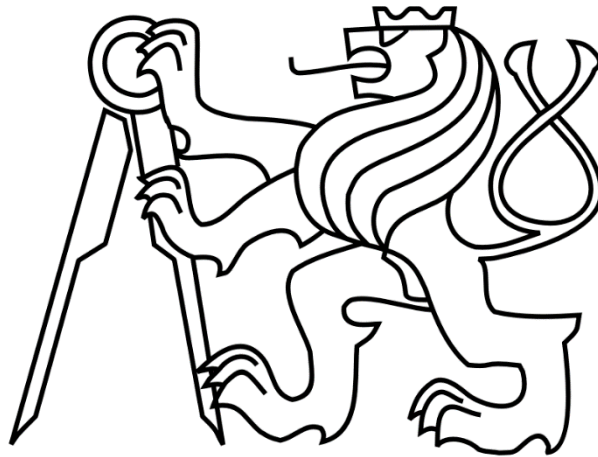


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA STROJNÍ

Ústav výrobních strojů a zařízení



# Bakalářská práce

**Postprocesory v SolidCAM**

2017

**Zdeněk Machala**

## I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Machala** Jméno: **Zdeněk** Osobní číslo: **439132**  
Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**  
Zadávací katedra/ústav: **Ústav výrobních strojů a zařízení**  
Studijní program: **Teoretický základ strojího inženýrství**  
Studijní obor: **bez oboru**

## II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

**Postprocesory v SolidCAM**

Název bakalářské práce anglicky:

**Postprocessors for SolidCAM**

Pokyny pro vypracování:

Popis tématu: Student provede rešerši současného stavu vlivů na tvorbu postprocesorů obecně a poté zmapování možností tvorby postprocesorů pro CAM systém SolidCAM. Motivací je možnost realizace testů nového modulu iMachining tohoto systému na strojích Ústavu výrobních strojů a zařízení s řešením možných úprav a rozšíření a možnost reagovat na potřeby průmyslu v této oblasti. Vznikne postprocesor pro pětiosý CNC stroj MCV1000 pro CAM systém SolidCAM. Osnova práce: - Rešerše současného stavu a vlivů na tvorbu postprocesorů v CAM systémech a zmapování možností pro tvorbu postprocesorů v CAM systému SolidCAM. - Analýza funkcí ř.s. iTNC530 a možností stroje MCV1000 ve vazbě na CAM systém SolidCAM, potřebných pro implementaci do postprocesoru včetně začlenění funkcí modulu iMachining. - Návrh vytvoření postprocesoru. Součástí je i řešení pro souvislé víceosé obrábění a polohování rotačních os, či využití vybraných pevných cyklů. - Testování postprocesoru a formulace okrajových podmínek využití postprocesoru pro SolidCAM. Rozsah grafické části: Výkresová část není nutná. Součástí budou vybrané vývojové diagramy. Rozsah textové části: 40 - 60 stran

Seznam doporučené literatury:

HÁJÍČEK, Z.: Testování virtuálního NC stroje v prostředí PLM systému NX. Plzeň, 2013. 83 s. Diplomová práce na ZČU v Plzni. Fakulta strojní. Katedra technologie obrábění. Vedoucí dipl. práce Ing. Jan Hnátík, Ph.D.; HEIDENHAIN TNC 530: Uživatelská příručka, programování s popisným dialogem Heidenhain. Traunreut, Německo, 2009.; VAVRUŠKA, P.: Tvorba NC postprocesorů. Praha, 2008. Diplomová práce na ČVUT v Praze. Fakulta strojní. Ústav Výrobních strojů a zařízení. Vedoucí diplomové práce Ing. Richard Černý, CSc.

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

**Ing. Petr Vavruška Ph.D., ústav výrobních strojů a zařízení FS**

Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) bakalářské práce:


**Mgr. Jan Lomička, ústav výrobních strojů a zařízení FS**

Datum zadání bakalářské práce: **12.04.2017**

Termín odevzdání bakalářské práce: **29.05.2017**

Platnost zadání bakalářské práce: **30.09.2017**

  
Podpis vedoucí(ho) práce


  
Podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

  
Podpis děkana(ky)

## III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Student bere na vědomí, že je povinen vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v bakalářské práci.

28.4.2017  
Datum převzetí zadání

  
Podpis studenta

## Prohlášení

Prohlašuji, že jsem svou bakalářskou práci vypracoval samostatně a že jsem uvedl v příloženém seznamu veškeré použité informační zdroje v souladu s Metodickým pokynem o dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací, vydaným ČVUT v Praze 1. 7. 2009.

Nemám závažný důvod proti užití tohoto školního díla ve smyslu § 60 Zákona č.121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon).

V Praze dne 19. 5. 2017

  
.....  
podpis

## **Poděkování**

Rád bych poděkoval vedoucímu práce Ing. Petru Vavruškovi, Ph.D. za cenné rady a konzultace práce. Děkuji taktéž Mgr. Janu Lomičkovi za to, že si na mě vždy udělal čas. Velké poděkování patří taktéž mým nejbližším, kteří mě při psaní práce podporovali.

## Anotace

Autor:	Zdeněk Machala
Název BP:	Postprocesory v SolidCAM
Rozsah práce:	51 str., 30 obr.
Akad. rok vyhotovení:	2016/2017
Škola:	ČVUT – Fakulta strojní
Ústav:	Ú12135 – Ústav výrobních strojů a zařízení
Vedoucí BP:	Ing. Petr Vavruška, Ph.D.
Konzultant:	Mgr. Jan Lomička
Zadavatel tématu:	ČVUT – FS, Ú12135
Využití:	Tvorba postprocesoru v systému SolidCAM s modulem iMachining, návrh postprocesoru pro pětiosý obráběcí stroj s kinematikou typu stůl–stůl
Klíčová slova:	Postprocessor, NC programování, SolidCAM, iMachining, Kinematická transformace souřadnic, Pětiosé obrábění, Heidenhain iTNC 530
Anotace:	Bakalářská práce se zabývá tvorbou postprocesoru pro automatizované zpracování NC kódu. Konkrétně jsou zmapovány možnosti tvorby postprocesoru v systému SolidCAM s modulem iMachining. V tomto systému je tvořen postprocessor pro pětiosý obráběcí stroj MAS MCVL 1000 s řídicím systémem Heidenhain iTNC 530. Výsledkem práce je plně funkční, otestovaný postprocessor umožňující i souběžné pětiosé obrábění, který je uzpůsoben požadavkům obsluhy stroje a využití modulu iMachining. Práce umožňuje využití systému SolidCAM na Ústavu výrobních strojů a zařízení.

## Abstract

Author:	Zdeněk Machala
Title of bachelor thesis:	Postprocessors for SolidCAM
Extent:	51 p., 30 fig.
Academic year:	2016/2017
University:	CTU – Faculty of mechanical engineering
Department:	Ú12135 – Department of productions machines and equipment
Supervisor:	Ing. Petr Vavruška, Ph.D.
Consultant:	Mgr. Jan Lomička
Submitter of the theme:	CTU – Faculty of mechanical engineering
Application:	Creating postprocessor in SolidCAM with the iMachining module, developing postprocessor for a five-axis machine with table-table configuration.
Keywords:	Postprocessor, NC programming, SolidCAM, iMachining, Kinematic transformation, Five-axis machining, Heidenhain iTNC 530
Abstract:	This bachelor thesis deals with the development of a postprocessor for automated NC program generation. It analyzes the possibilities of the CAM program SolidCAM with the iMachining module. The system is used to create a postprocessor for a five-axis machine MAS MCVL 1000 with the Heidenhain iTNC 530 control. The outcome of the thesis is a fully functional postprocessor for simultaneous five-axis machining, which is designed according to the end user's needs and the requirements of the iMachining module. This enables the fullscale use of SolidCAM at the department of productions machines and equipment.

## Obsah

1	Úvod a cíle práce .....	9
2	Proces automatizované přípravy NC kódu .....	10
2.1	Možnosti tvorby NC kódu.....	10
2.2	CAM.....	11
2.2.1	Limitace CAM.....	12
2.3	CNC Stroje .....	12
2.3.1	Uspořádání stroje.....	12
2.4	Řídicí systém.....	14
2.5	Postprocessor .....	15
2.5.1	Transformace souřadnic .....	17
3	Vlivy na tvorbu postprocesoru .....	19
3.1	Současná situace CAM systémů .....	19
3.1.1	Siemens NX.....	19
3.1.2	Dassault systemes Catia .....	20
3.1.3	SolidCAM.....	20
3.1.4	ICAM.....	20
3.2	Popis uvažovaného stroje MAS MCVL 1000 Laser.....	21
3.3	Popis funkce řídicího systému Heidenhain .....	21
4	Možnosti tvorby postprocesoru v SolidCAM.....	23
4.1	VMID .....	23
4.1.1	Nastavení stroje .....	23
4.1.2	Nastavení chování postprocesoru .....	24
4.2	GPP .....	26
4.2.1	Funkce trace.....	28
4.3	Shrnutí.....	28
5	Řešení postprocesoru .....	30
5.1	Základní funkce postprocesoru .....	30
5.1.1	Hlavička a úvodní bloky NC kódu .....	30
5.1.2	Volba nástroje, definice otáček .....	32
5.1.3	Lineární interpolace s korekcí nástroje.....	32
5.1.4	Kruhová interpolace .....	33
5.1.5	Ukončení programu .....	34
5.2	Rozšířená funkce postprocesoru .....	34
5.2.1	Parametrizace posuvů .....	34
5.2.2	Pevné cykly .....	35
5.2.3	Vypisování maximálních pojezdů .....	36
5.2.4	Vypisování strojního času .....	37
5.3	Transformace souřadnic .....	37
5.3.1	Transformace řídicím systémem stroje .....	37
5.3.2	Transformace postprocesorem.....	38
5.4	iMachining data.....	41
5.5	Ověření funkčnosti postprocesoru.....	42
5.6	Okrajové podmínky a použití postprocesoru .....	45
6	Závěr.....	47
7	Seznamy .....	48

## Seznam použitých zkratk

ACC	Active Chatter Control / Aktivní potlačení drnčení
ACP	Axial contact point
BHN	Tvrдость dle Brinella
CAD	Computer Aided design / Počítačem podporované projektování
CAE	Computer aided engineering / Počítačem podporované inženýrství
CAM	Computer Aided Manufacturing / Počítačem podporovaná výroba
CL data	Cutter location data / Data polohy referenčního bodu nástroje
CNC	Computer Numerical Control / Počítačové číslicové řízení
GPP	General Post-processor
HRB	Tvrдость dle Rockwella – indentor koule
HRC	Tvrдость dle Rockwella – indentor kužel
ISO	International Organization for Standardization / Mezinárodní organizace pro normalizaci
MRZP	Machine rotation zero point / Nulová pozice otáčení stroje
NC	Numerical Control / Číslicové řízení
PLC	Programmable logic control / Programovatelný logický automat
PLM	Product lifecycle management / Řízení životního cyklu výrobku
TCPM	Tool center point management / Řízení referenčního bodu nástroje
VMID	Virtual Machine ID

## Seznam použitých veličin

<i>Značka</i>	<i>Jednotka</i>	<i>Popis</i>
$Q_x$	[mm]	Souřadnice x vektoru polohy referenčního bodu nástroje <b>Q</b>
$Q_y$	[mm]	Souřadnice y vektoru polohy referenčního bodu nástroje <b>Q</b>
$Q_z$	[mm]	Souřadnice z vektoru polohy referenčního bodu nástroje <b>Q</b>
$K_x$	[mm]	Souřadnice x vektoru orientace nástroje <b>K</b>
$K_y$	[mm]	Souřadnice y vektoru orientace nástroje <b>K</b>
$K_z$	[mm]	Souřadnice z vektoru orientace nástroje <b>K</b>
$\varphi_B$	[°]	Úhel natočení osy B
$\varphi_C$	[°]	Úhel natočení osy C
$P_x$	[mm]	Souřadnice x vektoru souřadnic lineárních os <b>P</b>
$P_y$	[mm]	Souřadnice y vektoru souřadnic lineárních os <b>P</b>
$P_z$	[mm]	Souřadnice z vektoru souřadnic lineárních os <b>P</b>
$f$	[mm · min <sup>-1</sup> ]	Programovaná hodnota posuvové rychlosti
$S$	[ot · min <sup>-1</sup> ]	Programovaná hodnota otáček nástroje



# 1 Úvod a cíle práce

Číslicově řízené obráběcí stroje ve spojení s moderními CAD/CAM (Computer Aided Design, Computer Aided Manufacturing) systémy nabízí velmi efektivní a nezastupitelné výrobní možnosti. Díky CNC řízení (Computer Numerical Control) strojů je samotný obráběcí proces přesný, rychlý a relativně snadný. Zcela klíčovou úlohu přebírá příprava NC (Numerical Control) kódu, který veškerou činnost stroje řídí. Tvorbu NC kódu usnadňují CAM systémy, za jejichž pomoci lze definovat i složité víceosé obráběcí operace a vytvořit komplexní dráhy využívající specifické obráběcí strategie. Použití CAM systému výrazně zefektivňuje výrobní proces a nabízí oproti ostatním způsobům tvorby NC kódu nepřehledné možnosti. Jedním z úskalí využití CAM systémů je však samotné vytvoření NC kódu z nastavených dat. Programování v CAM je univerzální – je definován pohyb nástroje. Na druhé straně pak stojí celá škála strojů, které se liší svými parametry, kinematikou či řídicím systémem. K překlenutí toho rozdílu slouží postprocessor. Zjednodušeně je funkcí postprocesoru přeložit informace z CAM systému do NC kódu srozumitelného pro konkrétní stroj. Postprocessor udává formu i obsah NC kódu a na jeho zpracování je tak závislý celý obráběcí proces.

Možnostem tvorby postprocesoru je věnována tato práce. Konkrétně jsou analyzovány možnosti tvorby postprocesoru v systému SolidCAM s modulem iMachining. Tento systém si klade za cíl snížení obráběcích časů a současně dosažení konstantního zatížení nástroje prostřednictvím algoritmu pro automatizovanou tvorbu adaptivních drah a rychlosti posuvu nástroje v závislosti na geometrii obrobku. Jednou z možných aplikací je například i obrábění těžkoobrobitelných materiálů.

Aby mohl být systém efektivně využíván, je třeba zajistit možnost tvorby NC kódu pro stroje na Ústavu výrobních strojů a zařízení. Cílem této práce je proto vytvořit v systému SolidCAM postprocessor pro pětiosý stroj MAS MCVL 1000 s řídicím systémem Heidenhain iTNC 530. Postprocessor zároveň musí umožňovat využití modulu iMachining. Za tímto účelem práce mapuje přístupy k tvorbě postprocesorů a analyzuje možnosti řídicího systému a systému SolidCAM. Jedním z výstupů tedy má být popis samotné tvorby postprocesoru a součástí práce je i ověřování funkčnosti postprocesoru.

## 2 Proces automatizované přípravy NC kódu

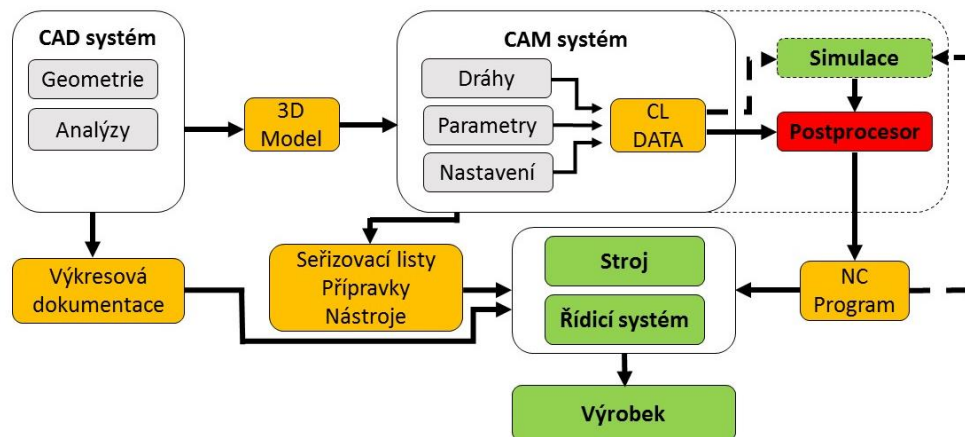
CNC stroje jsou automatizovaná výrobní zařízení zastávající v průmyslové výrobě rozličné funkce. Pod pojem CNC stroj lze pojmut mnoho typů zařízení. Tato práce bude řešit výhradně CNC obráběcí stroje a problematiku s nimi spojenou. Všechny CNC stroje jsou však řízeny NC kódem, na základě něhož stroj vykonává všechny úkony. „NC kódem pro číslicově řízený stroj rozumíme posloupnost zakódovaných údajů určené struktury představující uzavřený pracovní cyklus jednoznačně popisující všechny funkce a činnosti konkrétního číslicově řízeného stroje a nezbytné k provedení předepsaného technologického procesu“ [2]. NC kód tedy ovládá pohyb os stroje, posuvy, otáčky či přídatné funkce stroje a je tedy základním podkladem pro výrobu. Od jeho zpracování se odvíjí i výsledná kvalita výrobku.

### 2.1 Možnosti tvorby NC kódu

Tvorbu NC kódu lze rozdělit na tři základní způsoby – ruční programování, dílenské programování a strojní programování. Při ručním způsobu programátor v plném znění vypisuje požadovaný NC kód. Tato metoda je zdaleka nejprimitivnější, je časově náročná a snadno vede k chybám v programu. Programování složitějších drah je navíc velmi obtížné.

Dílenské programování probíhá přímo na stroji v prostředí řídicího systému. Ten uživateli nabízí různé možnosti usnadnění tvorby NC kódu – grafické prostředí, programované cykly či simulaci obrábění. Tyto možnosti se liší dle použitého řídicího systému stroje. Dílenské programování je velmi efektivním způsobem tvorby NC kódu pro obrábění jednoduchých dílců a je nejdosažitelnější z hlediska nákladů – probíhá na stroji. Může tak být využíváno v menších provozech, pro jejichž účely může být postačující.

Pro obrábění tvarově nejsložitějších dílů je využíváno prakticky pouze strojní programování. Veškerá tvorba NC kódu probíhá na odděleném počítači v prostředí CAM systému. Informace o obráběcích operacích jsou ukládány do souboru dat, která obsahují primárně polohy a natočení nástroje v prostoru a navolené parametry obrábění. Podle toho nazýváme soubor obecně CL daty z anglického cutter location data (poloha nástroje). Tato data mohou být uložena interně v CAM systému, nebo mohou být exportována do textového souboru. Na základě těchto dat je následně generován NC kód postprocesorem. Jeho úkolem je tak přeložit obecná data do formy proveditelné a srozumitelné pro daný konkrétní stroj a řídicí systém. Postup tvorby NC kódu ilustruje následující Obr. 2.1.



Obr. 2.1 - Schéma automatizované přípravy NC kódu

Pokud CAM systém umožňuje export CL dat, může postprocesor fungovat jako samostatný program, který tyto data zpracovává. Pokud naopak CAM systém pracuje s interní datovou strukturou, je postprocesor pevnou součástí CAM systému. Podobně je to se simulací kódu, která může být součástí řetězce (vyznačeno čárkovaně). Může probíhat buď na základě CL dat zpravidla v CAM systému, nebo na základě již vygenerovaného NC kódu. Tuto druhou možnost pak nabízí jak externí simulační programy, tak některé pokročilé CAM systémy. Pouze simulací již vygenerovaného NC kódu je možné odhalit vlivy postprocesoru na generovaný kód před jeho spuštěním na stroji a předejít tak možným chybám a kolizím. Tato simulace je tedy věrohodnou.

V následujících kapitolách bude tento automatizovaný proces tvorby NC kódu podrobněji rozebrán a budou identifikovány hlavní faktory ovlivňující stavbu postprocesoru.

## 2.2 CAM

V dnešní době je drtivá většina výrobků navrhována v CAD (Computer Aided Design) programech. Díky těmto programům mají modely výrobků přesně definovanou geometrii, kterou lze snadno přenést do prostředí CAM, které se zabývá samotnou výrobou dané součásti. CAM programů je celá řada, všechny však mají společné rysy. Cílem uživatele CAM pro obrábění je vygenerovat operace vedoucí k odstranění veškerého zbytkového materiálu takovým způsobem, aby po finální operaci výsledný výrobek odpovídal požadované přesnosti a jakosti povrchu. Programované parametry těchto operací zahrnují geometrii drah získanou z CAD modelu, geometrii drah nastavenou programátorem, informace o nástrojích, informace o řezných podmínkách, informace o přídavných funkcích při obrábění a další. Všechna tato data jsou následně využívána postprocesorem pro generování konkrétního NC kódu.

Strojní programování prostřednictvím CAM programů je využíváno k programování obráběcích operací tvarově složitých součástí, zejména při víceosém obrábění. Byť se jedná o nejnáročnější způsob tvorby NC kódu, umožňuje uživateli naprogramovat libovolné dráhy bez ohledu na tvarovou složitost a dává mu nejvíce informací o výsledném kódu. Většina CAM systémů v dnešní době nabízí různé druhy simulace

dráhy nástroje a výpočet strojního času. Nejpokročilejší CAM systémy nabízí simulaci NC kódu přímo s virtuálním strojem. Tyto nástroje dávají uživatelům možnost ladit NC kód již před samotným spuštěním na stroji a odstraňují tak možné kolize a chyby v kódu. CAM systémy tak šetří čas díky tvorbě kvalitnějšího NC kódu a zároveň díky tomu, že programování a ladění kódu probíhá mimo stroj, který může být využíván k výrobě. Nevýhodou CAM systémů je jejich vysoká pořizovací cena. Schopnost vytvořit kvalitní NC kód je dále podmíněna kvalitně zpracovaným postprocesorem pro konkrétní stroj a řídicí systém, což pro uživatele může znamenat další náklady.

CAM systém je zcela univerzální – nebere v potaz použitý stroj ani řídicí systém. Obrobek je v CAM systému statický a veškeré pohyby koná nástroj [1]. Polohu a orientaci nástroje určuje CAM ke zvolenému souřadnicovému systému. Používá se pravoúhlý souřadnicový systém, jehož osy jsou rovnoběžné se souřadnicovým systémem stroje.

### 2.2.1 Limitace CAM

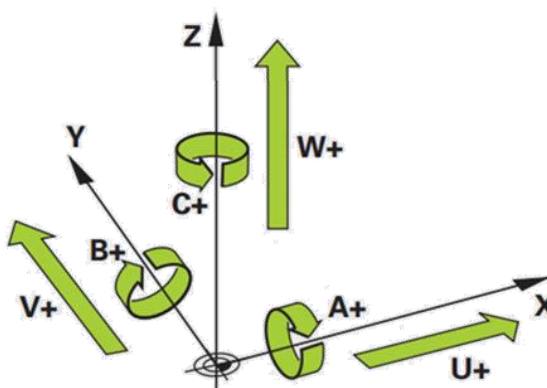
CAM systémy umožňují rychlé a přesné vytvoření NC kódu. Jeho výsledná kvalita a použitelnost je však vždy kombinací konkrétního CAM programu a postprocesoru. CAM sám o sobě nijak nepočítá se strojem a hrozí tak například riziko vzniku kolizí. Různí tvůrci CAM systémů se tyto nedostatky snaží odstranit a zpravidla je dnes postprocesor nějakým způsobem přímo integrován do prostředí CAM, případně je umožněna simulace obrábění se strojem. V samostatné kapitole proto budou prozkoumány možnosti různých nabízených CAM systémů a jejich navázání na postprocesor.

## 2.3 CNC Stroje

Pod výrazem CNC stroj je popisován obráběcí stroj s potřebnou úpravou pro automatizaci a s číslicovým řízením. Je tvořen souborem mechanických vlastností stroje, pohonného systému stroje a CNC řízením [2]. Z mechanických vlastností je pro tvorbu postprocesoru klíčová kinematika stroje – rozmístění pohybových os a jejich rozsahy, otáčky vřetena či maximální hodnoty posuvů. Z hlediska CNC řízení postprocesor navíc ovlivňuje použitý řídicí systém stroje a možnosti nastavení PLC (Programmable Logic Control) konkrétního stroje.

### 2.3.1 Uspořádání stroje

Výrobci CNC strojů nabízí nepřehledné množství různých kinematik strojů. Kinematiku stroje tvoří počet pohybových os a jejich uspořádání. Za osu považujeme jakýkoliv pohyb – lineární či rotační – uskutečňovaný CNC řízením [3]. Standartní označení os je zobrazeno na Obr. 2.2. Využívá se Kartézské souřadné soustavy. Osa z je u strojů se standartní kinematikou dle dohody vždy rovnoběžná s osou vřetene.



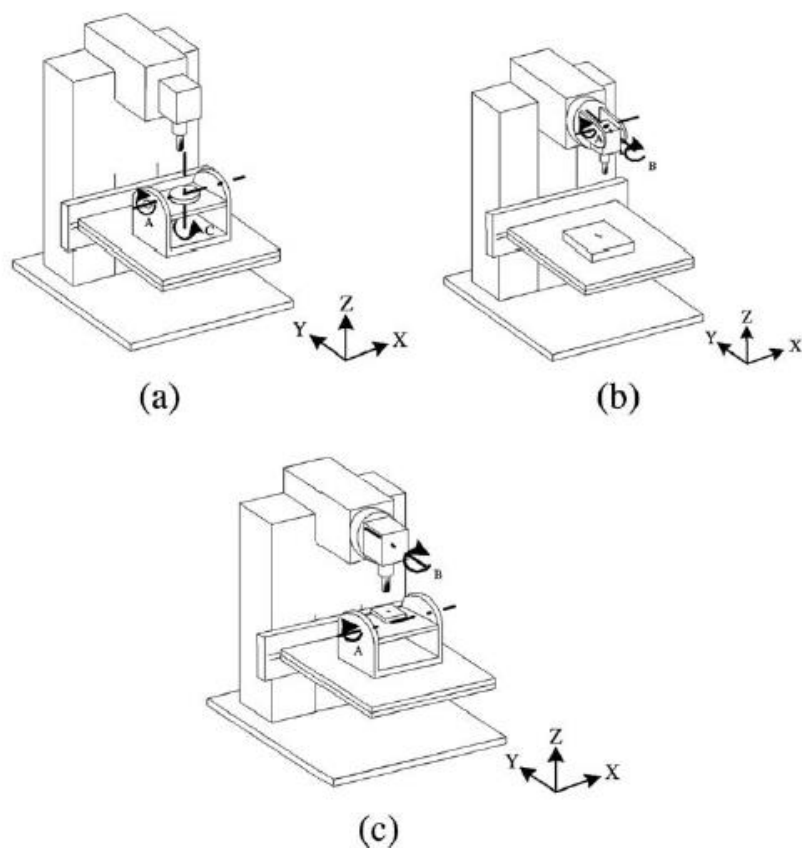
Obr. 2.2 - souřadný systém CNC stroje [4]

Standartní frézka je vybavena osou  $x$ ,  $y$  a  $z$ . Přidáním rotačních os vzniká víceosý stroj – pro jednu rotační osu hovoříme o čtyřosém stroji, pro dvě rotační osy o pětiosém. Pětiosé stroje jsou schopny obrábět i tvarově velmi složité dílce. Rozhodující není ale jen počet os, ale i jejich uspořádání na stroji. Osy mohou být libovolně umístěny jak na stole (v obrobkové větvi), tak na hlavě stroje (v nástrojové větvi). Pro pětiosé stroje tak rozlišujeme tři základní typy kinematiky, které jsou uvedeny na Obr. 2.3.

Kinematika typu stůl – stůl (viz Obr. 2.3a) má obě rotační osy umístěny v obrobkové větvi stroje. Otočný pohyb nejčastěji v osách  $A$  a  $C$  či  $B$  a  $C$  je zajištěn dvěma rotačními stoly. Primární otočný stůl nese stůl sekundární, na který je umístěn obrobek. Výhodou tohoto uspořádání je větší tuhost vřetena, které se nenaklápí. Naopak velikost a váha obrobku je na tomto typu stroje omezena. Stroje s kinematikou stůl – stůl jsou díky své univerzálnosti pro obrábění menších tvarově složitých dílců velmi rozšířené a zabývá se jimi i tato práce.

Při použití kinematiky hlava-hlava (viz Obr. 2.3b) jsou obě rotační osy umístěny v nástrojové větvi stroje. Rotační pohyb v obou osách vykonává vřeteno a obrobek se nenatáčí. Uplatnění tak stroje této kinematiky nachází při obrábění rozměrných obrobků, například složitých tvarových forem na velkých portálových strojích.

V případě kinematiky hlava – stůl (viz Obr. 2.3c) rotaci v jedné ose vykonává otočný stůl v obrobkové větvi stroje. Druhá rotační osa je umístěna na vřetenu v nástrojové větvi stroje.



Obr. 2.3 - Kinematiky pětiosých strojů [5]

Jak bylo zmíněno v předchozí kapitole, při tvorbě obráběcích operací je obrobek statický a veškeré pohyby koná nástroj. Pro stroje s minimálně jednou rotační osou umístěnou na stole to znamená nutnost transformace souřadnic [1]. Pohyb v lineárních osách musí kompenzovat jejich změnu vlivem rotace stolu (stolů). Transformaci souřadnic provádí zpravidla postprocessor v závislosti na kinematice stroje, a právě toto je jedním z důvodů, proč nelze vytvořit univerzální postprocessor.

Rozhodující pro kinematiku je vzájemná pozice os, kolem kterých rotace probíhá. Jejich vzájemný průsečík tvoří bod, jehož pozice není rotací libovolné osy ovlivněna. Tento bod nazýváme nulovou pozicí otáčení stroje (Machine rotation zero position, dále MRZP) [3] a budeme jej využívat v následujících kapitolách. Důležitá je poznámka, že tento bod nemusí být nutně dosažitelný nástrojem – může ležet pod stolem.

## 2.4 Řídicí systém

Řídicí systém je obrazně řečeno mozkiem každého CNC stroje. Propojuje počítačový systém stroje s jeho mechanickou částí, kterou ovládá. Umožňuje přímo vytvářet, upravovat, a především odbavovat na stroji NC kódy. Veškeré řídicí systémy vychází z normovaného kódu ISO 6983, který je však ze své podstaty velmi základní. Na strojích jsou tak zpravidla používány řídicí systémy vyvinuté samotnou firmou vyrábějící stroj či třetími stranami za účelem rozšíření možností obrábění a usnadnění orientace uživatele. Tyto možnosti jsou u každého řídicího systému odlišné a jsou jedním z hlavních



rozhodovacích kritérií při jeho výběru. Z hlediska tvorby postprocesoru je nutné počítat především s jazykem řídicího systému, který musí výsledný NC kód respektovat, a právě s veškerými rozšířeními, které uživatel řídicího systému využívá.

Jazyk řídicího systému udává formát požadovaného NC kódu. Jinými slovy musí být postprocessor navržen tak, aby generoval pro řídicí systém plně srozumitelný kód. Musí tedy dodržet syntaktická a sémantická pravidla daná řídicím systémem zejména pro pohybové funkce, přípravné funkce a pevné cykly.

Kromě základního překladu také postprocessor musí počítat se všemi funkcemi řídicího systému. Ty pro uživatele představují možnost efektivnějšího a kvalitnějšího obrábění a snižují obráběcí čas. Základním příkladem jsou pevné vrtací a frézovací cykly. Kvalitně zpracovaný postprocessor musí být schopen cykly řídicího systému vygenerovat ze zadání v prostředí CAM systému. Další možnosti umožňují řídicí systémy v oblasti úpravy drah nástrojů a korekcí nástrojů, jejichž použití se postprocessor musí též uzpůsobit.

Například základní pomocné funkce (M-funkce) typu start/stop vřetena či start/stop základních typů chlazení jsou pro řídicí systémy společné a najdeme je na všech strojích. Tyto funkce navíc doplňují funkce programované v PLC konkrétního stroje dle jeho dispozic. Tyto programované M funkce mohou například ovládat další přídavná zařízení a funkce stroje jako dopravníky třísek, manipulátory, výplach pracovního prostoru či další typy chlazení (středem vřetena). Při tvorbě postprocesoru musíme vzít i tyto nestandardní funkce v potaz a ověřit, které jsou na stroji použity.

Jednotlivé řídicí systémy se vzájemně výrazně liší maximálním počtem souběžně řízených os, použitou syntaxí a rozsahem použitelných rozšiřujících funkcí. Většina uživatelů používá komplexnější řídicí systémy<sup>1</sup>, neboť jsou zpravidla běžně dodávány výrobcem strojů. Jako zástupce nejrozšířenějších lze jmenovat například řídicí systémy Fanuc, Siemens Sinumerik, Haas, Mazak Mazatrol, Okuma a Heidenhain. Konkrétní funkce řídicího systému Heidenhain, jakožto systému, pro nějž je postprocessor tvořen, budou rozebrány v samostatné kapitole.

## 2.5 Postprocessor

Postprocessor je klíčovým článkem každého řetězce propojujícího všechny výše zmíněné části – CAD/CAM, řídicí systém a stroj. Tvorba postprocesoru je komplexní problém, který musí brát v potaz všechny vlivy konkrétní aplikace. Zařazení postprocesoru do řetězce umožňuje univerzální programování drah v CAM programech pro celou škálu obráběcích strojů s libovolnými řídicími systémy a tím zefektivňuje výrobní proces. Funkce postprocesoru můžeme rozlišit na základní a pokročilé.

Základní a primární funkce postprocesoru je vygenerovat z dat dostupných z CAM systému (CL data, interní data CAM) NC kód ve formě a syntaxi konkrétního řídicího

---

<sup>1</sup> Na základě průzkumu provedeného CNC Cookbook [17]

systemu stroje uvažujíc všechny parametry daného stroje. Za tím účelem postprocessor vykonává mnoho operací a úkonů, viz lit. [1], [6]. Nejdůležitější úkony jsou zahrnuty v následujícím výčtu:

- 1) Přečtení zdrojového souboru vstupních dat – souboru CL dat nebo interní datové struktury CAM systému
- 2) Přepočítání souřadnic do souřadného systému stroje včetně kinematické transformace souřadnic v případě víceosých strojů
- 3) Generování NC kódu ve formátu řídicího systému
- 4) Generování základních pohybových funkcí – lineární interpolace, kruhové interpolace
- 5) Generování posuvů a otáček
- 6) Generování základních pomocných funkcí – start/stop včetně, start/stop chlazení, výměna nástroje
- 7) Generování délkových korekcí nástroje

Takto funkční postprocesory zpravidla nabízí i dodavatelé CAM systému. Tvorba postprocessoru však nabízí prakticky neomezené možnosti úpravy generovaného NC kódu za účelem zefektivnění celého obráběcího procesu. Postprocessor může výsledný NC kód naformátovat dle zvyklostí a potřeb obsluhy a vypsát informace o obrábění či o použitých nástrojích. NC kód generovaný uzpůsobeným postprocesorem je tak použitelnější a snadno upravitelný. Postprocessor umožňuje také zavedení pokročilých funkcí, které nemusí umožňovat ani CAM systém ani řídicí systém stroje. Lze tak velmi efektivně kompenzovat jejich nedostatky. Zpravidla je pro uživatele snadnější upravit postprocessor než CAM systém či řídicí systém a základní úpravy postprocessoru tak může vykonat každý uživatel dle jeho individuálních potřeb. V postprocesoru lze také zavést libovolné přepočty a výrazně tak optimalizovat obráběcí proces například přepočtem přejezdů mezi operacemi či přepočtem posuvu, viz lit. [1]. Příklady těchto pokročilých funkcí ukazuje následující výčet:

- 1) Uzpůsobení formátu NC kódu zvyklostem a potřebám obsluhy
- 2) Generování informací o nástrojích, poznámek v NC kódu
- 3) Vypsání maximálních hodnot jednotlivých souřadnic použitých v NC kódu
- 4) Vypsání celkového strojního času
- 5) Parametrizace NC kódu – otáček, posuvů
- 6) Kontrola maximálních rozsahů pohybových os, maximálních posuvů a otáček
- 7) Generování cyklů řídicího systému – vrtací, vystružovací, frézovací
- 8) Generování funkcí pro přídatná zařízení – dopravníky třísek, manipulátory, lunety
- 9) Využití podprogramů pro opakované funkce a další způsoby zkrácení NC kódu
- 10) Podpora složitějších typů interpolací, pokud je podporuje řídicí systém – prostorové kruhové, šroubové, spline interpolace
- 11) Optimalizace drah, posuvů, otáček



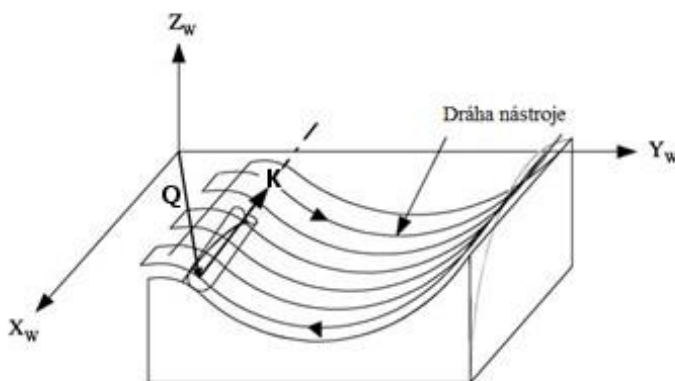
Oddělení postprocesoru od CAM systému i řídicího systému umožňuje generování NC kódů pro libovolně složité stroje, tedy i stroje nové, které například dodavatelé CAM systému zatím standardně nepodporují. Efektivně tak lze například tvořit jednotné NC kódy pro soustružnicko-frézovací stroje či stroje s více než pěti osami. Postprocesor umožňuje univerzální vstupní data z CAM transformovat podle libovolné kinematiky.

### 2.5.1 Transformace souřadnic

Jak již bylo uvedeno v předchozích kapitolách, kinematická transformace souřadnic je jednou ze základních funkcí postprocesoru. Ať už do postprocesoru vstupují interní data CAM programu či vygenerovaná CL data, mají jasně definovanou strukturu, která jednoznačně identifikuje polohu nástroje a jeho orientaci. Poloha nástroje je vždy vztažena ke středu nástroje, ne k místu skutečného dotyku s obrobkem. V případě pětiosého obráběcího centra se jedná o dva následující vektory:

- vektor polohy referenčního bodu nástroje:  $\mathbf{Q} = [Q_x, Q_y, Q_z, 1]^T$
- vektor orientace nástroje:  $\mathbf{K} = [K_x, K_y, K_z, 0]^T$

Vektor  $\mathbf{Q}$  udává polohu nástroje vůči souřadnému systému obrobku určenému v CAM systému ( $X_w, Y_w, Z_w$ ). Vektor  $\mathbf{K}$  udává orientaci nástroje v prostoru. Nástroj se natáčí podle potřeby (definice) obráběcí operace a obrobek zůstává statický. Vektory znázorňuje příložený Obr. 2.4.



Obr. 2.4 – CL data CAM systému [5]

S těmito vstupy postprocesor dále pracuje a transformuje je do kinematiky daného stroje. Libovolný obráběcí stroj lze popsat jako mechanismus tvořený soustavou lineárních a rotačních vazeb. Pohyb v rotační vazbě je konán kolem osy rotace. Pohyb v lineární vazbě je konán ve směru osy. Pro správné určení polohy a orientace obráběcího nástroje ve stroji je třeba tyto pohyby vyjádřit kinematickým modelem. K tomu účelu využíváme transformačních matic základních pohybů, viz lit. [7], [8]. Základní transformační matice pro dílčí pohyby jsou:

Translace dána vektorem  $x\mathbf{i} + y\mathbf{j} + z\mathbf{k}$ :  $T(x, y, z)$ :

$$T(x, y, z) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & x \\ 0 & 1 & 0 & y \\ 0 & 0 & 1 & z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

Rotace kolem osy x o úhel  $\varphi$ :

$$R_x(\varphi_x) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & c\varphi_x & -s\varphi_x & 0 \\ 0 & s\varphi_x & c\varphi_x & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2)$$

Rotace kolem osy y o úhel  $\varphi$ :

$$R_y(\varphi_y) = \begin{bmatrix} c\varphi_y & 0 & s\varphi_y & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ -s\varphi_y & 0 & c\varphi_y & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (3)$$

Rotace kolem osy z o úhel  $\varphi$ :

$$R_z(\varphi_z) = \begin{bmatrix} c\varphi_z & -s\varphi_z & 0 & 0 \\ s\varphi_z & c\varphi_z & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (4)$$

Ve výše uvedeném výčtu vyjadřuje „c“ kosinus úhlu a „s“ sinus úhlu. Transformace z jednoho do druhého souřadného systému je získána maticovým součinem vhodné kombinace těchto základních transformačních matic. Problém transformace souřadnic je poté řešen jako inverzní kinematická úloha, kdy finální pozice nástroje je určena údaji z CL dat. Pro dosažení této pozice řešíme potřebné pohyby v lineárních osách a natočení v rotačních osách, které má kinematika konkrétního stroje k dispozici.

## 3 Vlivy na tvorbu postprocesoru

V této kapitole práce jsou podrobněji rozebrány další vlivy jednotlivých součástí řetězce automatizované tvorby NC kódu na tvorbu postprocesoru a je popsána jejich současná situace na konkrétních příkladech.

### 3.1 Současná situace CAM systémů

Na trhu lze najít velké množství různých CAM systémů. Každý však nabízí různé možnosti. CAM systém může být volen podle těchto nabízených funkcí, ale primárně i podle navázání na používaný CAD systém a vzájemnou kompatibilitu. Ta je nejlépe zaručena použitím CAD/CAM systému, který oba moduly kombinuje. Generování NC kódu poté každý CAM systém řeší odlišně, rozlišit se však dají dva hlavní přístupy. Prvním je integrace postprocesoru do struktury CAM systému. Tento postprocesor následně pracuje přímo s interními daty CAM programu a většinou je možné jej upravovat skrze dodávané nástroje. V druhém případě CAM program generuje CL data, která jsou vstupem pro externí postprocesor.

Většina CAM systémů nabízí v běžné verzi maximálně základní postprocesory. Tvorbu pokročilejších postprocesorů pak nabízí doplňkově nebo skrze externí dodavatele, kteří nabízejí různě kvalitní postprocesory od nejzákladnějších až po pokročilé s rozšiřujícími funkcemi.

#### 3.1.1 Siemens NX

Program Siemens NX od společnosti Siemens je jedním z nejkompaktnějších nabízených PLM<sup>2</sup> systémů. V rámci jednoho nástroje nabízí možnosti CAD, CAE i CAM a postihuje tak de facto celkový návrh výrobku přes návrh, analýzy až po samotnou výrobu. Velkou výhodou tohoto řešení je vzájemná provázanost těchto modulů. Je tak možné řešit výrobu s návrhem současně a při přenosu díky provázanosti nedochází ke ztrátě dat. NX CAM nabízí široké možnosti programování obráběcích operací pro soustružení, frézování ve třech osách, v pěti osách či pro komplexní obráběcí centra sdružující více funkcí. Kromě těchto základních funkcí nabízí rozšířené možnosti programování obráběcích drah, například drah trochoidálních, a rozšířené možnosti simulace obrábění. Poskytuje uživateli možnosti od základní simulace dráhy nástroje až po simulace obrábění se strojem řízené NC kódem za použití integrovaného interpolátoru, díky čemuž není nutné používat samostatný simulační program. Tento nástroj umožňuje integrace postprocesoru do programu.

Postprocesory Siemens NX pracují s daty CAM systému a jsou do něj včleněny. Jejich tvorba a úprava je realizována skrze modul Postbuilder, který je díky grafickému prostředí uživatelsky přívětivý. Umožňuje jak editaci stávajících postprocesorů změnou parametrů generovaného NC kódu, tak zásahy do samotného algoritmu postprocesoru.

---

<sup>2</sup> Product lifecycle management, Řízení životního cyklu výrobku

Tento algoritmus je psán v programovacím jazyce TCL/TK. Siemens NX dále nabízí rozšířené možnosti provázání s řídicím systémem SINUMERIK. [9]

### 3.1.2 Dassault systemes Catia

Program CATIA je podobně jako Siemens NX komplexní PLM program. Nabízí rozšířené možnosti tvorby obráběcích operací včetně trochoidálního obrábění i jejich simulaci v prostředí systému. Umožňuje i simulaci NC kódu se strojem, viz lit. [10]. Na rozdíl od programu NX však CATIA samotná nenabízí možnost úpravy a tvorby postprocesorů. Nabízí generování CL dat a postprocesory řeší primárně skrze tři externí dodavatele – společnosti ICAM, IMS a Cenix. Tyto společnosti nabízejí vývoj postprocesorů i vlastní moduly pro jejich tvorbu nejen pro program CATIA, ale pro všechny CAM programy generující primárně CL data. Možnosti těchto modulů budou analyzovány samostatně na příkladu společnosti ICAM. Další možností je vývoj vlastního postprocesoru pracujícího s generovanými CL daty. Obdobně jako systém Catia řeší postprocessing i mnoho dalších CAM systémů.

### 3.1.3 SolidCAM

CAM program SolidCAM nabízí kromě běžných nástrojů pokročilého CAM systému i modul iMachining, který uživateli slibuje produktivnější obrábění pomocí optimalizace posuvu a dodržení konstantní hodnoty opásání nástroje na celé dráze nástroje. K tomu využívá morfujících spirál, které sledují geometrii obrobku a maximalizují čas záběru nástroje. SolidCAM nabízí dále Průvodce technologií iMachining, který podle uživatelského nastavení CNC stroje a obráběného materiálu automaticky generuje optimální posuvy a otáčky, viz kapitola 5.4. Právě tyto vlastnosti jsou podrobeny výzkumu a jsou podnětem pro tvorbu postprocesorů pro tento CAM systém a motivací pro tvorbu této bakalářské práce. Možností tvorby postprocesorů v programu SolidCAM se zabývá samostatná kapitola (Kapitola 4).

### 3.1.4 ICAM

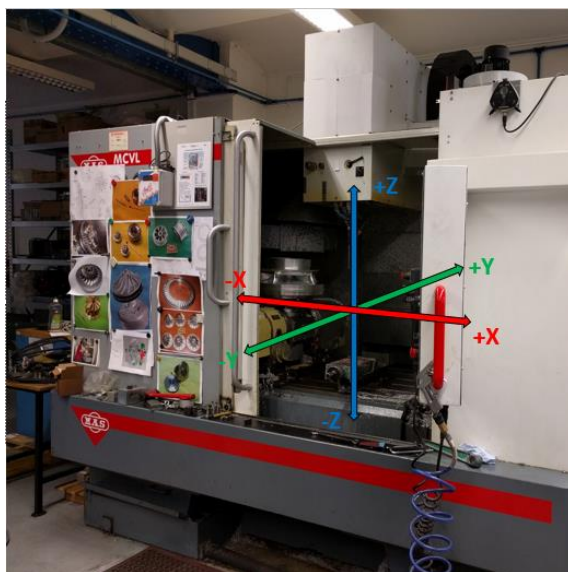
Společnost ICAM se zaměřuje výhradně na vývoj pokročilých postprocesorů a řešení simulace obrábění. Nabízí univerzální nástroje pro generování NC kódu z CL dat z libovolných CAM systémů, z nichž mnoho vlastními možnostmi postprocessingu nedisponuje. Vývoj a úpravu postprocesorů řeší skrze technologii CAM-post, která umožňuje v grafickém prostředí měnit nastavení různých parametrů postprocesorů. ICAM dále zcela vyplňuje mezeru mezi CAM systémy a strojem nabízenými možnostmi postprocessingu, simulace obrábění a následné optimalizace NC kódu. Tyto možnosti spojuje nabízený Adaptivní Post-Processing, kde tyto procesy probíhají souběžně. Díky tomu jsou eliminovány chyby v NC kódu již při jeho tvorbě a programátor nemusí přistupovat k verifikaci a následným opravám. ICAM tímto usiluje o ušetření programovacího času, viz lit. [11].

Zároveň postprocesory společnosti ICAM nabízí pokročilé funkce optimalizace generovaného NC kódu. Především se jedná o úpravu pojezdů mezi operacemi a přepočty

posuvů dle odebíraného materiálu za účelem dosažení konstantního úběru materiálu. Modul ICAM provádí simulaci úběru materiálu a podle jejích výsledků upraví posuvy v jednotlivých bodech. Tyto a další funkce jsou cesty, jak skrze vhodný postprocesor zvýšit výkonost a snadnost obrábění, viz lit. [12].

### 3.2 Popis předmětného stroje MAS MCVL 1000 Laser

Postprocesor je navrhován pro pětiosý stroj Ústavu výrobních strojů a zařízení (resp. Výzkumného centra pro strojírenskou výrobní techniku a technologii). Základ tohoto stroje tvoří tříosý stroj MCV 1000 vyráběný společností Kovosvit MAS a. s. Parametry stroje uvádí Příloha I. Za účelem dosažení možností pětiosého frézování je ke stroji připojen otočně-sklopný stůl 5AX-220 II ZA od společnosti NIKKEN. Parametry přídatného stolu uvádí Příloha II. Tato úprava k základním třem lineárním strojním osám (X, Y, Z) přidává dvě rotační osy B a C. Pohyb v rotační ose B je realizován naklápěním stolu v rozsahu  $-120^\circ$  až  $30^\circ$ . Naklápění v rotační ose B naklápí současně rotační osu C. Samotný pohyb v ose C je zajištěn rotací stolu. Rozsah otáčení rotačního stolu není omezen. Jedná se o typickou konfiguraci stroje stůl – stůl. Kinematiku stroje zobrazují následující obrázky - Obr. 3.1, Obr. 3.2.



Obr. 3.1 - MAS MCVL 1000



Obr. 3.2 - Otočně sklopný stroj NIKKEN

Pohyb ve veškerých strojních osách a řízení stroje zajišťuje řídicí systém Heidenhain iTNC 530. Umožňuje jak frézování v režimu polohování, tak souvislé pětiosé frézování. Možnostem řídicího systému a jejich vlivu na tvorbu postprocesoru se věnuje následující kapitola.

#### 3.2.1 Popis funkce řídicího systému Heidenhain

Firma Dr. Johannes Heidenhain GmbH nabízí mnoho verzí svých řídicích systémů od jednoduchých pro tříosé frézování (iTNC 128) až po složité pro soustružnicko-frézovací centra s možností ovládnutí až 18-ti řízených os a dvou vřeten (iTNC 640). V této práci



budou zmapovány možnosti řídicího systému iTNC 530 pro víceosé frézování. Ten patří mezi špičku v oboru s deklarovanou rychlostí zpracování bloku 0,5 ms a schopností rozlišení až 0,0001 mm [13].

Řídicí systém iTNC 530 od firmy HEIDENHAIN je dílensky a konturově orientovaný řídicí systém pro frézovací, vrtací a vyvrtávací stroje stejně jako pro obráběcí centra. Umožňuje snadné vytváření NC kódů přímo na panelu stroje, podporuje však i odbavování externě vytvořených programů. Řídicí systém Heidenhain používá vlastní jazyk Dialog, který ze standartního kódu ISO přejímá pouze pomocné M funkce. To umožňuje rozsáhlé možnosti ovládání obráběcího procesu a jeho optimalizace a zrychlení. K tomu řídicí systém využívá pevné cykly (popsané v kapitole 5.2.2), programovatelné Q parametry a rozšiřující funkce optimalizace řezného procesu.

Zápis pohybových bloků v jazyku DIALOG se odlišuje od kódu ISO. Lineární interpolace je uvozena vždy znakem „L“, jak je zobrazeno na Obr. 3.3 v bloku 44. V tomtéž bloku je využit též Q parametr pro vypsání posuvové rychlosti. Tato parametrizace je popsána v kapitole 5.2.1. Generování lineární interpolace pokrývá kapitola 5.1.3. Bloky 45 a 46 na obrázku představují kruhovou interpolaci, která je řešena v kapitole 5.1.4.

44 L X-48.915 Y-74.568 F+Q602
45 CC X-54.254 Y-66.113
46 C X-45.799 Y-60.773 DR+

Obr. 3.3: Lineární a kruhová interpolace v jazyku DIALOG

Heidenhain iTNC 530 nabízí v základu nebo jako možnost rozšíření například funkci Adaptivní řízení posuvu, které reguluje posuv v závislosti na aktuálním výkonu vřetene a zároveň sleduje stav opotřebení nástroje. Dalším příkladem je Aktivní potlačení drnčení ACC, které primárně u hrubování zvyšuje kvalitu povrchu a zároveň snižuje zatížení stroje. Z hlediska tvarové přesnosti křivek nabízí iTNC 530 dopředný výpočet až 1024 bloků a dokáže tak včas přizpůsobit rychlost posuvů přechodům mezi konturami. Podporuje také interpolaci typu spline až do polynomu třetího řádu, viz lit. [14].

Z hlediska zpracování externě vytvořených NC kódů nabízí Heidenhain dvě možnosti vstupů. V případě zakomponování kinematiky stroje v postprocesoru a transformace souřadnic pouze odbavuje program. Nabízí ale i možnost přepočtu obecných souřadnic do souřadnic konkrétního stroje při použití přídatné funkce řídicího systému Tool center point management (dále TCPM). V programu se funkce nastaví pomocnou funkcí M128, nebo nově také funkcí FUNCTION TCPM, která nabízí více možností nastavení. Použití obou funkcí je však podmíněno zahrnutím přesných údajů o kinematice do systému výrobcem stroje.

## 4 Možnosti tvorby postprocesoru v SolidCAM

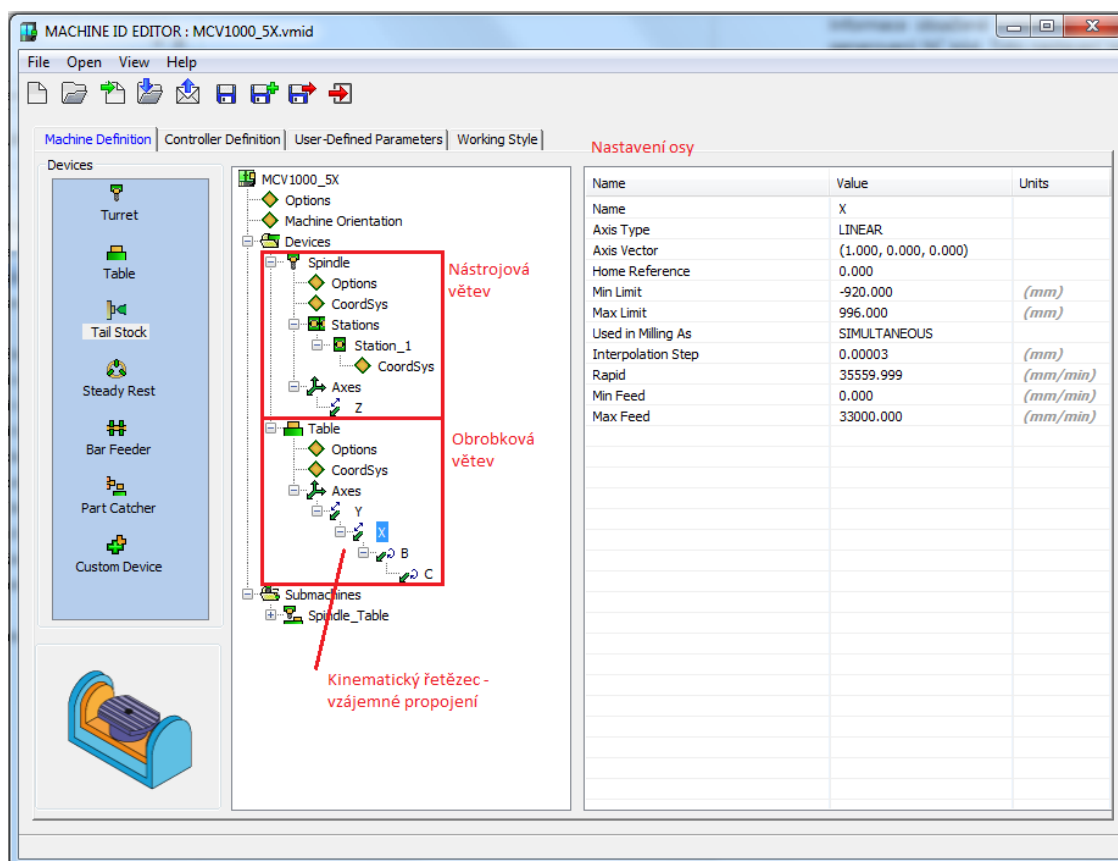
Postprocesory programu SolidCAM jsou integrovány přímo do programu a pracují s interními daty. Možnost vygenerovat CL (cutter location) data v neupravené podobě SolidCAM neumožňuje (lze však vytvořit postprocesor generující z interních dat programu CL data namísto NC kódu). Ačkoliv je toto zčásti limitující, nabízí SolidCAM velmi rozšířené možnosti tvorby a úpravy postprocesorů včetně ovládání jejich chování přímo z prostředí CAM systému. Postprocesor je tvořen dvěma samostatnými soubory. Souborem GPP (General Post-processor) a VMID (Virtual Machine ID). VMID je soubor informací o konkrétním stroji a chování postprocesoru. Upravovat jej je možné v grafickém rozhraní editoru Machine ID. Nastavovat umožňuje parametry stroje, tj. především kinematiku, rozsahy pohybových os, přídatné systémy (dopravník třísek, výměna nástrojů) a chování postprocesoru, tj. možnosti chlazení, nastavení kruhových interpolací, uživatelské parametry atp. GPP je samotný algoritmus postprocesoru, který zpracovává data z CAM do formy NC kódu. Jedná se ve své podstatě o překladač. Pracuje jak s parametry z CAM systému, tak s nastavenými parametry v souboru VMID.

### 4.1 VMID

Soubor VMID definuje stroj, jeho funkce a současně slouží jako preprocesor. Informace obsažené v souboru VMID přímo ovlivňují chování postprocesoru, i generaci drah v CAM, a tedy i výsledný generovaný NC kód. Toto nastavení tak musí přesně odpovídat konkrétnímu použitému stroji, jinak může docházet k nepřesnostem a například i k chybné transformaci souřadnic. Nastavení souboru VMID je tedy třeba věnovat zvýšenou pozornost, především co se parametrů stroje týká. Dále však VMID nabízí rozšiřující možnosti, které pracují s postprocesorem a projeví se přímo v prostředí CAM. Definují se zde například uživatelské proměnné.

#### 4.1.1 Nastavení stroje

Jako první věc je potřeba přesně nastavit stroj s kompletní kinematikou a přídatnými zařízeními (viz Obr. 4.1). Kinematikou stroje jsou myšleny veškeré pohybové osy, jejich umístění, orientace, rozsahy a vzájemná vazba. S touto kinematikou následně postprocesor počítá při transformaci souřadnic, která je nutná v případě, že se alespoň jedna rotační osa nachází v obrobkové větvi struktury stroje. Z tohoto důvodu musí jak poloha, tak vazba os přesně odpovídat reálnému stroji. Kinematika nastavená ve VMID je dále používána v simulaci obrábění se strojem v prostředí CAM.



Obr. 4.1: VMID - nastavení stroje

Na stroji lze také nastavit veškerá přídatná zařízení a jejich funkce, které má postprocessor ovládat. Například se jedná o:

- Koníky, lunety
- Dopravník třísek
- Podavač materiálu
- Odběr výrobků
- Možnosti chlazení
- Výplach pracovního prostoru

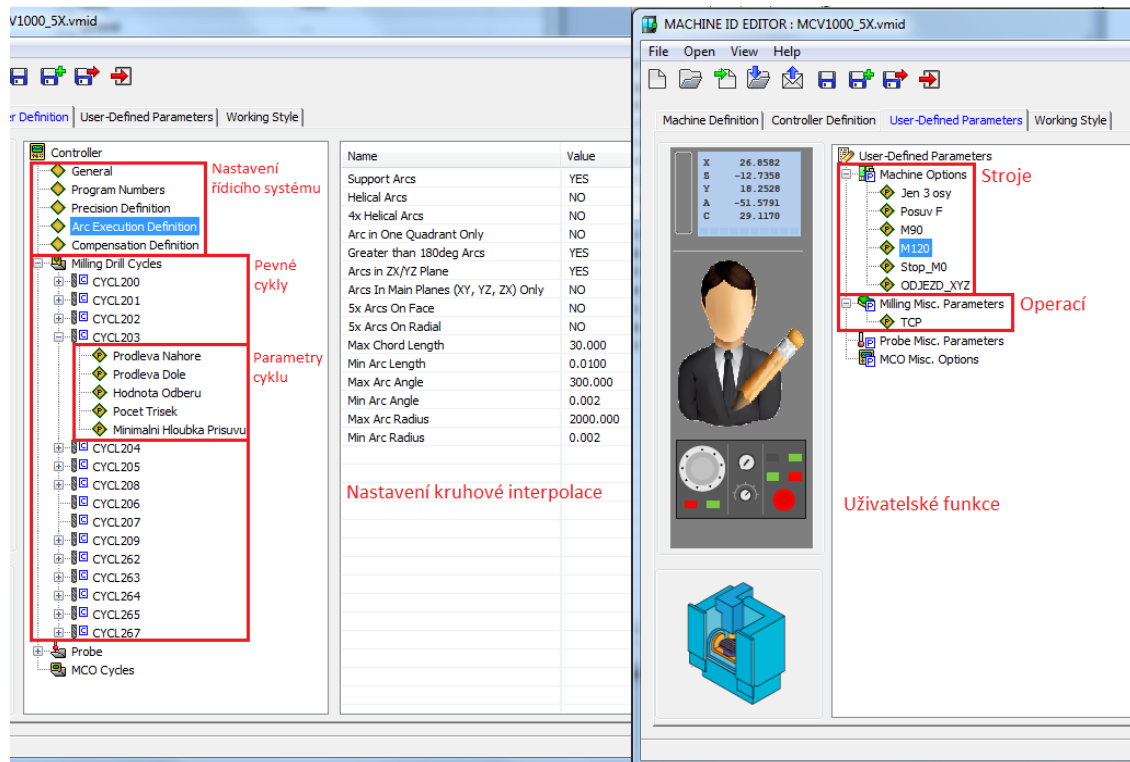
#### 4.1.2 Nastavení chování postprocesoru

VMID dále umožňuje rozšířené možnosti úpravy chování postprocesoru, a to včetně způsobu výpočtu výsledných drah (viz Obr. 4.2). Postprocessor z CAM systému získává CL data, které definují polohu, natočení nástroje a parametry obrábění. Způsob propojení těchto bodů, a tedy generace drah je věcí řídicího systému a postprocesoru. Postprocessor musí generovat NC kód takový, aby mu řídicí systém plně porozuměl a byl schopen vykonat všechny dané úkony. Každý řídicí systém však nabízí různé funkce a možnosti. Tyto vlastnosti řídicího systému a chování postprocesoru lze nastavit právě ve VMID, konkrétně:

- Nastavení kruhových interpolací
- Nastavení přesnosti lineárních, rotačních os



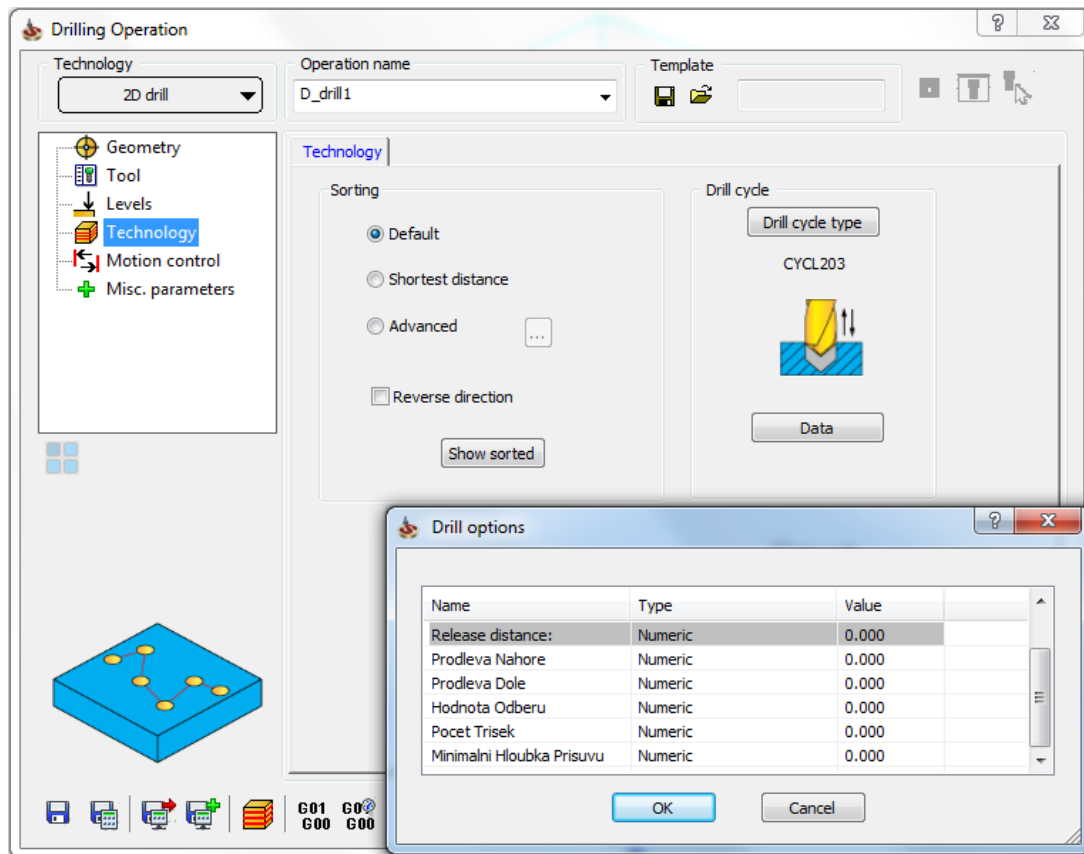
- Nastavení kompenzace
- Nastavení souvislého pětiosého obrábění



Obr. 4.2: VMID – nastavení chování postprocesoru

Další možnosti zahrnují propojení chování postprocesoru přímo s prostředím CAM (viz Obr. 4.3). Tyto možnosti zahrnují například pevné cykly (vrtací, frézovací) či libovolné uživatelské funkce (viz Obr. 4.2). Ve VMID probíhá definice těchto funkcí. Uživatel je v CAM vidí a může je nastavit. Postprocesor s těmito nastavenými parametry následně počítá. Uživatelské funkce lze nastavit jak pro konkrétní stroj, tak pro obráběcí operace. Možnosti nastavení zahrnují především:

- Pevné cykly vrtací, frézovací
- Uživatelské funkce stroje
- Uživatelské funkce operací
- Sondy



Obr. 4.3: Operace vrtání v CAM s cyklem nastaveným ve VMID

## 4.2 GPP

GPP je textový soubor psaný v jazyce General postprocessor language, což je vyšší programovací jazyk podobný jazyku Basic. K jeho úpravě je možné využít volně dostupných textových editorů. Jedná se o algoritmus postprocesoru, který zpracovává veškeré informace z CAM systému a ze souboru VMID do podoby výsledného NC kódu podle definovaných pravidel. Řešit přitom musí použitý stroj, použitý řídicí systém či vazby na CAM a uživatele kódu, tedy výslednou formu NC kódu.

Soubor GPP se skládá z jednotlivých procedur, které jsou při generaci NC kódu postupně volány podle algoritmu. Jednotlivé procedury jsou uvedeny jako @“název“ a ukončeny „endp“. Na pořadí procedur v souboru nezáleží. Procedury lze volat příkazem call @“název“ v rámci jiné procedury. Ihned po tomto příkazu bude provedena volaná procedura a bude včleněna do procedury volající. Pokud je volající procedura první úrovně (není volána jinou, je volána programem), bude volaná procedura úrovně druhé. Proceduru první úrovně nelze prostřednictvím GPP nijak volat. Takto lze vytvořit i složité algoritmy s vlastními procedurami, které jsou zcela libovolné a mohou činit cokoli, co programátor požaduje. Nejdůležitější procedury jsou zde vypsány podle pořadí, v jakém jsou volány včetně komentáře jejich činnosti. Diagram základní funkce postprocesoru zobrazuje Příloha III.

### **Procedura @init\_post**

Obsahuje primárně definici globálních proměnných, které jsou následně používány v celém algoritmu a nejsou automaticky zahrnuty. Dále umožňuje nastavit, na kolik desetinných míst se budou jednotlivé souřadnice generovat a nastavit funkci trace (popis Funkce trace viz 4.2.1).

### **Procedura @start\_of\_file**

Obsahuje veškeré informace o obrobku, o uživatelském nastavení stroje, o umístění souborů. Lze zde na začátku nastavit parametry ovlivňující chování postprocesoru po celou dobu generování NC kódu – například jaká transformace bude využita, zda bude použit parametrický posuv. Definují se zde parametry pevných cyklů a chlazení. Pokud tak nebyly upraveny, negenerují tato ani předchozí funkce žádnou část NC kódu, jsou přípravné. Vždy jsou provedeny pouze jednou.

### **Procedura @def\_tool**

Obsahuje informace o používaném nástroji včetně čísla nástroje, průměru, délky. Jsou zde vypsány parametry operace jako otáčky a posuvy. V této proceduře lze začít NC kód, a to hlavičkou.

### **Procedura @change\_tool**

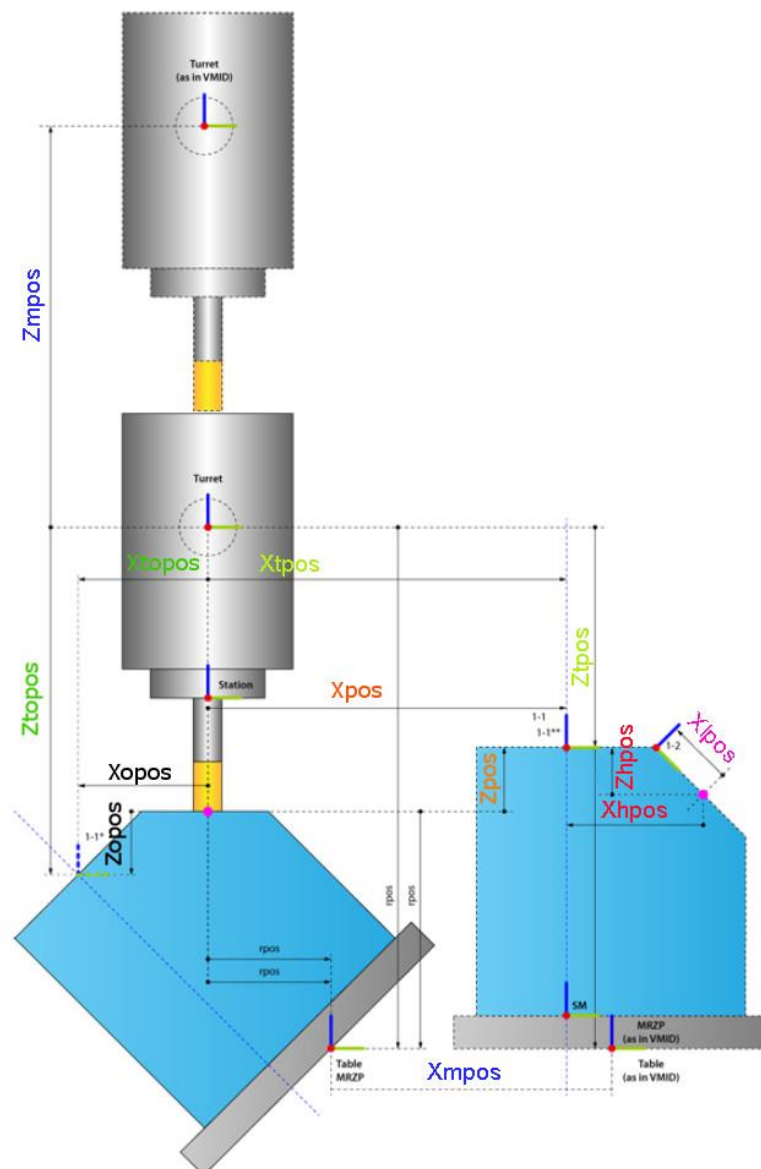
Generuje bloky programu zodpovědné za definici a výměnu nástroje.

### **Procedura @start\_of\_job**

Procedura je provedena na začátku každé operace, obsahuje konkrétní informace o operaci a uživatelské parametry nastavené u operace v CAM.

Tyto operace generují v NC kódu primárně přípravné funkce či komentáře. Pohyby se generují podle typu dráhy, která má v postprocesoru každá svou odpovídající proceduru. Tyto procedury jsou například **@line**, **@move**, **@line\_5x**, **@move\_5x**, **@arc**.

Každá volaná pohybová procedura vygeneruje jeden blok NC kódu pro pohyb. Úkolem těchto procedur je, aby vygenerovaný blok byl pro daný řídicí systém srozumitelný formou a aby generované souřadnice odpovídaly dráze nastavené v CAM. Při víceosém obrábění to znamená v případě strojů s rotačními osami umístěnými na stole nutnost transformace souřadnic. Tyto transformace jsou v prostředí SolidCAM řešeny možností nastavení různých souřadných systémů generovaných souřadnic. Tyto souřadné systémy počítají s kinematikou stroje nastavenou v programu VMID a podle ní přepočítávají pohyb v lineárních osách. Podle požadované transformace na konkrétním stroji se volí jeden ze souřadných systémů a následně se musí dle této volby upravit postprocesor, aby generoval odpovídající dráhy. Souřadné systémy jsou například **hpos**, **mpos**, **tpos**, **opos**, **lpos**. Zobrazuje je následující obrázek (Obr. 4.4).



Obr. 4.4 Souřadné systémy souřadnic [15]

### 4.2.1 Funkce trace

Funkce trace slouží k vypisování informací z postprocesoru do generovaného NC kódu. Nachází se na začátku postprocesoru a má tři základní nastavení – 0, 1 a 5. Při použití nastavení 0 nevypisuje žádné informace a výsledkem je NC kód použitelný na stroji. Při nastavení 1 jsou do NC kódu vypsány procedury, které daný blok generují. Při nastavení 5 se pak vypisuje NC kód s veškerými parametry, které ho ovlivňují. Při úpravě tak je přesně vidět, co za proceduru a případně parametr je potřeba změnit.

### 4.3 Shrnutí

V rešeršní části práce byl rozebrán postup automatizované tvorby NC kódu, jeho jednotlivé složky a jejich vzájemná interakce. Jako klíčový článek propojující CAM systém s konkrétním strojem byl označen postprocesor, který je zodpovědný za tvorbu

NC kódu. Zanalyzovány byly funkce postprocesoru a možnosti jejich rozšíření. Všeobecně lze konstatovat, že postprocessor může být zanedbávanou součástí celého výrobního cyklu, přestože kvalita jeho zpracování ovlivňuje celý proces. Aby byly využity veškeré funkce stroje, jeho řídicího systému a používaného CAM systému, musí tyto funkce obsahovat i postprocessor a musí s nimi umět zacházet. Od zpracování postprocesoru se tak odvíjí i výsledná kvalita výrobku. Kvalitně zpracovaný postprocessor může výrazně urychlit a zkvalitnit výrobní proces například automatickou eliminací chyb či zobrazováním požadovaných informací obsluze stroje. Může dokonce i pružně doplňovat nedokonalosti řídicích systémů a CAM systémů implementací zcela nových uživatelských funkcí. Postprocessor je totiž na rozdíl od těchto systémů zpravidla otevřený a jeho funkce se dá upravovat libovolně. Tyto možnosti dávají podnět zabývat se tvorbou a úpravou postprocesorů podrobněji.

V druhé části rešerše je analyzována současná situace CAM systémů s ohledem na tvorbu postprocesorů a je představeno konkrétní řešení stroje a řídicího systému, pro které bude postprocessor navržen. Stroj je vybaven řídicím systémem Heidenhain iTNC 530 a využívá jazyku DIALOG, který se syntaxí výrazně odlišuje od standardního formátu ISO. Toto formátování NC kódu musí postprocessor respektovat. Podrobněji jsou dále rozebrány možnosti tvorby postprocesoru pro CAM systém SolidCAM. Ten pracuje s interní datovou strukturou CL dat a jejich soubor neexportuje. Je možné vytvořit postprocessor generující „neupravená“ CL data, zpravidla je však výhodnější přímo v rámci CAM systému vytvořit komplexní postprocessor splňující veškeré požadavky uživatele. Nástroje, které SolidCAM v tomto ohledu nabízí, jsou uživatelsky přívětivé a představují takřka neomezené možnosti úpravy generovaného NC kódu. Jednotlivé nástroje jsou v rešerši představeny a jsou zmapovány jejich funkce a možnosti nastavení. Rešerše tak představuje východisko pro vlastní řešení tvorby postprocesoru v systému SolidCAM, které je předmětem následující kapitoly.

## 5 Řešení postprocesoru

Předpoklady a možnosti tvorby postprocesorů v SolidCAM byly autorem ověřeny při tvorbě základního postprocesoru pro tříosý stroj MCFV 5050LN s řídicím systémem Sinumerik 840D. Tvorba tohoto postprocesoru není předmětem práce a rozvedena proto nebude. Při tvorbě postprocesoru pro pětiosý stroj MAS MCVL 1000 Laser byl jako výchozí použit dodávaný soubor GPP společnosti Solidvision pro pětiosý stroj Hermle C30 s řídicím systémem Heidenhein iTNC 530. Tento stroj je konfigurace stůl – stůl s řízenými rotačními osami A a C. K transformaci souřadnic dodávaný postprocesor využíval možností řídicího systému (bude vysvětleno v samostatné kapitole 5.3.1). Postprocesor byl přepracován pro danou kinematiku a parametry stroje MAS MCVL 1000 dle požadavků obsluhy a byl vytvořen odpovídající soubor VMID uvažovaného stroje. Přidány byly dále rozšiřující funkce postprocesoru a volitelná transformace souřadnic v postprocesoru namísto v řídicím systému.

### 5.1 Základní funkce postprocesoru

V následující kapitole bude podrobněji rozebrána základní funkce postprocesoru. Na příkladech bude ukázáno, jak algoritmy postprocesoru pracují se vstupními daty a generují NC kód pro řídicí systém Heidenhain iTNC 530 Dialog.

#### 5.1.1 Hlavička a úvodní bloky NC kódu

Hlavička uvozuje každý NC kód. Kromě informací potřebných pro řídicí systém jsou v hlavičce vypisovány i informace pro obsluhu stroje. Tyto informace musí být uvozeny středníkem, který značí komentář. Řídicí systém data za středníky nečte a do komentářů tak lze vložit cokoliv. Příklad hlavičky NC kódu je zobrazen na obrázku níže (Obr. 5.1). První blok (blok číslo nula) uvozuje NC kód. Začíná zvolený program (v našem případě 5X\_PC\_FACES1) a určuje jednotky, ve kterých je NC kód psán (v našem případě milimetr). Následující bloky jedna až devět jsou komentáře sloužící pro jednoznačnou identifikaci NC kódu. Komentáře vypisované uvažovaným postprocesorem identifikují stroj, řídicí systém, verzi postprocesoru, programátora CAM operace, daný projekt v CAM systému a datum s časem. Vypsáním těchto informací lze zamezit například záměně NC kódu a jeho spuštění na špatném stroji. Usnadňuje také obsluhu orientaci. Bloky deset a jedenáct definují rozměry polotovaru nastaveného v CAM systému. Na následující činnost řídicího systému nemají žádný vliv, pouze definují rozměry kvádru polotovaru pro simulaci obrábění v řídicím systému stroje. Blok dvanáct vypisuje v kódu dvě M-funkce upravující chování řídicího systému. Funkce M135 ruší funkci M134 – přesné zastavení na netangenciálních přechodech při použití souvislého pětiosého frézování. Souvislé pětiosé frézování je tak plynulé. Funkce M126 zajišťuje pohyb rotačních os do následující polohy po nejkratší dráze. Při použití této funkce řídicího systému bude pohyb z  $C=355^\circ$  na  $C=5^\circ$  proveden přes polohu  $C=360^\circ$ , neboť je to nejkratší možná dráha. Naopak bez této funkce by celý stůl rotoval nazpět o  $350^\circ$ . Díky možnosti použití této funkce v řídicím systému nemusí toto řešit postprocesor.



Na Obr. 5.2 je zobrazen algoritmus postprocesoru, který generuje NC kód na Obr. 5.1. Na tomto základním příkladu budou ukázány některé funkce GPP v praxi. Dále v textu budou algoritmy postprocesoru uváděny pouze v přílohách.

```

0 BEGIN PGM 5X_PC_FACES1 MM
1 ;STROJ: MCVL1000
2 ;SYSTEM: HEIDENHAIN iTNC530 Dialog
3 ;POSTPROCESSOR: M5_H530_MCVL1000
4 ;GPP_VER.: 2016-11-25
5 ;PROGRAMATOR: MACHALA
6 ;Projekt: TURBINA
7 ;Datum: 7.2.2017
8 ;Cas: 12:40:51
9 ;
10 BLK FORM 0.1 Z X-75 Y-75 Z+85
11 BLK FORM 0.2 X+75 Y+75 Z+105
12 M135 M126
    
```

Obr. 5.1: Hlavička NC kódu

<pre> S_GcodeName = left(g_file_name, strlen(g_file_name) - instr(rev(g_file_name), ".")) {"0 BEGIN PGM ", S_GcodeName, " MM"}         </pre>	0
<pre> S_comment&lt;&lt;1&gt;&gt; = "STROJ: MCVL1000" S_comment&lt;&lt;2&gt;&gt; = "SYSTEM: HEIDENHAIN iTNC530 Dialog" S_comment&lt;&lt;3&gt;&gt; = "POSTPROCESSOR: M5_H530_MCVL1000" S_comment&lt;&lt;4&gt;&gt; = "GPP_VER.: " + S_GPPversion S_comment&lt;&lt;5&gt;&gt; = "PROGRAMATOR: " + upper(user_account) S_comment&lt;&lt;6&gt;&gt; = "Projekt: " + part_name call @U_datum ;převod automaticky generovaného data na číselné S_comment&lt;&lt;7&gt;&gt; = "Datum: " + S_temp S_comment&lt;&lt;8&gt;&gt; = "Cas: " + time call @U_print_comment ;vytištění dat proměnných S_comment jako komentáře {nb, ","}         </pre>	1-9
<pre> if (stock_x_minus &lt; -2000) or (stock_y_minus &lt; -2000) or (stock_z_minus &lt; -2000) or (stock_x_plus &gt; 2000) or (stock_y_plus &gt; 2000) or (stock_z_plus &gt; 2000) S_comment&lt;&lt;1&gt;&gt; = "Chybou geometrie modelu SolidCAM nemůže být BLK FORM správně upraven:"     call @U_print_comment     {nb, "BLK FORM 0.1 Z X", (0):xpos_f, " Y", (0):ypos_f, " Z", (0):zpos_f}     {nb, "BLK FORM 0.2 X", (0):xpos_f, " Y", (0):ypos_f, " Z", (0):zpos_f} else {nb, "BLK FORM 0.1 Z X", stock_x_minus:xpos_f, " Y", stock_y_minus:xpos_f, " Z", stock_z_minus:xpos_f} {nb, "BLK FORM 0.2 X", stock_x_plus:xpos_f, " Y", stock_y_plus:xpos_f, " Z", stock_z_plus:xpos_f} endif         </pre>	10,11
<pre> {nb, "M135 M126"}         </pre>	12

Obr. 5.2: Algoritmus postprocesoru zodpovědný za generování hlavičky NC kódu

Modrou barvou jsou zobrazeny jednotlivé proměnné, červenou barvou jsou zvýrazněny volané procedury. Zelenými rámečky jsou ohraničeny řádky generující příslušná čísla bloků NC kódu na Obr. 5.1. Zavolaná procedura je okamžitě provedena podle příslušného algoritmu. V našem případě procedura @U\_datum převede datum z anglické zkratky (JAN, FEB) do číselné podoby a umožní vypsat datum ve zvoleném formátu. Procedura @U\_print\_comment vypisuje předem definovanou řadu proměnné S\_comment do

jednotlivých komentářů. Každý nový blok NC kódu je uveden slovem „nb“, nový řádek by byl uveden slovem „nl“. Věty generující NC kód jsou uvedeny ve složených závorkách. Ve většině vět jsou využívány předem definované proměnné. Pokud je proměnná vložena ve větě generující NC kód, bude v NC kódu generována její hodnota ve formátu určeném proměnnou za dvojtečkou. V našem případě tak bude stock\_x\_minus:xpos\_f generovat dolní hodnotu souřadnice X polotovaru (nastavenou v CAM systému na -75) ve formátu xpos\_f (definovaném v postprocesoru).

### 5.1.2 Volba nástroje, definice otáček

Po úvodní hlavičce je třeba v NC kódu definovat nástroj a otáčky vřetena. Vypsáním čísla nástroje v NC kódu se k programu přiřadí příslušný nástroj definovaný v tabulce nástrojů řídicího systému. Řídicí systém následně pracuje s údaji obsaženými v této tabulce, včetně délky nástroje a jeho korekcí. Samotný blok výměny nástroje s definováním otáček je zobrazen na Obr. 5.3 v bloku číslo 31. V jazyku Dialog je výměna nástroje prováděna příkazem „TOOL CALL“, po kterém následuje číslo nástroje, v příkladu na obrázku číslo „1“. Následně je určena osa nástroje, a tedy i interpolační rovina. V našem příkladu je určena osa nástroje „Z“, tedy interpolační rovina „XY“. Posledním údajem bloku výměny nástroje je určení otáček. Provádí se vypsáním písmene „S“ následovaným příslušnou hodnotou v otáčkách za minutu, v našem případě „3500“. Obsluha stroje vyměňuje nástroj ručně.

```

...
26 ; *****
27 ; NASTROJ: T1 D8 R4 L40 DB24 Z2
28 ; TYP: KULOVA FREZA
29 ; UPINAC: BT40 SRK 6x85
30 ; *****
31 TOOL CALL 1 Z S3500
...
    
```

Obr. 5.3: Bloky výměny nástroje

Kromě samotného bloku výměny nástroje je výhodné přímo v NC kódu vypsát komentář obsahující údaje o nástroji z CAM systému. Snižuje se tím možnost záměny nástroje, jeho špatného nastavení a tím pádem i riziko chyb a kolizí. Tento komentář, na Obr. 5.3 uvedený v blocích 26-30, nemá vliv na provedení NC kódu řídicím systémem. Vypisuje číslo nástroje „T“, průměr nástroje „D“, rádius „R“, délku nástroje „L“, délku rezné části „DB“ a počet zubů „Z“. Dále vypisuje typ nástroje a v CAM systému použitý upínač. Těmito údaji je nástroj zcela jednoznačně identifikován například i pro případné simulace kódu probíhající mimo stroj a mimo CAM systém.

### 5.1.3 Lineární interpolace s korekcí nástroje

V případě lineární interpolace využívá jazyk Dialog na rozdíl od jazyku ISO shodného symbolu „L“ (line) pro pohyb i pro pohyb s rychloposuvem. Rychloposuv je v daném bloku definován vypsáním „FMAX“ namísto konkrétní hodnoty posuvu. Příklad úvodní lineární interpolace je zobrazen na Obr. 5.4.



```
...  
39 L X-49.048 Y-74.356 R0 FMAX M3  
40 L M8 ;Kapalina  
41 L Z+150 R0 FMAX  
...
```

*Obr. 5.4: Lineární interpolace*

V bloku jsou definovány souřadnice X, Y a Z. Souřadnice, které se účinkem bloku nemění, se neuvádí. Pokud se jedná o první pohybový blok NC kódu, obsahuje další údaje. Pokud je úloha programována na nástroj bez korekce, uvede se v prvním bloku „R0“. Nástroj pojíždí svým středem po programované dráze v rovině obrábění. V případě použití korekce nástroje řídicí systém koriguje dráhu nástroje o korekční hodnotu v rovině obrábění. Pokud má nástroj pojíždět vpravo od obrysu je definována korekce „RR“. Má-li nástroj pojíždět naopak vlevo od obrysu, definuje se korekce „RL“. Střed nástroje se přitom nachází ve vzdálenosti korekce rádiusu nástroje (hodnota definovaná v tabulce) od programovaného obrysu vpravo či vlevo ve smyslu obrysu. Typ korekce musí automaticky generovat postprocesor na základě nastavení v CAM systému. Nemění-li se korekce v průběhu programu, nemusí být vypisována. V postprocesoru lze však zapnout vypisování korekce v každém bloku. Pomocná funkce M3 roztáčí vřeteno ve směru pohybu hodinových ručiček předem definovanými otáčkami. K roztočení vřetena proti směru pohybu hodinových ručiček slouží funkce M4. Blok 40 na Obr. 5.4 zapíná v CAM systému navolené chlazení. V našem příkladu zapíná běžné chlazení kapalinou pomocnou funkcí M8. Běžně CNC stroje nabízí více možností chlazení, například chlazení vzduchem, středem vřetena či mlhou. Tyto možnosti musí být specifikovány v souboru VMID konkrétního stroje, následně je možné provést jejich volbu v CAM systému u jednotlivých obráběcích operací. Aby volbu postprocesor vygeneroval do výsledného NC kódu, musí být veškeré možnosti chlazení zaneseny v postprocesoru s odpovídajícím spouštěcí a vypínací pomocnou funkcí definovanou v PLC stroje. Postprocesor následně v prvním pohybu generuje zapnutí zvoleného chlazení příslušnou pomocnou funkcí a vypisuje komentář s popisem příslušné funkce.

#### 5.1.4 Kruhová interpolace

I v případě kruhové interpolace se jazyk DIALOG odlišuje od ISO kódu. V případě kruhové interpolace v interpolační rovině XY je střed kružnice určen souřadnicemi X a Y v bloku uvozeném slovem „CC“ (circle center). Tyto souřadnice jsou vztažené k souřadnému systému obrobku. Počátek kruhové dráhy, a tedy i její poloměr je určen naposledy programovanou polohou nástroje. V následném bloku musí být definován koncový bod kružnice uvozený slovem „C“ a určený souřadnicemi v interpolační rovině. Ve stejném bloku je definován i smysl pohybu. Pohyb proti směru hodinových ručiček je definován slovem „DR+“, pohyb po směru hodinových ručiček slovem „DR-“. Výsledný kód kruhové interpolace je zobrazen na Obr. 5.5.

```
...  
45 CC X-54.254 Y-66.113  
46 C X-45.799 Y-60.773 DR+  
...
```

Obr. 5.5: Kruhová interpolace

Generování dalších přídatných funkcí v bloku kruhové interpolace se řídí stejnými pravidly jako v případě lineární interpolace.

### 5.1.5 Ukončení programu

Na konec programu musí být především zařazeno ukončení provádění programu – pomocná funkce M30 – a zcela na závěr ukončovací blok celého programu. V ukončovacím bloku slova „END PGM“ uvozují název programu a programované jednotky („MM“). Příklad základního ukončení programu je zobrazen na Obr. 5.6. Dále lze na konec programu vypsát informace pro obsluhu, jako například maximální pojezdy v NC kódu či strojní čas. Těchto možností využívají některé rozšiřující funkce postprocesoru. Řídicí systém Heidenhain iTNC 530 také umožňuje na konci programu za blokem obsahující přídatnou funkci M30 generovat podprogramy, které jsou volány v průběhu NC kódu. V případě jejich častého výskytu podprogramy výrazně zkracují délku NC kódu, protože vypsány jsou pouze jednou pro neomezený počet výskytů.

```
...  
145 L Z+333 FMAX  
146 L M30  
147 END PGM F3D_CONTOUR16 MM  
...
```

Obr. 5.6: Ukončení programu

## 5.2 Rozšířená funkce postprocesoru

Kromě základní funkce může postprocesor konat nepřeberné množství úkonů usnadňující použití či zkvalitňující funkčnost generovaného kódu. Postprocesor je snadno upravitelný a umožňuje programovat libovolné funkce. Kvalitně zpracovaný postprocesor tak například uvažuje možnosti použitého řídicího systému a aktivně jich využívá. Lze také upravovat samotné dráhy a parametry obrábění za účelem dosažení lepších výsledků. V následující kapitole budou popsány základní rozšiřující funkce, které byly implementovány i do postprocesoru pro stroj MAS MCVL 1000 Laser.

### 5.2.1 Parametrizace posuvových rychlostí

V CAM systému se zpravidla u každé operace nastavují hodnoty posuvové rychlosti. Tyto hodnoty se následně vypisují do NC kódu. Řídicí systém Heidenhain však umožňuje vypisovat číselné hodnoty i parametricky pomocí Q parametrů. Ty mají hodnotu přiřazenou na jiném místě v programu. Veškeré posuvové rychlosti v NC kódu tak lze parametrizovat – vypsát hodnoty posuvových rychlostí do zvolených Q parametrů na začátku programu a ty následně používat namísto číselné hodnoty. Posuvovou rychlost tak může operátor přepsáním jedné hodnoty změnit v celém programu. V případě

postprocesoru integrovaného do CAM systému je tato parametrizace jednoduchá. Volené posuvové rychlosti v CAM systému se pro každý typ operace zapisují do proměnných. V NC kódu je pak třeba vygenerovat na začátku Q parametry s hodnotami těchto proměnných. Vypisování Q parametrů posuvové rychlosti postprocesorem zobrazuje Příloha IV. Dále je třeba při generování každého bloku NC kódu rozhodnout, která posuvová rychlost je použita a podle toho následně vygenerovat příslušný Q parametr nebo vypsat přímo hodnotu posuvu. Tento rozhodovací proces zobrazuje Příloha V.

```
...  
32 Q601=900 ;hrubovaci  
33 Q602=1500 ;dokoncovaci  
34 Q603=300 ;posuv v Z  
...  
43 L Z+90.053 F+Q603  
44 L X-48.915 Y-74.568 F+Q602  
...
```

Obr. 5.7: Parametrický posuv

Na Obr. 5.7 jsou v blocích 32–34 pomocí Q parametrů definovány tři posuvové rychlosti a jsou jim přiřazeny hodnoty navolené uživatelem v CAM systému. Q parametry jsou následně použity dále v programu pro určení posuvové rychlosti v bloku 43 a 44.

## 5.2.2 Pevné cykly

Často se opakující obráběcí operace umožňuje řídicí systém Heidenhain provádět definovanými pevnými cykly. Velké uplatnění pevné cykly zastávají při dílenském programování. Umožňují jednoduše programovat i složité kontury a tvary. Při strojním programování je použití pevných cyklů vhodné především kvůli úspoře velikosti NC kódu a možnostem, které pevné cykly nabízí. Typickým příkladem pevných cyklů jsou vrtací a závitovací operace. V parametrech těchto cyklů lze snadno nastavit hloubku vrtání, vysouvání nástroje v průběhu řezu či prodlevy. Programování stejné operace bez využití možností pevných cyklů by bylo komplikované a výsledný kód by byl dlouhý.

Parametry cyklů jsou určovány opět pomocí Q parametrů. Cyklus je v programu definován funkcí CYCL DEF následovanou číslem cyklu a jeho názvem. Následně musí být ve stejném bloku definovány veškeré Q parametry pro daný cyklus. Číslem a odpovídajícími Q parametry je cyklus jednoznačně určen a lze jej dále v programu vyvolat funkcí CYCL CALL nebo pomocnou funkcí M99 v polohovacím bloku. Tyto funkce vyvolají vždy naposledy definovaný cyklus. Příklad základního vrtacího cyklu v NC kódu je uveden na Obr. 5.8. Cyklus 200 je definován Q parametry, následně je nástroj polohován do výchozí polohy a cyklus je vyvolán. Stejný cyklus je vyvolán v další výchozí poloze pomocnou funkcí M99.

```
7 CYCL DEF 200 VRTÁNÍ
  Q200=2 ;BEZPEČNÁ VZDÁLENOST
  Q201=3 ;HLOUBKA
  Q206=150 ;POSUV PŘÍSUUVU DO HLOUBKY
  Q202=5 ;HLOUBKA PŘÍSUUVU
  Q210=0 ;ČASOVÁ PRODLEVA NAHOŘE
  Q203=+0 ;SOUŘADNICE POVRCHU
  Q204=50 ;2. BEZPEČNÁ VZDÁLENOST
  Q211=0,25 ;ČASOVÁ PRODLEVA DOLE
8 L X+20 Y+30 FMAX M3
9 CYCL CALL
10 L X+50 FMAX M99
```

Obr. 5.8: Vrtací cyklus

Při tvorbě postprocesoru je nutné s použitím pevných cyklů počítat. Je vhodné, aby uživatel měl možnost přímo v CAM systému nastavit cykly s danými parametry. Parametry cyklu (jako je např. hloubka apod.) může CAM systém vypočítat z definované geometrie nebo jsou zadávány přímo ve vrtací operaci CAM systému. Postprocesor tyto vstupy musí generovat do jazyka řídicího systému popsáno v předchozím odstavci. V systému SolidCAM se cykly a jejich parametry definují v souboru VMID. Následně je lze používat v prostředí CAM a s definovanými proměnnými lze pracovat v souboru GPP. Postprocesor si načítá veškeré v CAM systému definované parametry cyklů do odpovídajících proměnných. Při použití vrtací operace následně ověří použití každého definovaného cyklu a v případě, že je cyklus použit jej vygeneruje požadovaným způsobem s hodnotami proměnných cyklu.

Postprocesor umožňuje programování cyklů Heidenhain 200 (vrtání), 201 (vystružování), 202 (vyvrtávání), 203 (univerzální vrtání), 204 (zpětné zahlubování), 205 (univerzální hluboké vrtání) a 208 (vrtací frézování). Pro rozšíření na další funkce jsou soubory postprocesoru VMID i GPP připraveny.

### 5.2.3 Vypisování maximálních pojezdů

Pro zpětnou kontrolu vygenerovaného NC kódu obsluhou stroje je výhodné na konec programu vypsát maximální a minimální použité souřadnice pohybových os. Tato kontrola má mimo jiné potenciál snížit riziko kolizí. Implementace v postprocesoru je jednoduchá. Pro každou pohybovou osu je třeba definovat proměnnou maximální a minimální polohy. Jejich hodnota je určena v prvním bloku NC kódu. V každém pohybovém bloku následně postprocesor ověřuje, zda jsou tyto hodnoty překročeny a pokud ano, přepíše hodnotu proměnné novou vyšší (menší v případě minima) hodnotou. Tento rozhodovací proces zobrazuje Příloha VI. Hodnoty proměnných jsou vypsány na konci programu, viz Obr. 5.9.

2056 ;	Xmin = -85.1779
2057 ;	Xmax = 28.4302
2058 ;	Ymin = -57.8221
2059 ;	Ymax = 46.9399
2060 ;	Zmin = 69.9927
2061 ;	Zmax = 203.2901
2062 ;	Bmin = 0
2063 ;	Bmax = 20
2064 ;	Cmin = -192.1986
2065 ;	Cmax = 355.0869

Obr. 5.9: Maximální pojedy

### 5.2.4 Vypisování strojního času

Program SolidCAM vypočítává strojní čas u operací na základě jejich nastavení. Pokud chceme strojní čas vypsat i v generovaném NC kódu, lze využít vnitřní proměnné `tool_work_time`. Tato proměnná obsahuje textový údaj celkového strojního času pro jeden nástroj. Problém nastává, generujeme-li NC kód s více nástroji. Aby bylo možné jednotlivé strojní časy sečíst, je nutné nejdříve z proměnných jednotlivých nástrojů vyčíst celkový počet sekund, minut a hodin a převést tyto řetězce na číselnou hodnotu. Poté je možné hodnoty jednotlivých nástrojů sečíst. Výsledná hodnota strojního času je vypisována na začátku programu v případě, že uživatel v CAM systému zvolí při generování NC kódu možnost „generate with time“ (generovat s časem). Vygenerovaný strojní čas je zobrazen na Obr. 5.10.

```

15 ; STROJNI CAS: 000:32:41
17 ;=====
18 ;..... SEZNAM NASTROJU .....
19 ;T01 - BALL NOSE MILL D8 R4
20 ;T02 - DRILL D3 R118
    
```

Obr. 5.10: Vygenerovaný strojní čas v NC kódu

## 5.3 Transformace souřadnic

Nejdůležitější pro generování korektních drah při pětiosém obrábění je správné kompletní nastavení kinematiky stroje v souboru VMID či v řídicím systému stroje a následná vhodná volba použité transformace v postprocesoru. Výchozí soubor GPP byl konfigurován pro stroj s kinematikou stůl-stůl osy A, C. Tato konfigurace byla změněna na kinematiku stroje MAS MCVL, tedy stůl-stůl osy B, C. Transformaci souřadnic lze následně řešit dvěma základními způsoby:

- a) Transformací souřadnic řídicím systémem stroje
- b) Transformací souřadnic postprocesorem

### 5.3.1 Transformace řídicím systémem stroje

Transformaci souřadnic řešil původní postprocesor využitím funkce TCPM (tool center point management) řídicího systému, kterou Heidenhain iTNC 530 nabízí jako volitelné rozšíření k základu. Při použití této funkce – M128 v NC kódu – je automaticky řídicím systémem zachována poloha referenčního bodu nástroje při polohování naklápěcích os.

Řídicí systém automaticky kompenzuje pohyby v rotačních osách vypočteným pohybem v lineárních osách. Při pohybu naklápěcího stolu TNC příslušně natočí souřadný systém a transformuje vztažný bod, který se pohybem otočného stolu přesune. Díky využití této funkce lze transformaci provést až řídicím systémem a lze tak použít základní souřadný systém generovaných souřadnic  $x_{hpos}$ ,  $y_{hpos}$ ,  $z_{hpos}$ , která transformaci nebere v potaz. Při použití této metody je nutné nasazení tohoto rozšíření na stroji a správná definice geometrie stroje v popisu kinematiky v řídicím systému. Nevýhodou dále je ztráta kontroly nad transformací a neustálý přesun vztažného bodu v prostoru. Operátor tak neví, k jakému bodu aktuálně vztahuje případné doplňkové pohyby. Z těchto důvodů byla v postprocesoru implementována možnost transformace souřadnic při jejich generování. Zachovány přitom byly obě možnosti a uživatel si tak může volit dle potřeb konkrétních operací jednoduše v CAM systému.

### 5.3.2 Transformace postprocesorem

Transformace postprocesorem probíhá na základě principů popsaných v kapitole 2.5.1. Transformace je řešena jako inverzní kinematická úloha, kdy finální pozice nástroje je pro nás určená údaji z CL dat.

Kinematika námi uvažovaného stroje lze vyjádřit kinematickým řetězcem zobrazeným na obrázku - Obr. 5.11.



Obr. 5.11: Kinematický řetězec stroje MAS MCVL 1000

Pouze pokud budeme uvažovat souřadný systém obrobku umístěný v bodě průtnutí osy naklápění B s osou rotace C (MRZP), můžeme transformaci do souřadného systému nástroje vyjádřit maticovým součinem matic základních pohybů v daných osách. V těchto maticích uvažujeme úhly natočení osy B i C záporné, neboť smysl jejich otáčení na stroji je opačný než v souřadném systému obrobku. Zároveň platí rovnice:

$$\sin(-x) = -\sin(x) \quad (5)$$

$$\cos(-x) = \cos(x) \quad (6)$$

Rovnice základních pohybů pro náš případ tak můžeme vyjádřit:

$$\mathbf{R}_z(\varphi_C) = \begin{bmatrix} c\varphi_C & s\varphi_C & 0 & 0 \\ -s\varphi_C & c\varphi_C & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (7)$$

$$\mathbf{R}_y(\varphi_B) = \begin{bmatrix} c\varphi_B & 0 & -s\varphi_B & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ s\varphi_B & 0 & c\varphi_B & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (8)$$



$$\mathbf{P}(P_x, P_y, P_z) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & P_x \\ 0 & 1 & 0 & P_y \\ 0 & 0 & 1 & P_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (9)$$

Vektor  $\mathbf{P}$  udává translační pohyb v osách  $x$ ,  $y$  a  $z$ . Celková transformace ze souřadného systému obrobku do souřadného systému nástroje lze vyjádřit celkově rovnicí (10).

$$\mathbf{T} = \mathbf{R}_z(\varphi_C) \cdot \mathbf{R}_y(\varphi_B) \cdot \mathbf{P}(P_x, P_y, P_z) \quad (10)$$

$$\mathbf{T} = \begin{bmatrix} c\varphi_C c\varphi_B & s\varphi_C & -c\varphi_C s\varphi_B & c\varphi_C c\varphi_B P_x + s\varphi_C P_y - c\varphi_C s\varphi_B P_z \\ -s\varphi_C c\varphi_B & c\varphi_C & s\varphi_C s\varphi_B & -s\varphi_C c\varphi_B P_x + c\varphi_C P_y + s\varphi_C s\varphi_B P_z \\ s\varphi_B & 0 & c\varphi_B & s\varphi_B P_x + c\varphi_B P_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (11)$$

V rovnici (11) vyjadřuje třetí sloupec matice vektor orientace nástroje z CL dat  $\mathbf{K}$  a čtvrtý sloupec matice vektor polohy nástroje  $\mathbf{Q}$  z CL dat. Jejich vyjádření lze zapsat rovnicemi

$$[K_x, K_y, K_z, 0]^T = \mathbf{R}_z(\varphi_C) \cdot \mathbf{R}_y(\varphi_B) \cdot \mathbf{P}(P_x, P_y, P_z) \cdot [0, 0, 1, 0]^T \quad (12)$$

$$[Q_x, Q_y, Q_z, 1]^T = \mathbf{R}_z(\varphi_C) \cdot \mathbf{R}_y(\varphi_B) \cdot \mathbf{P}(P_x, P_y, P_z) \cdot [0, 0, 0, 1]^T \quad (13)$$

Z řešení rovnice (12) získáváme rovnice vyjadřující natočení os B a C.

$$\begin{bmatrix} K_x \\ K_y \\ K_z \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -c\varphi_C s\varphi_B \\ s\varphi_C s\varphi_B \\ c\varphi_B \\ 0 \end{bmatrix} \quad (14)$$

Natočení osy B lze v daném uspořádání provést ve dvou oblastech – pro úhel  $0^\circ < \varphi_B < 120^\circ$  a pro úhel  $-120^\circ < \varphi_B < 0^\circ$ . Řešením natočení úhlu v ose rotace B pro obě oblasti jsou rovnice (15), (16). Obě oblasti jsou použitelné, vždy však volíme primární dvojici úhlů (úhel B a k němu určený úhel C), ve které požadujeme, aby pohyb probíhal. Tuto oblast pro stroj definujeme.

$$\varphi_B = \cos^{-1}(K_z) \quad (0 < \varphi_B < \pi) \quad (15)$$

$$\varphi_B = -\cos^{-1}(K_z) \quad (-\pi < \varphi_B < 0) \quad (16)$$

Vydělením druhého řádku matice rovnice (14) prvním řádkem získáme výraz pro natočení v ose C.

$$\frac{K_y}{K_x} = \frac{s\varphi_C s\varphi_B}{-c\varphi_C s\varphi_B} = -\tan \varphi_C \quad (17)$$

Řešení rovnice (17) lze zapsat s využitím funkce  $\text{atan2}(y,x)$  rovnicí (18).

$$\varphi_C = \text{atan2}(K_y, K_x) \quad (-\pi < \varphi_C < \pi) \quad (18)$$

Funkce  $\text{atan2}(y,x)$  určuje úhel v závislosti na znaménku argumentů  $y$  a  $x$ . Často je využívána v programování. Její definici ukazuje rovnice (19) převzatá z [15].

$$\text{atan2}(y, x) = \begin{cases} \text{atan}\left(\frac{y}{x}\right) & x > 0 \\ \pi + \text{atan}\left(\frac{y}{x}\right) & y \geq 0, x < 0 \\ -\pi + \text{atan}\left(\frac{y}{x}\right) & y < 0, x < 0 \\ \frac{\pi}{2} & y > 0, x = 0 \\ -\frac{\pi}{2} & y < 0, x = 0 \\ 0 & y = 0, x = 0 \end{cases} \quad (19)$$

Řešení pohybu v lineárních osách získáme z rovnice (13), jejímž výsledkem je poloha referenčního bodu nástroje z CL dat, tedy bez vlivu polohování rotačních os. Rozepíšeme-li rovnici (13), získáváme rovnici (20) pro výpočet souřadnic polohy referenčního bodu nástroje v lineárních osách z CL dat.

$$\begin{bmatrix} Q_x \\ Q_y \\ Q_z \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} c\varphi_C c\varphi_B & s\varphi_C & -c\varphi_C s\varphi_B & 0 \\ -s\varphi_C c\varphi_B & c\varphi_C & s\varphi_C s\varphi_B & 0 \\ s\varphi_B & 0 & c\varphi_B & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} P_x \\ P_y \\ P_z \\ 1 \end{bmatrix} = \mathbf{X} \cdot \mathbf{P} \quad (20)$$

Protože požadujeme řešení reálné polohy os, řešíme maticovou rovnici (20) pro vektor souřadnic lineárních os  $\mathbf{P}$ .

$$\begin{bmatrix} P_x \\ P_y \\ P_z \\ 1 \end{bmatrix} = \mathbf{X}^{-1} \cdot \mathbf{Q} = \begin{bmatrix} c\varphi_C c\varphi_B & -s\varphi_C c\varphi_B & s\varphi_B & 0 \\ s\varphi_C & c\varphi_C & 0 & 0 \\ -c\varphi_C s\varphi_B & s\varphi_C s\varphi_B & c\varphi_B & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} Q_x \\ Q_y \\ Q_z \\ 1 \end{bmatrix} \quad (21)$$

Z rovnice (20) lze jednoduše určit požadované souřadnice všech lineárních os stroje.

$$P_x = c\varphi_C c\varphi_B Q_x - s\varphi_C c\varphi_B Q_y + s\varphi_B Q_z \quad (22)$$

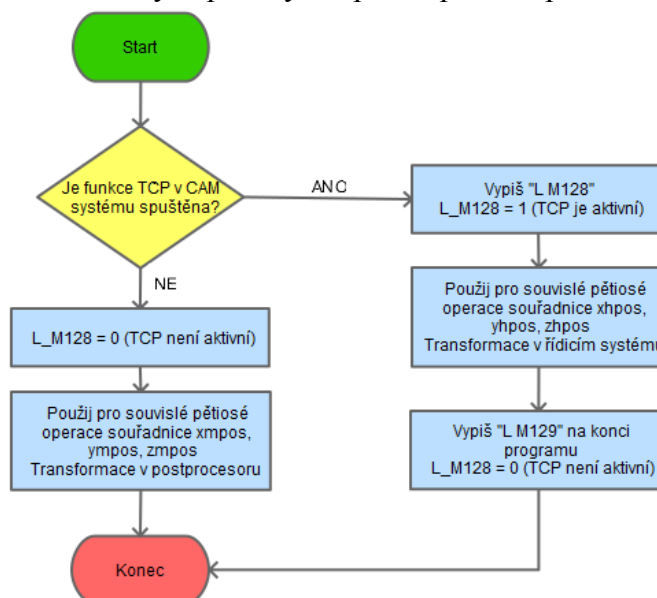
$$P_y = s\varphi_C Q_x + c\varphi_C Q_y \quad (23)$$

$$P_z = -c\varphi_C s\varphi_B Q_x + s\varphi_C s\varphi_B Q_y + c\varphi_B Q_z \quad (24)$$

SolidCAM umožňuje provádět tuto transformaci automaticky dle nastavení preprocesoru VMID. Pro transformaci postprocesorem byl zvolen souřadný systém generovaných souřadnic mpos, který v kterémkoliv bodě popisuje polohu nástroje vůči nulové pozici otáčení stroje (Machine rotation zero position), tedy průsečíku rotačních os. Souřadný systém v CAM programu i na stroji musí být nastaveny k tomuto bodu. Následně už se nijak nenatáčí a pohyby v osách tak zůstávají přehledné. Tento způsob transformace vyžaduje správné nastavení souboru VMID dle konkrétního stroje s nastavením středu souřadnic stroje i vřetena v nulové pozici otáčení stroje.



Rozhodování, který způsob transformace bude využit, je závislé na uživatelské proměnné nastavitelné v prostředí CAM systému v každé obráběcí operaci. Rozhodování v postprocesoru poté u souvislých pětiosých operací probíhá podle Obr. 5.12.



Obr. 5.12: použití funkce TCPM

## 5.4 iMachining data

Algoritmus iMachining automaticky vypočítává optimální strategii a parametry obrábění. Ke správné funkci algoritmu je třeba zajistit správnost vstupních dat. Kromě geometrie obrobku jsou to především údaje o stroji z databáze strojů a materiálové vlastnosti z databáze materiálů. Uživatel stroj i materiál volí při definici obráběného dílce.

Materiálová databáze v základní dodávané verzi obsahuje širokou škálu materiálů dále odlišených tvrdostí (BHN, dle materiálu HRC, HRB). Hlavním určujícím parametrem materiálu je faktor výkonu – výkon potřebný k odebrání 1 cm<sup>3</sup> materiálu za minutu nebo v novějších verzích iMachining mez pevnosti v tahu. Oba parametry jsou pro algoritmus použitelné, nové materiály však mohou být definovány pouze mezí pevností v tahu. Druhým důležitým parametrem materiálu je faktor obrobitelnosti. Ten slouží k jednoduchému upravení generovaných řezných podmínek. Pokud požadujeme agresivnější obrábění, lze procentuálně zvýšit faktor obrobitelnosti daného materiálu. Další parametry jako například řezná rychlost, úhly řezu a jiné mohou být nastaveny automaticky průvodcem iMachining nebo je lze také definovat.

Záznam stroje definuje maximální možné otáčky, posuvy a výkon s účinností stroje. Specifická pro modul iMachining je definice úrovně obrábění (Machining level). Ta vystihuje hodnotu úběru materiálu, kterou lze nastavením parametru snadno měnit v závislosti na tuhosti stroje a upnutí. Stupnice je škála jedna až deset, přičemž deset je nejvyšší možná. Hodnota nastavovaná v databázi je výchozí pro stav daného stroje, lze ji měnit v samotných operacích iMachining. Posledním parametrem je nastavení tolerance ACP (Axial contact point), bude vysvětleno v následujícím odstavci. Vytvořen

musel být nový záznam v databázi odpovídající uvažovanému stroji MAS MCVL 1000 Laser. Nastavené parametry odpovídají parametrům stroje, jako výchozí úroveň obrábění byla zvolena úroveň šest. Databázi materiálů a strojů iMachining v prostředí programu zobrazuje Příloha VIII.

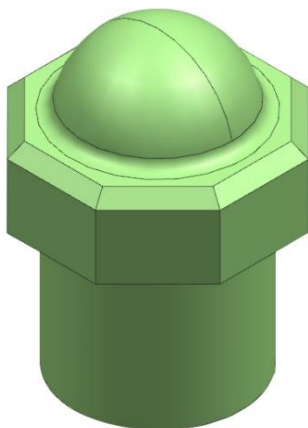
Ke správné funkci modulu iMachining je dále třeba vždy správně nastavit parametry nástrojů, a to především materiál, počet břitů a úhel šroubovice. Tyto údaje slouží k výpočtu posuvových rychlostí a hodnoty ACP, tedy počtu bodů dotyku nástroje s obráběnou stěnou. Tento vypočtený údaj dle algoritmu iMachining odpovídá stabilitě obrábění, a především riziku vzniku vibrací. V nastavení obráběcí operace je hodnota ACP zobrazena a podbarvena barvou dle použitelnosti (zelená – dobrá, žlutá – střední, červená – vysoká pravděpodobnost vzniku vibrací).

Při generování NC kódu operace iMachining musí postprocesor zajistit zpracování drah iMachining a změnu posuvové rychlosti dle vypočtených hodnot. Parametrické programování posuvů je v tomto případě bezpředmětné. NC kód vygenerovaný postprocesorem pro operaci iMachining zobrazuje Příloha IX.

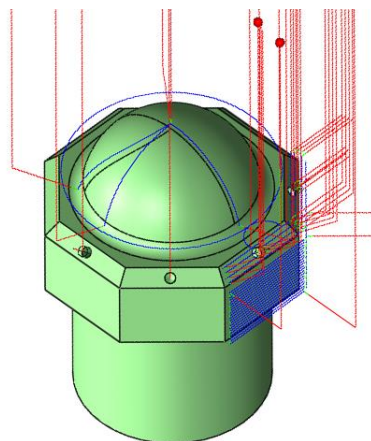
## 5.5 Ověření funkčnosti postprocesoru

Pro stanovení funkčnosti postprocesoru je nutné ověřit primárně dvě skutečnosti – bezchybnou čitelnost generovaného kódu řídicím systémem bez nutnosti jeho úpravy a správnost použité transformace souřadnic. Pro námi uvažovaný postprocesor je třeba ověřit správnost obou typů transformace. Při použití transformace v postprocesoru musí generované souřadnice odpovídat odvozené rovnici (21). Tato shoda lze snadno ověřit dosazením do rovnice. Ověřování postprocesoru probíhalo již v průběhu jeho tvorby. K ověření transformace souřadnic byl využíván program CIMCO Edit V5, který je schopen vykreslit dráhy nástroje již vygenerovaného NC kódu pro navolenou kinematiku stroje. Tyto vykreslené dráhy vygenerovaných programů se musí shodovat s programovanou drahou v SolidCAM, a to pro obě možnosti transformace souřadnic. Dalším ověřením funkčnosti je simulace obrábění se strojem na bázi NC kódu v programu Siemens NX. Ústav výrobních strojů a zařízení v programu Siemens NX disponuje plně funkční simulací stroje MAS MCVL 1000 Laser postavenou na integrovaném interpolátoru uzpůsobeném pro řídicí systém Heidenhain. Lze tak simulovat i NC kódy generované v programu SolidCAM. Simulace NC kódu se strojem ověřuje správnost transformace souřadnic a ukazuje reálný pohyb stroje. Částečně lze ověřit i správnost syntaxe kódu. Pro úplné ověření syntaxe je možné provést simulaci NC kódu v řídicím systému.

Po provedení virtuálních zkoušek bylo možné přistoupit k fyzickému testování na stroji. Pro ověření co největšího množství funkcí postprocesoru byl pro testování použit již obrobený dílec zobrazený na Obr. 5.13. Ten umožňuje vyzkoušení transformace v ose B, v ose B s polohováním osy C i při souběžném pětiosém obrábění. Dále umožňuje generování kruhové interpolace a polohování dílce do různých poloh.



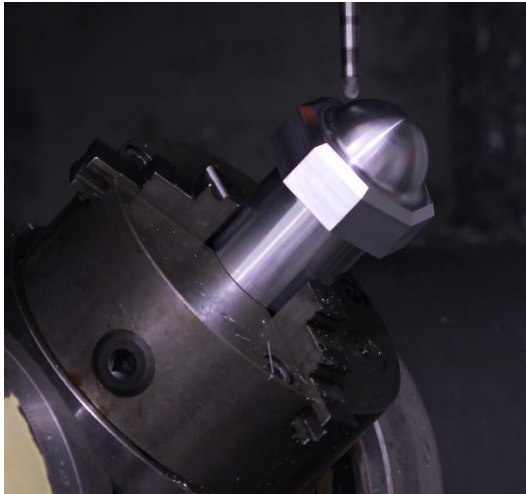
Obr. 5.13: Model testovacího dílce



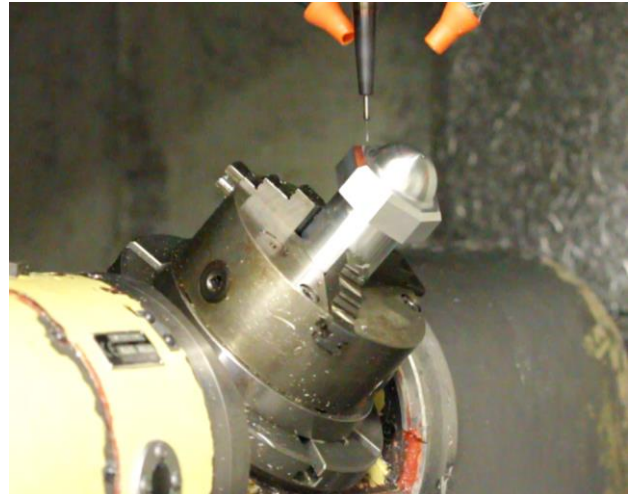
Obr. 5.14: Testovací dílec v prostředí SolidCAM

Dráhy pro zkoušky byly nastaveny v programu SolidCAM. Výsledek je zobrazen na Obr. 5.14. K ověření transformace byly vytvořeny kontury na kulové ploše dílce. Operace byly vygenerovány pro obě možnosti nastavení transformace (s funkcí M128 a bez). K ověření kruhové interpolace byla vygenerována dráha kopírující průměr kulového vrchlíku. Stejná operace byla použita pro test kompenzace průměru nástroje. Dále byla vytvořena operace víceosého vrtání s využitím pevného vrtacího cyklu 200 na čtyřech šikmých plochách dílce. K ověření polohování a přechodu mezi více operacemi v rámci jednoho programu bylo nastaveno frézování na vícero rovinných ploch dílce. U veškerých operací byl úmyslně nastaven offset od povrchu tak, aby testovací dílec nebyl při zkouškách poškozen. Operace byly generovány s parametrizací posuvů. K vygenerování NC kódu byl použit vytvořený postprocesor. Vygenerované programy byly následně v neupravené formě odbaveny v řídicím systému stroje. Změněny byly pouze parametry vrtacího cyklu, parametry posuvu a čísla nástrojů dle jejich reálného nastavení na stroji. Seznam zkoušených programů a jimi ověřovaných funkcí uvádí Příloha X – Tabulka výsledků testování postprocesoru.

Lze konstatovat, že všechny testované operace proběhly podle jejich nastavení v CAM systému. Byla ověřena transformace souřadnic bez použití funkce M128 s nastavením souřadného systému v MRZP (Obr. 5.15) i transformace souřadnic s využitím funkce M128. Výběr transformace je možné zvolit v každé obráběcí operaci. Potvrdila se schopnost postprocesoru polohovat nástroj do výchozího bodu vrtací operace a odbavit pevný cyklus řídicího systému (Obr. 5.16). Postprocesor je dále schopný generovat kruhovou interpolaci a kompenzaci průměru nástroje dle nastavení v operaci. Parametrizace posuvů je funkční. Možné je i generování více operací do jednoho NC kódu, operace jsou v tomto případě odděleny linkou a je vypsán jejich název. Postprocesor při testování splnil veškeré požadavky.

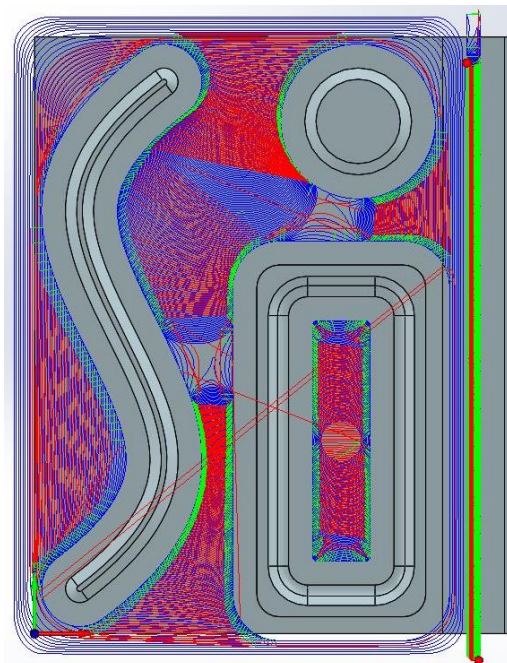


Obr. 5.15: Simultánní pětiosé obrábění kontury na povrchu kulové plochy



Obr. 5.16: Vrtací cyklus 200 polohovaný na prostředek šikmé plochy

Ověření použitelnosti generovaných NC programů pro modul iMachining proběhlo na tříosém stroji MCFV 5050LN z důvodu vytiženosti stroje MAS MCVL 1000. Pro tento stroj byl vytvořen postprocessor, který je z hlediska modulu iMachining s postprocesorem pro stroj MAS MCVL 1000 Laser ekvivalentní. Pro testovací dílec byla algoritmem iMachining automaticky vytvořena hrubovací operace, která je zobrazena na Obr. 5.17. Pro ni vygenerovaný NC kód byl bez úpravy odbaven na stroji. Obráběcí operace iMachining při testování proběhla dle jejího nastavení v CAM systému včetně změny posuvové rychlosti dle výpočtu algoritmu. Výsledný obrobek je zobrazený na Obr. 5.18. Jak na obrázku operace, tak na hotovém obrobku je vidět využití pokročilé obráběcí strategie morfujících spirál. Zdárný test dokazuje, že je postprocessor schopný zpracovat i takto komplexní pohyby.



Obr. 5.17: Testovací operace iMachining

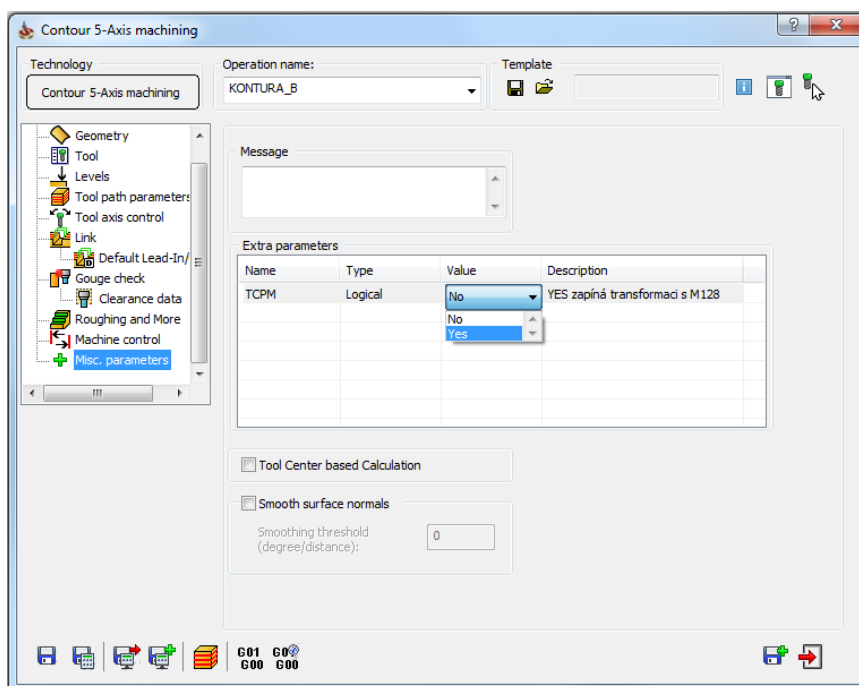


Obr. 5.18: Obrobený testovací dílec iMachining



## 5.6 Okrajové podmínky a použití postprocesoru

Postprocessor je koncipován takovým způsobem, aby jeho funkci bylo možné ovládat z prostředí CAM systému a uživatel do souborů postprocesoru nemusel vůbec zasahovat. Nastavení probíhá jak v rámci voleného stroje, tak v rámci operací. Při volbě stroje uživatel určuje hodnoty proměnných určujících chování postprocesoru. Lze tak například z prostředí CAM systému vypnout generování parametrického posuvu nebo navolit použití dalších přídatných funkcí (M90, M120). V rámci operací lze například zvolit, zda bude při vrtání využíváno cyklu a jakého, zda bude generována kruhová interpolace, nebo bude kruhová dráha složena pouze z lineárních pohybů a s jakým krokem. Tyto možnosti nabízí SolidCAM sám o sobě, postprocessor s těmito možnostmi pouze pracuje. Jako plně uživatelská funkce byla implementována možnost volby použité transformace. Volba probíhá v nastavení operace v záložce Misc. Parameters (Různé Parametry) logickou proměnnou TCPM, viz Obr. 5.19. Při nastavení proměnné na hodnotu „yes“ (logická hodnota jedna) je k transformaci souřadnic při pětiosém obrábění použita funkce Heidenhain TCPM. Při nastavení „no“ (logická nula) probíhá veškerá transformace souřadnic v postprocesoru. Při tomto nastavení musí uživatel CAM systému navolit souřadný systém do středu otáčení rotačních os stroje, v potaz musí být bráno upnutí obrobku. Dále se předpokládá, že uživatel vždy nastaví veškeré operace a přejezdů takovým způsobem, aby nemohlo dojít ke kolizi nástroje s obrobkem nebo upínkami. Samotné vygenerování NC kódu probíhá v CAM systému zvolením možnosti „generate G code“. Uživatel si volí generování kódu pro jednu operaci nebo pro libovolné množství. Je-li vyžadováno vypsání strojního času v NC kódu, je třeba vybrat možnost „Generate with time“ (generovat s časem).



Obr. 5.19: Nastavení funkce TCPM v nastavení operace

Obsluha stroje poté musí zkontrolovat správné nastavení nástroje a jeho délky podle použité transformace a ověřit, zda při maximálním natočení osy B (vypsáném na konci NC kódu) nedojde ke kolizi obrobku se stolem obráběcího stroje. Předpokládá se také správné nastavení souřadného systému a korekcí, jsou-li použity.

V případě potřeby úprav je možné komplexnější nastavení generování kódu provést v souboru VMID stroje. Zde uživatel volí například přesnosti interpolací či nastavení (i povolení a zakázání) pevných cyklů. Při změně jakéhokoliv nastavení je však třeba ověřit jeho podporu jak řídicím systémem stroje, tak souborem GPP postprocesoru. Základní změny souboru GPP lze provést v jakémkoliv komplexnějším textovém editoru. Především na začátku algoritmu jsou definovány nastavitelné logické proměnné ovlivňující chování postprocesoru. Lze tak třeba zakázat parametrizaci posuvů nebo zapnout vypisování kompenzace v každém bloku programu. Tyto změny představují výrazný zásah do postprocesoru a po jejich provedení by mělo pro ověření funkčnosti následovat jeho opětovné odladění.

## 6 Závěr

Postprocessor při automatizované tvorbě NC kódu zajišťuje propojení CAM systému s reálným strojem. Tvorba postprocessoru tak představuje komplexní problém, při jehož řešení je nutné brát v potaz možnosti uvažovaného CAM systému, dispozice konkrétního stroje a jeho řídicího systému a požadavky obsluhy stroje.

V práci je popsána úloha postprocessoru při automatizované tvorbě NC kódu v CAM. Rozebrány jsou obecné vlivy na tvorbu postprocessoru a konkrétní důsledky plynoucí z použití CAM systému SolidCAM a řídicího systému Heidenhain iTNC 530. Podrobně je popsána možnost tvorby postprocessoru v prostředí SolidCAM včetně popisu použití modulu iMachining. První část práce tak může sloužit jako pomůcka pro tvorbu postprocessoru v SolidCAM a naplňuje cíl zmapovat jeho prostředí.

Hlavním výstupem práce je postprocessor pro pětiosý obráběcí stroj MAS MCVL 1000 s rotačně sklopným stolem NIKKEN. Ten umožňuje generovat přímo z prostředí SolidCAM NC kód od základních tříosých obráběcích operací, přes polohování rotačních os až po operace souvislého pětiosého obrábění. Při použití víceosého obrábění postprocessor nabízí dvě uživatelem volitelné možnosti transformace souřadnic. Transformace může být buď přenechána řídicímu systému stroje s využitím funkce Heidenhain TCPM, nebo může probíhat již v postprocessoru. Volbu uživatel provádí přímo v systému SolidCAM a postprocessor jako takový nemusí upravovat. Postprocessor také využívá možnosti řídicího systému a nabízí uživateli například možnost generovat z prostředí CAM běžně užívané pevné vrtací cykly. Generovaný NC kód je přitom uzpůsobený dle požadavků obsluhy stroje. Pro větší snadnost jeho použití je implementováno parametrické zadávání posuvové rychlosti a jsou vypisovány informace o programu na jeho začátku a maximální pojezdy pohybových os na jeho konci. Dále byl v prostředí SolidCAM vytvořen záznam stroje MAS MCVL 1000 v databázi strojů iMachining, aby pro tento stroj mohl být modul využíván.

Funkčnost postprocessoru byla ověřena provedením zkoušek obrábění na předmětném stroji a obrobem testovacího dílce iMachining na tříosém stroji MCFV 5050LN (z důvodu vytížení stroje MCVL 1000). Samotné použití postprocessoru a jeho možnosti jsou v práci popsány včetně formulace okrajových podmínek jeho použití. Hlavní cíl práce byl tímto splněn, jejím výsledkem je začlenění systému SolidCAM s modulem iMachining do portfolia CAM systémů Ústavu výrobních strojů a zařízení. To umožňuje využívání zcela nových možností, které tento systém nabízí, především inovativního modulu iMachining. Ten může zajistit efektivnější a hospodárnější obrábění například i těžkoobrobitelných materiálů, u kterých obráběcí strategie ostatních CAM systémů selhávají.



## 7 Seznamy

### Seznam použité literatury

- [1] VAVRUŠKA, P. *Tvorba NC-postprocessorů: diplomová práce*. Praha: ČVUT Fakulta strojní. Ústav výrobních strojů a zařízení, 2008.
- [2] RYBÍN, J. *Automatické řídicí systémy*. Praha: ČVUT, 1991. ISBN 8001006948
- [3] APRO, K. *Secrets of 5-axis machining*. New York: Industrial Press, 2009. ISBN 9780831133757
- [4] HEIDENHAIN, Traunreut: *Příručka uživatele popisný dialog HEIDENHAIN iTNC530*. 2014.
- [5] JUNG, Y.H., D.W. LEE, J.S. KIM a H.S. MOK. NC post-processor for 5-axis milling machine of table-rotating/tilting type. *Journal of Materials Processing Technology* [online]. 2002, 130-131, 641-646 [cit. 2017-04-19]. DOI: 10.1016/S0924-0136(02)00725-2. ISSN 09240136. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0924013602007252>
- [6] GHINEA, M. a E. AL. *The importance of a postprocessor in data transfer from APT format (CAD) in ISO format used by HEIDENHAIN iTNC 530*. IN: B. KATALINIC. *Annals of DAAM for 2010 & proceedings of the 21st International DAAAM Symposium: Intelligent Manufacturing & Automation : Focus on Interdisciplinary Solutions, 20-23rd October, 2010, Zadar, Croatia*. Vienna: DAAAM, 2010. ISBN 9783901509735.
- [7] LEE, R.S. a C.H. SHE. Developing a Postprocessor for Three Types of Five-Axis machine tools In: *The International Journal of Advanced manufacturing technology*, Volume 13. London: Springer, 1997. ISSN: 1433-3015
- [8] STEJSKAL, V. a M. VALÁŠEK. *Kinematics and Dynamics of Machinery*. xii. New York: Dekker, 1996, 95-100 s. ISBN 0824797310
- [9] Siemens AG, Mnichov: *Siemens NX 11 - dokumentace k software* [online]. 2016 [cit. 2016-12-13]. Dostupné z: [https://www.plm.automation.siemens.com/cz\\_cz/products/nx/11/for-manufacturing/index.shtml#lightview%26url=/cz\\_cz/Images/Siemens-PLM-NX-CAM-High-Productivity-Part-Manufacturing\\_tcm841-4561.pdf%26title=Brožura NX pro obrábění%26description=%26docType=pdf](https://www.plm.automation.siemens.com/cz_cz/products/nx/11/for-manufacturing/index.shtml#lightview%26url=/cz_cz/Images/Siemens-PLM-NX-CAM-High-Productivity-Part-Manufacturing_tcm841-4561.pdf%26title=Brožura%20NX%20pro%20obrábění%26description=%26docType=pdf)
- [10] Dassault Systemes, Vélizy-Villacoublay: *CATIA V5 Machining* [online]. 2008. [cit. 2016-12-13]. Dostupné také z: <http://www.3ds.com/fileadmin/PRODUCTS/CATIA/OFFERS/CATIA-V5-MACHINIG/PDF/catia-v5-machining-brochure.pdf>

- [11] ICAM TECHNOLOGIES CORPORATION, Quebec: *CNC post-processor development* [online]. 2016 [cit. 2016-12-13]. Dostupné z: <http://icam.com/cam-post-multi-axis-nc-post-processors/>
- [12] ICAM TECHNOLOGIES CORPORATION, Quebec: *Tool path & feed-rate optimization* [online]. 2016 [cit. 2016-12-13]. Dostupné z: <http://icam.com/smartpack-products/>
- [13] HEIDENHAIN, Traunreut. Klartext Portal – The Information Site for HEIDENHAIN Controls. *CNC controls Control comparison* [online]. 2016 [cit. 2017-02-09]. Dostupné z: <http://www.klartext-portal.com/controls/>
- [14] HEIDENHAIN, Traunreut: *iTNC 530 Víceúčelové CNC řízení pro frézky, vyvrtávačky a obráběcí centra* [online]. Traunreut: 2013 [cit. 2017-02-09]. Dostupné také z: [http://www.heidenhain.cz/fileadmin/pdb/media/img/895822-C0\\_iTNC530\\_Design7\\_cz.pdf](http://www.heidenhain.cz/fileadmin/pdb/media/img/895822-C0_iTNC530_Design7_cz.pdf)
- [15] SOLIDCAM, Newtown: *GPPtool Help*. 2015 [cit. 2016-12-16]. Dostupné z: Dokumentace k programu
- [16] The MathWorks, Inc, Natick: *atan2* [online]. 2017 [cit. 2017-02-09]. Dostupné z: <https://www.mathworks.com/help/fixedpoint/ref/atan2.html?requestedDomain=www.mathworks.com#bte068w>
- [17] CNC Cookbook. *2016 cnc control survey results* [online]. 2016 [cit. 2017-02-09]. Dostupné z: <http://blog.cnccookbook.com/2016/08/23/choose-best-cnc-control-2016-cnc-control-survey-results/>

## Seznam použitých programů

SolidCAM 2016  
Siemens NX 10  
Cimco edit V5  
Notepad++ 7.3.2  
Pencil

## Seznam obrázků

Obr. 2.1 - Schéma automatizované přípravy NC kódu.....	11
Obr. 2.2 - souřadný systém CNC stroje [4] .....	13
Obr. 2.3 - Kinematiky pětiosých strojů [5].....	14
Obr. 2.4 – CL data CAM systému [5].....	17
Obr. 3.1 - MAS MCVL 1000.....	21
Obr. 3.2 - Otočně sklopný stroj NIKKEN .....	21
Obr. 3.3: Lineární a kruhová interpolace v jazyku DIALOG.....	22
Obr. 4.1: VMID - nastavení stroje .....	24
Obr. 4.2: VMID – nastavení chování postprocesoru .....	25
Obr. 4.3: Operace vrtání v CAM s cyklem nastaveným ve VMID .....	26
Obr. 4.4 Souřadné systémy souřadnic [15].....	28
Obr. 5.1: Hlavička NC kódu .....	31
Obr. 5.2: Algoritmus postprocesoru zodpovědný za generování hlavičky NC kódu .....	31
Obr. 5.3: Bloky výměny nástroje.....	32
Obr. 5.4: Lineární interpolace.....	33
Obr. 5.5: Kruhová interpolace .....	34
Obr. 5.6: Ukončení programu .....	34
Obr. 5.7: Parametrický posuv .....	35
Obr. 5.8: Vrtací cyklus.....	36
Obr. 5.9: Maximální pojezdy .....	37
Obr. 5.10: Vygenerovaný strojní čas v NC kódu.....	37
Obr. 5.11: Kinematický řetězec stroje MAS MCVL 1000 .....	38
Obr. 5.12: použití funkce TCPM .....	41
Obr. 5.13: Model testovacího dílce.....	43
Obr. 5.14: Testovací dílec v prostředí SolidCAM .....	43
Obr. 5.15: Simultánní pětiosé obrábění kontury na povrchu kulové plochy .....	44
Obr. 5.16: Vrtací cyklus 200 polohovaný na prostředek šikmé plochy.....	44
Obr. 5.17: Testovací operace iMachining.....	44
Obr. 5.18: Obrobený testovací dílec iMachining.....	44
Obr. 5.19: Nastavení funkce TCPM v nastavení operace.....	45

## Seznam příloh

### *Textové přílohy*

Příloha I – Parametry stroje MAS MCVL 1000 Laser .....	P1
Příloha II – Parametry rotačně-sklopného stolu NIKKEN 5AX-220 II ZA .....	P2
Příloha III – Základní funkce postprocesoru .....	P3
Příloha IV – Vypsání Q parametrů parametrického posuvu na začátku programu .....	P4
Příloha V – Vypsání posuvu v pohybovém bloku .....	P5
Příloha VI – Určení maximálních pojezdů pohybových os .....	P6
Příloha VII – Vypisování strojního času.....	P7
Příloha VIII – iMachining data .....	P8
Příloha IX – Část NC kódu operace iMachining .....	P9
Příloha X – Tabulka výsledků testování postprocesoru.....	P10

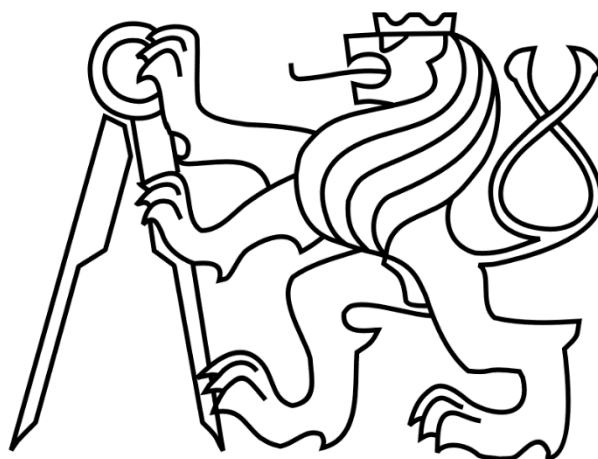
### *Elektronické přílohy*

Příloha XI – Video XI_Kontura_BC_sim .....	CD
Příloha XII – Video XII_Kontura_BC_sim_TCP .....	CD
Příloha XIII – Video XIII_5X_VRT_CYCL.....	CD
Příloha XIV – NC program Kontura_B.H.....	CD
Příloha XV – NC program Kontura_BC.h.....	CD
Příloha XVI – NC program Kontura_BC_sim.H.....	CD
Příloha XVII – NC program 5x_Drill_Cycl.H .....	CD
Příloha XIX – NC program Kruh.H.....	CD
Příloha XX – NC program Kruh_comp.H.....	CD
Příloha XXI – NC program Kontura_B_TCP.H.....	CD
Příloha XXII – NC program Kra_BC_sim_TCP.H .....	CD
Příloha XXIII – NC program 12_TCP.H.....	CD

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA STROJNÍ

Ústav výrobních strojů a zařízení



# Bakalářská práce

Přílohová část

2017

Zdeněk Machala

**Příloha I – Parametry stroje MAS MCVL 1000 Laser**

Parametr	Hodnota	Jednotka
<b>Stůl</b>		
Upínací plocha	1300 x 600	mm
T-drážky (počet x šířka x rozteč)	5 x 18 x 125	mm
Maximální nosnost stolu	1 000	kg
<b>Pracovní rozsah</b>		
Osa X	1 016	mm
Osa Y	610	mm
Osa Z	660	mm
Vzdálenost vřetena od plochy stolu	150 – 810	mm
Vzdálenost vřetena od stojanu	635	mm
<b>Vřeteno</b>		
Kuželová dutina vřetena	ISO 40	---
Rozsah otáček	20 – 7 500	min <sup>-1</sup>
Změna otáček	plynule měnitelné	---
<b>Posuv</b>		
Pracovní posuv X, Y, Z	2 – 12 000	mm/min
Rychloposuv X, Y, Z	22	mm/min
<b>Motor</b>		
Výkon motoru vřetena	15,0/22,5	kW
Příkon	35,0	kVA
<b>Pracovní tlak vzduchu</b>	0,6	MPa
<b>Celkové rozměry</b>		
Délka	3 080	mm
Šířka	2 700	mm
Výška	2 940	mm
<b>Pracovní výška</b>	940	mm
<b>Hmotnost stroje</b>	5 500	kg
<b>Zvláštní doplňky stroje</b>		
Přídavné pneumatické vřeteno Deuschle– max. otáčky	70 000	min <sup>-1</sup>
Laser	---	---

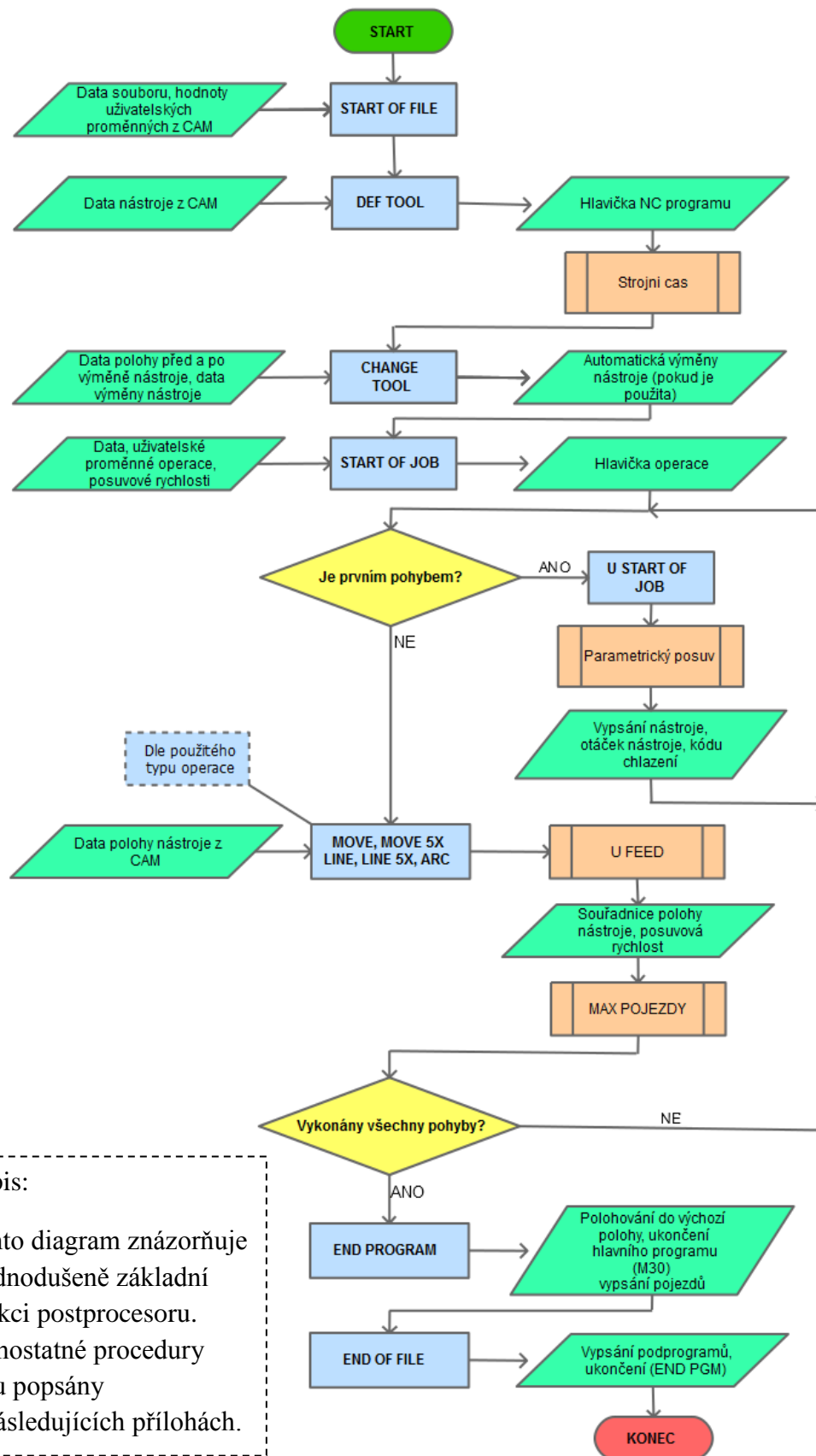


**Příloha II – Parametry rotačně-sklopného stolu NIKKEN 5AX-220 II  
ZA**

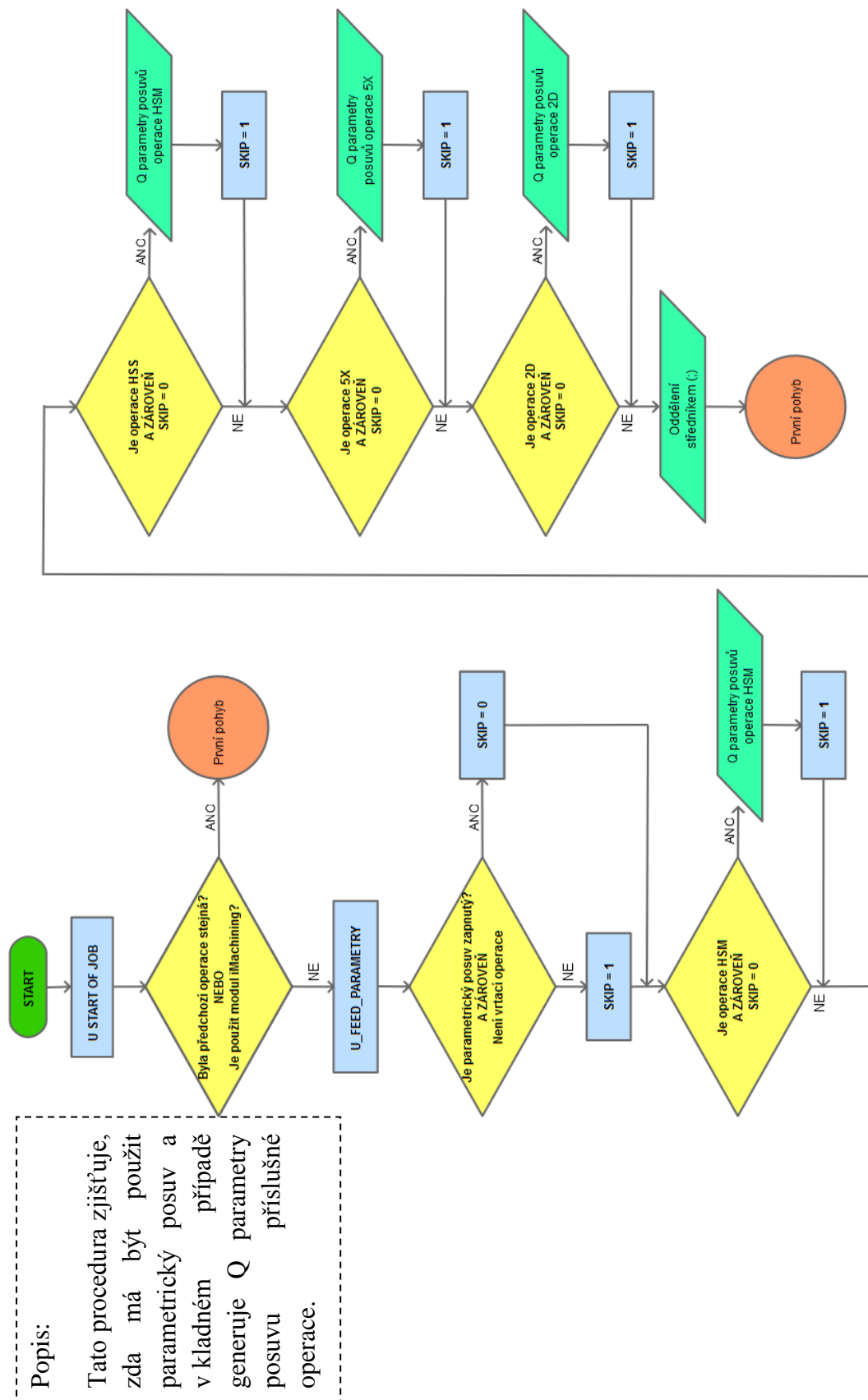
Parametr	Hodnota	Jednotka
Průměr upínací desky stolu	220	mm
Centrážní průměr otvoru v desce	60H7	mm
Poloha osy naklápění	245	mm
Výška upínací desky při poloze naklápěcí osy 0°	330	mm
Celková délka stolu	661	mm
Celková šířka stolu	934	mm
Celková výška stolu	370	mm
Šířka T-drážek	12H8	mm
Šířka upínacích kamenů	18h7	mm
Zaručený zdvih naklápěcí osy	15 až -105	°
Hmotnost obrobku (naklopení osy 0°-30°)	80	kg
Hmotnost obrobku (naklopení osy 30°-90°)	50	kg
Hmotnost stolu	190	kg

	Rotační osa	Naklápěcí osa	Jednotka	Poznámka
Použitý motor	1FT6044	1FT6044	---	firma Siemens
Přesnost polohování	+/- 5	+/- 10	“	přímé odměřování
Rychlost otáčení	22,2	11,1	min <sup>-1</sup>	---
Převodový poměr	1:90	1:180	---	---
Zpevňování polohy	hydraulické	hydraulické	---	---
Minimální inkrement	0,001	0,001	°	---

## Příloha III – Základní funkce postprocesoru

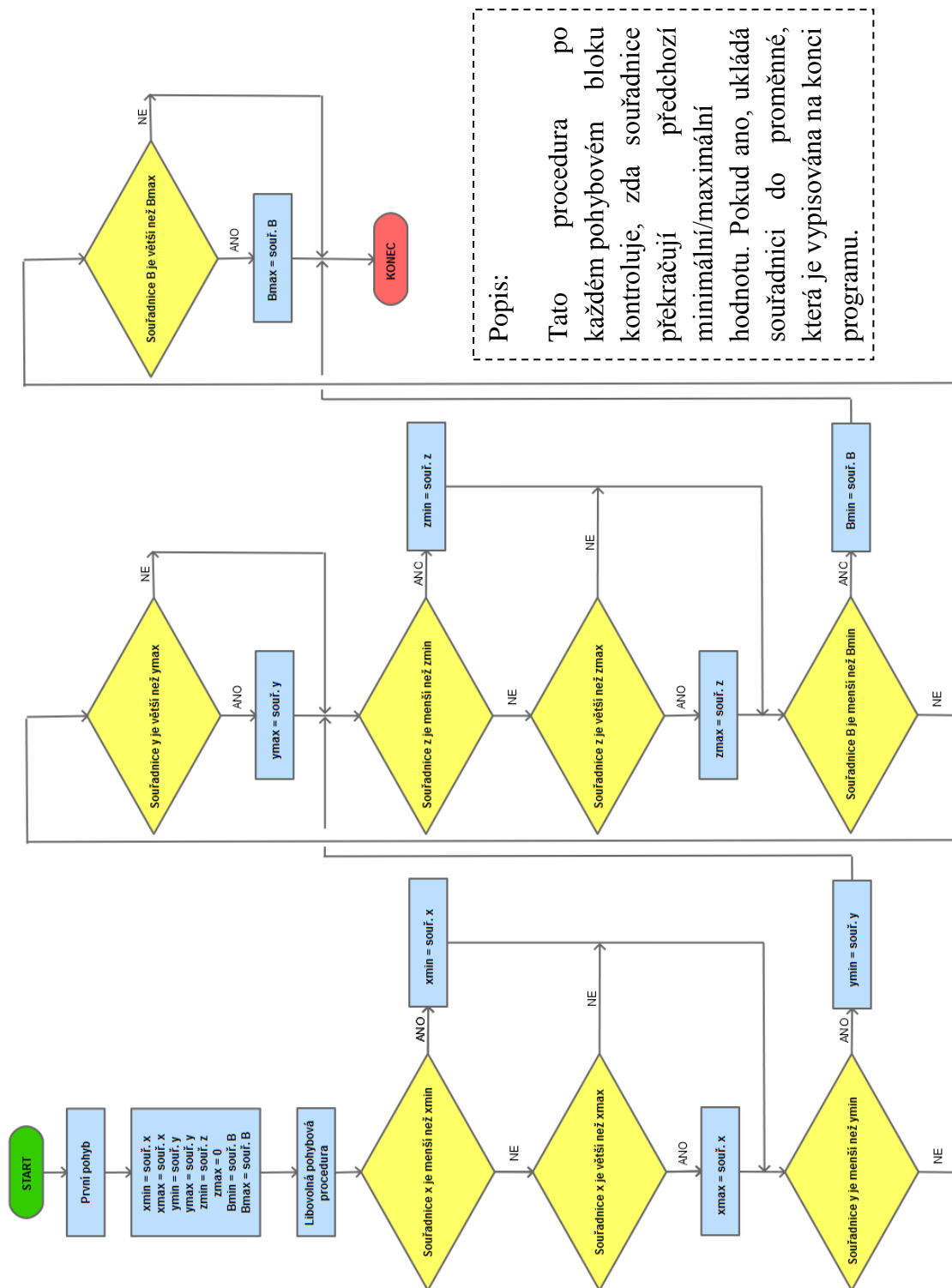


## Příloha IV – Vypsání Q parametrů parametrického posuvu na začátku programu – Parametrický posuv

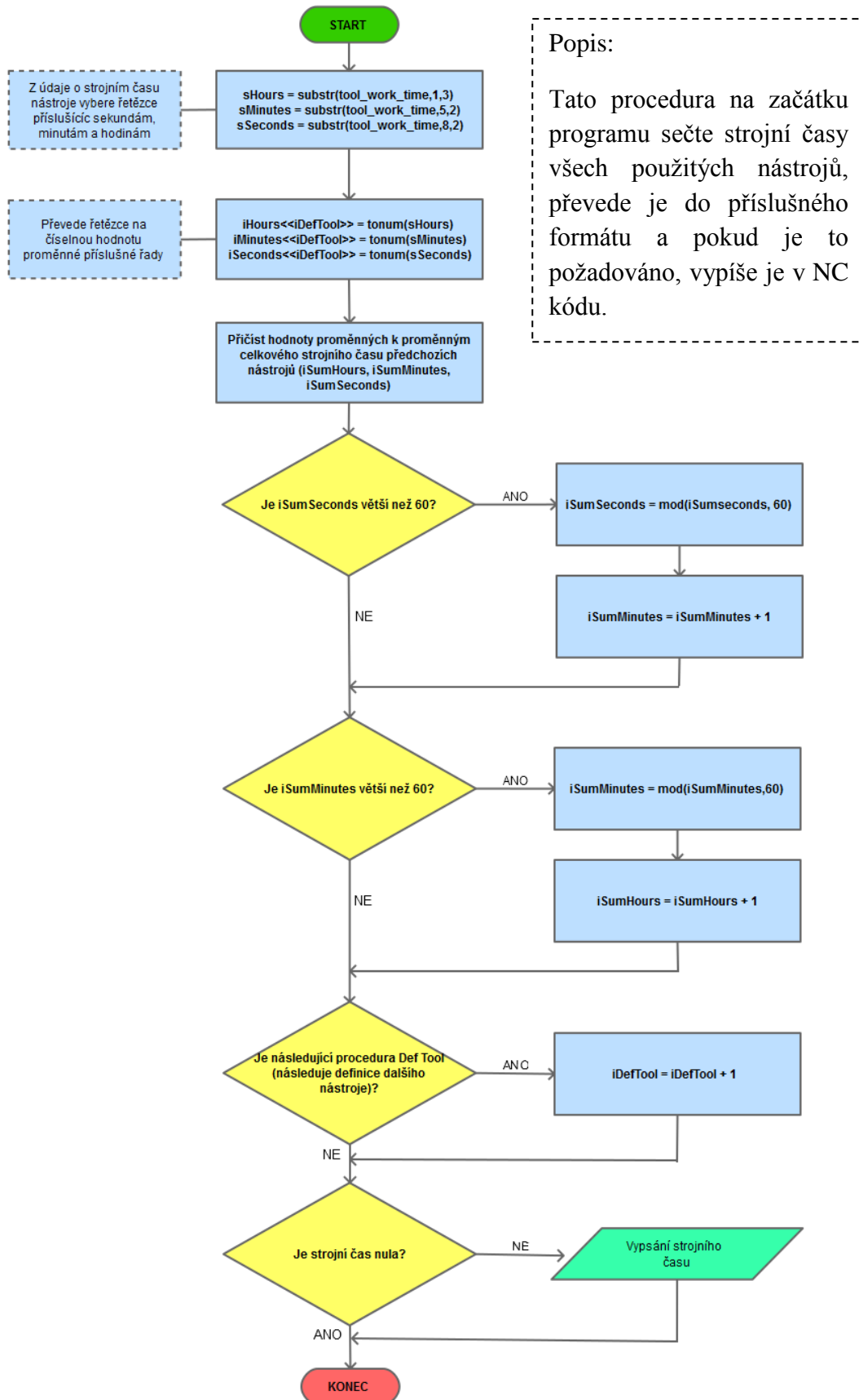




## Příloha VI – Určení maximálních pojezdů pohybových os – Max pojezdy

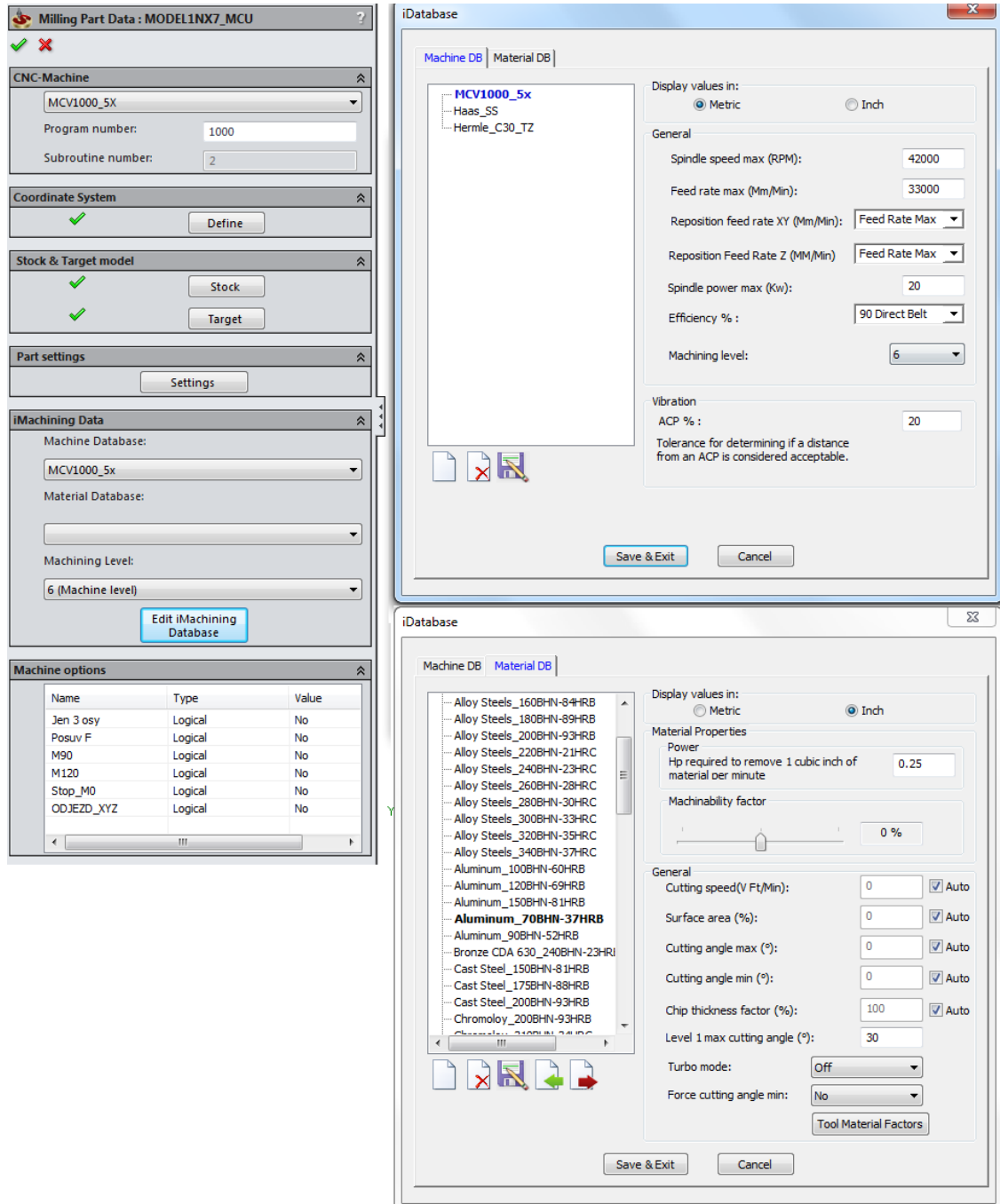


## Příloha VII – Vypisování strojního času – Strojní čas





## Příloha VIII – iMachining data



The image displays two screenshots of the iMachining software interface. The left screenshot shows the 'Milling Part Data : MODEL1NX7\_MCU' window, and the right screenshot shows the 'iDatabase' window.

**Milling Part Data : MODEL1NX7\_MCU**

- CNC-Machine:** MCV1000\_5X, Program number: 1000, Subroutine number: 2
- Coordinate System:** Define
- Stock & Target model:** Stock, Target
- Part settings:** Settings
- iMachining Data:** Machine Database: MCV1000\_5x, Material Database: (empty), Machining Level: 6 (Machine level), Edit iMachining Database
- Machine options:**

Name	Type	Value
Jen 3 osy	Logical	No
Posuv F	Logical	No
M90	Logical	No
M120	Logical	No
Stop_M0	Logical	No
ODJEZD_XYZ	Logical	No

**iDatabase**

**Machine DB | Material DB**

- Material DB: MCV1000\_5x, Haas\_SS, Hermle\_C30\_TZ
- Display values in: Metric (selected), Inch
- General:
  - Spindle speed max (RPM): 42000
  - Feed rate max (Mm/Min): 33000
  - Reposition feed rate XY (Mm/Min): Feed Rate Max
  - Reposition Feed Rate Z (MM/Min): Feed Rate Max
  - Spindle power max (Kw): 20
  - Efficiency %: 90 Direct Belt
  - Machining level: 6
- Vibration: ACP %: 20
- Tolerance for determining if a distance from an ACP is considered acceptable.
- Buttons: Save & Exit, Cancel

**iDatabase**

**Machine DB | Material DB**

- Material DB: Alloy Steels\_160BHN-84HRB, Alloy Steels\_180BHN-89HRB, Alloy Steels\_200BHN-93HRB, Alloy Steels\_220BHN-21HRC, Alloy Steels\_240BHN-23HRC, Alloy Steels\_260BHN-28HRC, Alloy Steels\_280BHN-30HRC, Alloy Steels\_300BHN-33HRC, Alloy Steels\_320BHN-35HRC, Alloy Steels\_340BHN-37HRC, Aluminum\_100BHN-60HRB, Aluminum\_120BHN-69HRB, Aluminum\_150BHN-81HRB, **Aluminum\_70BHN-37HRB**, Aluminum\_90BHN-52HRB, Bronze CDA 630\_240BHN-23HRC, Cast Steel\_150BHN-81HRB, Cast Steel\_175BHN-88HRB, Cast Steel\_200BHN-93HRB, Chromoloy\_200BHN-93HRB, Chromoloy\_240BHN-93HRB
- Display values in: Metric, Inch (selected)
- Material Properties:
  - Power: Hp required to remove 1 cubic inch of material per minute: 0.25
  - Machinability factor: 0%
- General:
  - Cutting speed (V Ft/Min): 0 [Auto]
  - Surface area (%): 0 [Auto]
  - Cutting angle max (°): 0 [Auto]
  - Cutting angle min (°): 0 [Auto]
  - Chip thickness factor (%): 100 [Auto]
  - Level 1 max cutting angle (°): 30
  - Turbo mode: Off
  - Force cutting angle min: No
  - Tool Material Factors
- Buttons: Save & Exit, Cancel

## Příloha IX – Část NC kódu operace iMachining s vyznačenou změnou posuvové rychlosti

```
0 BEGIN PGM IROUGH_CONTOUR MM
1 ;STROJ: MCVL1000
2 ;SYSTEM: HEIDENHAIN iTNC530 Dialog
3 ;POSTPROCESSOR: M5_H530_MCVL1000
4 ;GPP_VER.: 2016-11-25
5 ;PROGRAMATOR: MACHALA
6 ;Projekt: IMACHINING_2D_2
7 ;Datum: 28.3.2017
8 ;Cas: 10:56:45
9 ;
10 BLK FORM 0.1 Z X+0 Y-252 Z-50
11 BLK FORM 0.2 X+400 Y+0 Z+1
12 Q629=0 ; reset transformace 4 osy
13 M135 M126
14 ;
15 ;=====
16 ;..... SEZNAM NASTROJU .....
17 ;T02 - END MILL D12 R0
18 ;=====
19 ;
20 ;
21 ;=====
22 ; OPERACE: iRough-contour
23 ;=====
24 ; reset 4th axe transform counter
25 Q629 = 0
26 ; *****
27 ; NASTROJ: T2 D12 R0 L45 DB24 Z6
28 ; TYP: VALCOVA FREZA
29 ; UPINAC: HSK A 63 SRKIN 6x80
30 ; *****
31 TOOL CALL 2 Z S5392
32 CALL LBL "POLOHA-1" ;Mac 1 Position 1
33 CALL LBL 995; Odjezd Z
34 L X+31.338 Y-133.16 C+0 B+0 R0 FMAX M3
35 L Z+165 R0 FMAX
36 L Z-14 FMAX
37 L Z-35.92 F33000.
38 L X+231.826 Y-257.999 Z-36 F4023.
39 L Y-257.999 F3129.
40 L X+231.8 Y-257.988 F4867.
41 L X+231.06 Y-257.681 F3281.
42 CC X+229.448 Y-261.559
43 C X+230.593 Y-257.518 DR+
44 CC X+225.521 Y-274.603
45 C X+228.732 Y-257.073 DR+ F4027.
46 CC X+222.804 Y-292.743
47 C X+225.808 Y-256.708 DR+ F3707.
48 CC X+217.955 Y-363.803
49 C X+221.868 Y-256.492 DR+
50 CC X+212.26 Y-598.493
51 C X+215.9 Y-256.376 DR+ F4027.
52 L X+210.927 Y-256.346
```

**Příloha X – Tabulka výsledků testování postprocesoru**

Název NC kódu	Popis	Ověřovaná funkce	Výsledek
<b>Kontura_B.H</b>	Kontura povrchu koule pouze s pohybem osy B	Transformace souřadnic při pohybu osy B	OK
<b>Kontura_BC.h</b>	Kontura povrchu koule s polohováním osy C a pohybem osy B	Transformace souřadnic při změně osy C	OK
<b>Kontura_BC_sim.H</b>	Kontura povrchu koule se souběžným pohybem os B a C	Transformace souřadnic při souběžném pětiosém obrábění	OK
<b>5x_Drill_Cycl.H</b>	Vrtání 4 děr na různých plochách cyklem 200.	Polohování při vrtání, generování vrtacích cyklů a jejich provedení	OK
<b>Kruh.H</b>	Kruhová dráha kolem kulové plochy	Generování kruhové interpolace	OK
<b>Kruh_comp.H</b>	Kruhová dráha s kompenzací	Kompenzace průměru nástroje	OK
<b>Kontura_B_TCP.H</b>	Kontura povrchu koule s pohybem osy B, transformace prováděna řídicím systémem	Transformace řídicím systémem (M128) při pohybu osy B	M26 nefunkční, transformace funkční
<b>Kra_BC_sim_TCP.H</b>	Kontura povrchu koule se souběžným pohybem os B a C, transformace řídicím systémem	Transformace řídicím systémem (M128) při souběžném pětiosém obrábění	M26 nefunkční, transformace funkční
<b>I2_TCP.H</b>	Obrábění dvou svislých a dvou šikmých ploch obrobku s polohováním	Polohování řídicím systémem (M128), více operací v jednom programu	M26 nefunkční, kód funkční