Tab. 7. Srovnání teoretického a skutečného času výroby</i>	93

SEZNAM PŘÍLOH

Na DVD nosiči:

Diplomová práce

Manuál programování

Adresář Modely: 3D modely v programu Catia v5r18

Sestava součástí

Elektroda

Polotovar

Adresář NX_8.5: Programové podklady

Cavity

Tvarnice

Polotovar

Elektroda

Adresář CNC kódy: Vygenerované CNC kódy pro frézku HWT C – 442

Součást

Polotovar

Adresář Video: Postup programování

Verifikace

Výroba součástí

Adresář Příklady: 3D modely v programu Catia v5r18 pro tříosé frézování