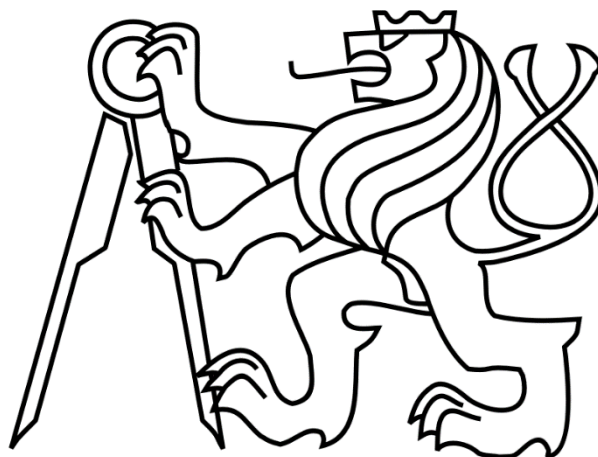


ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA STROJNÍ

Ústav výrobních strojů a zařízení



# Bakalářská práce

Software pro analýzu NC programů pro stroj MAS MCV1000

2018

Jan Górecki

## I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Górecki** Jméno: **Jan** Osobní číslo: **437024**  
Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**  
Zadávací katedra/ústav: **Ústav výrobních strojů a zařízení**  
Studijní program: **Strojirenství**  
Studijní obor: **Konstruování podporované počítačem**

## II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

**Software pro analýzu NC programů pro stroj MAS MCV1000**

Název bakalářské práce anglicky:

**NC Program Analysis Software for the MAS MCV1000 Machine Tool**

Pokyny pro vypracování:

Popis tématu: Práce spočívá ve vytvoření podpůrného prostředku pro technologa, který připravuje NC programy zejména pro tvarově složité dílce. Tento prostředek bude graficky znázorňovat parametry, zjištěné z NC programu. Bude řešeno tříosé i víceosé obrábění pro stroj MAS MCV1000 s ř.s. Heidenhain. Osnova práce: a) Rešerše současných podpůrných prostředků pro analýzu NC programů. b) Popis stroje a funkce ř.s. Heidenhain iTNC530. c) Návrh variant a vytvoření SW nástroje v prostředí Matlab pro analýzu parametrů z NC programů (výpočet přírůstků souřadnic v jednotlivých strojních osách, délky bloků, reverzace rotačních os, atp.). d) Rozšíření SW pro grafické znázornění vypočtených parametrů. e) Testování vytvořeného SW nástroje. Rozsah grafické části: vybrané vývojové diagramy. Rozsah textové části: 40 - 60 stran.

Seznam doporučené literatury:

HEIDENHAIN TNC 530: Uživatelská příručka, programování s popisným dialogem Heidenhain. Traunreut, Německo, 2014.; RYBÍN, J.: Automatické řídicí systémy. 1. vydání. Praha: ČVUT, 1991. 150 s. ISBN 80-01-00694-8.; 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:


**Ing. Michal Stejskal, ústav výrobních strojů a zařízení FS**

Datum zadání bakalářské práce: **12.04.2018**

Termín odevzdání bakalářské práce: **13.07.2018**

Platnost zadání bakalářské práce: **30.09.2018**

  
Ing. Petr Vavruška, Ph.D.  
podpis vedoucí(ho) práce

  
Ing. Petr Kolář, IPh.D.  
podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

  
prof. Ing. Michael Valášek, DrSc.  
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.

30.4.2018

Datum převzetí zadání

Sdi

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 .....

.....

podpis

# Poděkování

Tímto bych rád poděkoval především mému vedoucímu práce, panu Ing. Petru Vavruškovi Ph.D., za poskytnutí užitečných materiálů, cenných rad a trpělivost při tvorbě práce. Děkuji také konzultantovi Ing. Michalovi Stejskalovi za věcné připomínky a rady k práci a dané problematice a dále panu Ing. Jaroslavu Kovalčíkovi za rady spojené s programováním.

Děkuji také rodině a blízkým za podporu a motivaci nejen během tvorby této práce, ale po dobu celého studia.

## Anotace

Jméno autora:	Jan Górecki
Název BP:	Software pro analýzu NC programu pro stroj MAS MCV1000
Číslo BP:	BP 0227
Rozsah práce:	61 stran, 40 obrázků, 4 tabulky, 34 příloh
Akad. rok vyhotovení:	2017/2018
Škola:	ČVUT – Fakulta strojní
Ústav:	Ú12135 - Ústav výrobních strojů a zařízení
Vedoucí BP:	Ing. Petr Vavruška, Ph.D.
Konzultant:	Ing. Michal Stejskal
Zadavatel tématu:	ČVUT - FS
Využití:	Analýza parametrů z NC programů
Klíčová slova:	NC program, Dráha nástroje, Predikce obrábění, Vizualizace NC programů, Třiosé obrábění, Pětiosé obrábění
Abstrakt:	<p>Tato práce se zabývá vývojem nástroje sloužícímu k verifikaci NC programů a analýze parametrů obráběcího procesu. Klade si za cíl přiblížit proces generování NC programů, jejich strukturu, popis základních funkcí řídicího systému Heidenhain iTNC 530 jazyku Dialog a zjištění aktuálních trendů na poli optimalizace NC programů. Software ze vzniklých NC programů analyzuje a vizualizuje pomocí obarvení dráhy nástroje parametry jako délky lineárních přírůstků, reverzace rotačních os a dalších. Díky vzniklému softwaru může technolog například vyhodnotit rizikové oblasti při obrábění vedoucí ke zhoršení povrchu obrobku a na základě analýzy NC programu změnit obráběcí strategii za účelem zlepšení kvality a jakosti povrchu, snížení času obrábění a zvýšení produktivity.</p>

## Anotation

Author:	Jan Górecki
Title:	NC Program Analysis Software for the MAS MCV1000 Machine Tool
Number:	BP 0227
Extent:	61 pages, 40 figures, 4 tables, 34 attachmants
Academic Year:	2017/2018
University:	CTU – Faculty of Mechanical Engineering
Department:	Ú12135 - Department of Production Machines and Equipment
Tutor:	Ing. Petr Vavruška, Ph.D.
Consultant:	Ing. Michal Stejskal
Submitter:	CTU – Faculty of Mechanical Engineering
Application:	Analysis of parameters from NC programs
Keywords	NC program, Toolpath, Prediction of Milling, NC programs visualisation, 3D milling, 5D milling

**Abstrakt:** This thesis deal with development of a tool used to verify NC programs and analyze parameters of machining process. The aim is to clarify the generating process of NC programs, their structure, description of basic functions of control system Heidenhain iTNC 530 dialog language and determine current trends in optimization of NC programs. Software from created NC programs analyze and visualizes with help of track coloring parameters like length of linear increments, reversing rotational axes etc. For example, technologist can with the help of the software evaluate risk areas in machining process that leads to deterioration of the workpiece surface and based on NC program analysis change machining process strategy to improve the quality of the surface, reduce the machining process time and increase productivity.

# 1 Obsah

Prohlášení.....	2
Poděkování.....	3
Anotace .....	4
Anotation .....	5
Přehled použitých veličin, jednotek a symbolů .....	8
Přehled použitých zkratk.....	9
1 Úvod.....	10
2 Příprava NC programů.....	11
2.1 Způsoby přípravy NC programu .....	11
2.2 Struktura NC programu.....	11
2.3 Vliv řídicího systému na NC program .....	14
3 Možnosti analýzy NC kódu .....	17
3.1 NX tool path analysis .....	17
3.2 IK4 Tekniker .....	18
3.3 Siemens Analyze MyWorkpiece /Toolpath .....	19
3.4 CIMCO.....	20
3.5 ICAM .....	20
4 Stroj a jeho řídicí systém .....	23
4.1 Stroj.....	23
4.2 Řídicí systém a jeho funkce .....	23
4.2.1 BEGIN PGM, END PGM – Začátek a konec programu .....	24
4.2.2 L – lineární interpolace .....	24
4.2.3 C, CC – Kruhová interpolace a zadání středu interpolace .....	25
4.2.4 M126 - Dráhově optimalizované poježdění osami naklápění .....	25
4.2.5 M128 – Zachování polohy hrotu nástroje při polohování os.....	25
natočení (TCPM) .....	25
5 Shrnutí řešerše.....	26
6 Návrh variant analyzačního prostředku .....	27
6.1 Návrh softwaru pro tvorbu programu .....	27
6.1.1 Matlab .....	27
6.1.2 Phyton + grafická knihovna.....	27
6.2 Návrh varianty podoby analyzačního softwaru.....	28
6.2.1 Výběr varianty: .....	31
7 Vlastní zpracování .....	32

7.1	Načtení NC programu .....	32
7.2	Zjištění počtu řízených os v NC programu .....	33
7.3	Výpočetní část .....	34
7.4	Zobrazení výsledků .....	35
7.4.1	Měnění se rozsah .....	37
7.4.2	Hledání hodnot menších než zadaná hodnota .....	38
7.4.3	Reverzace os .....	39
7.4.4	Zobrazení kruhové interpolace .....	40
8	Cyklus pro vyhodnocování parametrů .....	41
8.1	Víceosé obrábění .....	41
8.1.1	Cyklus analyzující parametry víceosého obrábění .....	43
8.2	Tříosé obrábění .....	46
8.2.1	Cyklus analyzující parametry tříosého obrábění .....	46
9	Testování a vyhodnocení .....	47
10	Závěr .....	56



## Přehled použitých veličin, jednotek a symbolů

Označení	Jednotka	Popis
maticeZakladni	[-]	Tabulka s načteným NC programem
maticeVysledna	[-]	Tabulka pro zápis vypočtených hodnot
X	[mm]	Souřadnice polohy nástroje v NC programu osy X
Y	[mm]	Souřadnice polohy nástroje v NC programu osy Y
Z	[mm]	Souřadnice polohy nástroje v NC programu osy Z
B	[°]	Úhlová souřadnice osy B
C	[°]	Úhlová souřadnice osy C
X_M128	[mm]	Souřadnice polohy nástroje v souřadném systému obrobku na ose X
Y_M128	[mm]	Souřadnice polohy nástroje v souřadném systému obrobku na ose Y
Z_M128	[mm]	Souřadnice polohy nástroje v souřadném systému obrobku na ose Z
X_real	[mm]	Souřadnice polohy nástroje v souřadném systému stroje na ose X
Y_real	[mm]	Souřadnice polohy nástroje v souřadném systému stroje na ose Y
Z_real	[mm]	Souřadnice polohy nástroje v souřadném systému stroje na ose Z
prirustekX_M128	[mm]	Vzdálenost mezi dvěma následujícími body NC programu v souřadném systému obrobku na ose X
prirustekY_M128	[mm]	Vzdálenost mezi dvěma následujícími body NC programu v souřadném systému obrobku na ose Y
prirustekZ_M128	[mm]	Vzdálenost mezi dvěma následujícími body NC programu v souřadném systému obrobku na ose Z
prirustek_M128	[mm]	Vzdálenost mezi dvěma následujícími body NC programu v souřadném systému obrobku
prirustek_B	[°]	Rozdíl mezi dvěma následujícími úhlovými souřadnicemi NC programu osy B
prirustek_C	[°]	Rozdíl mezi dvěma následujícími úhlovými souřadnicemi NC programu osy C
vetsiPrirustekRotOs	[°]	Větší z hodnot prirustek_B či prirustek_C
prirustekX_real	[mm]	Vzdálenost mezi dvěma následujícími body NC programu v souřadném systému stroje na ose X
prirustekY_real	[mm]	Vzdálenost mezi dvěma následujícími body NC programu v souřadném systému stroje na ose Y
prirustekZ_real	[mm]	Vzdálenost mezi dvěma následujícími body NC programu v souřadném systému stroje na ose Z
prirustek_real	[mm]	Vzdálenost mezi dvěma následujícími body NC programu v souřadném systému stroje
pomerRotLin_M128	[°/mm]	Poměr rotačních a lineárních přírůstků v souřadném systému obrobku
pomerRotLin_real	[°/mm]	Poměr rotačních a lineárních přírůstků v souřadném systému stroje
tLin	[min]	Čas lineárních pohybů mezi dvěma následujícími body NC programu v souřadném systému stroje
$\omega$	[°/min]	Přepočet posuvové rychlosti na úhlovou rychlost
k	[1]	Koeficient pro přepočet posuvové rychlosti na úhlovou

Označení	Jednotka	Popis
tB	[min]	Čas rotačního pohybu osy B mezi dvěma následujícími body NC programu
tC	[min]	Čas rotačního pohybu osy C mezi dvěma následujícími body NC programu
tMax	[min]	Největší z hodnot tLin, tB, tC
Posuv	[mm/min]	Předikovaná posuvá rychlost
predchoziX_M128	[mm]	Předchozí hodnota souřadnice polohy nástroje v souřadném systému obrobku na ose X
predchoziY_M128	[mm]	Předchozí hodnota souřadnice polohy nástroje v souřadném systému obrobku na ose Y
predchoziZ_M128	[mm]	Předchozí hodnota souřadnice polohy nástroje v souřadném systému obrobku na ose Z
predchoziX_real	[mm]	Předchozí hodnota souřadnice polohy nástroje v souřadném systému stroje na ose X
predchoziY_real	[mm]	Předchozí hodnota souřadnice polohy nástroje v souřadném systému stroje na ose Y
predchoziZ_real	[mm]	Předchozí hodnota souřadnice polohy nástroje v souřadném systému stroje na ose Z
predchozi_B	[°]	Předchozí úhlová souřadnice osy B
Předchozí_C	[°]	Předchozí úhlová souřadnice osy C

## Přehled použitých zkratek

Označení	Popis
.exe	Executable
3D	Three dimensional
5D	Five dimensional
CAD	Computer Aided Design
CAE	Computer aided engineering
CAM	Computer Aided Manufacturing
CL data	Cutter Location Data
ISO	International Organization for Standardization
NC	Numerical Control

# 1 Úvod

Při obrábění tvarově složitých dílců jakými jsou například formy, lopatková kola a podobné, je kladen důraz na dosahování vysokých přesností. Do obráběcího procesu zasahuje několik faktorů majících vliv na výslednou podobu obrobku. Chyby na obrobku vznikají nastavením přesnosti generovaných drah, časovou interpolací dat, nastavením parametrů regulace strojních os či vlivem vibrací a dalších. Chyby způsobené přesností generovaných drah mohou vznikat v návaznosti na vytvoření dráhy prostřednictvím CAM (Computer Aided Manufacturing). Obráběcí strategie s drahami nástrojů jsou tvořeny vzhledem k možnému použití různých kombinací obráběcích strojů a řídicích systémů v obecně podobě v CAM systémech. Informace o použitém stroji a řídicím systému do procesu vnáší Postprocessor. Zvláště u případů víceosého obrábění tak mohou být chyby do procesu tvorby NC programů zaneseny nevhodným nastavením drah, vlečením nástroje, předepsáním příliš úzké tolerance pro generování bodů v CAM systémech a dalších, či použitím nevhodně postaveného postprocessoru. Kontrolou vzniklých NC programů tak lze predikovat možné chyby na dílcích před jejich obrobem a následnou změnou strategie v CAM, změnou postprocessoru či jeho úpravou se této chybě vyhnout a zefektivnit tak obráběcí proces.

Tato bakalářská práce se proto bude zabývat vývojem nástroje sloužícímu k verifikaci NC programů a možné analýze parametrů obráběcího procesu. Klade si za cíl přiblížit proces generování NC programů, jejich strukturu, popis základních funkcí řídicího systému Heidenhain iTNC 530 jazyku Dialog a zjištění aktuálních trendů na poli optimalizace NC programů. Dále v práci bude přiblížen způsob, jakým vzniklý software pracuje. Ze vzniklých NC programů budou analyzovány a následně vizualizovány parametry pomocí obarvení dráhy nástroje. Díky tomu bude moci technolog například vyhodnotit rizikové oblasti při obrábění vedoucí ke zhoršení povrchu obrobku, které při použití jiné strategie nemusí vzniknout, či by měly menší dopad na výsledný obrobek. Na základě analýzy NC programu lze danou obráběcí strategii změnit a tím zpřesnit kvalitu a jakost povrchu, snížit čas obrábění a zvýšit produktivitu.

## 2 Příprava NC programů

NC program je textový soubor s informacemi pro zajištění automatizovaného obrábění prostřednictvím řídicího systému. Obsahuje souřadnice koncových bodů nástroje, řezné podmínky, rychlosti posuvů a další parametry, dle kterých je řízen stroj za účelem výroby součástí.

### 2.1 Způsoby přípravy NC programu

Základní rozdělení způsobu přípravy NC programu je dělení na programování ruční, dílenské a automatické. Stejně pořadí naznačuje jak se s časem, vývojem strojů a informačních technologií také nezbytně vyvíjela i příprava NC programů.

Při ručním programování je zápis NC programů realizován přímým psaním kódu pomocí textových editorů, či specializovaných programů pro tvorbu a práci s NC programy. Psaní kódu je však, jak již název napovídá, ruční. Programátorem nedopatřením může snadno dojít k vytvoření chyby a následnému nedosažení požadovaného tvaru obrobku či chyby, která může znamenat kolizi nástroje s obrobkem, upínacím mechanismem nebo samotným strojem. [2] [14]

Dílenské programování je za pomoci programovacích cyklů a dalších funkcí prováděno obsluhou stroje v dialogovém okně řídicího systému stroje. Tento způsob je často využíván pro tvorbu jednoduchých dílců, kdy se podnikům pro jejich činnost nevyplatí pořízení drahých licenčních práv na software CAD/CAM, ale pro pokrytí jejich činnosti si vystačí s dílenským programováním. Dále je tohoto způsobu přípravy NC programů hojně využíváno pro jednoduché operace typu sražení hran před spuštěním programu vytvořeného externím způsobem. Řídicí systémy zpravidla umožňují vizualizaci dráhy nástroje, ne však standardně se simulací pohybů částí strojů pro odhalení možných kolizí, jak tomu může být při tvorbě kódu pomocí automatického programování. [2] [14]

Při automatickém programování tvoří programátor NC programy pomocí k tomu určených softwarů. Programátor na v CAD systémech vytvořených geometriích dílců aplikuje obráběcí strategie. K tomuto účelu slouží takzvané CAM systémy. Následně CAM systémy generují obecná CL data. Ta jsou pomocí postprocesoru obsaženém ve stejném nebo v externím programu převedena na NC programy srozumitelné konkrétním strojům. Automatické programování umožňuje relativně snadnou tvorbu NC programů pro tvarově složité obrobky, u kterých by byly obě předchozí metody příliš složité, až značně nevyhovující. [2] [14]

### 2.2 Struktura NC programu

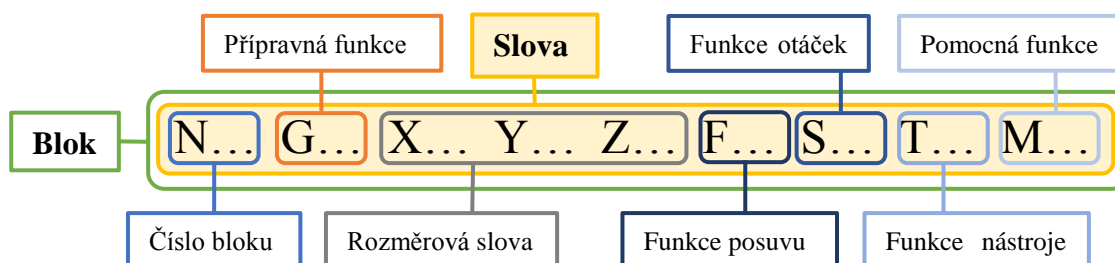
NC program se skládá z jednotlivých „bloků“ (řádků), které jsou složeny z takzvaných „slov“. Po prvním bloku iniciujícím „start programu“ následují bloky obsahující informace o polotovaru, nástrojích a jejich korekčních parametrech, nájezdu do bezpečné pozice, parametrech otáček vřeten, posuvech strojních os, dráhových pohybech nástroje při obrábění a dalších funkcích. Na posledním bloku programu se nachází informace říkající „konec programu“. [2]

Existují dvě základní struktury zápisu NC programů mající svá další upřesňující pravidla ohledně uspořádání slov v blocích programu. Méně využívanou strukturou je zápis bloků s pevnou délkou. Každé slovo zde má přesně dané umístění v bloku a v je nadcházejících blocích opakováno do doby, než je jeho hodnota změněna. U programů s proměnnou

délkou bloků tato potřeba odpadá. V blocích kde není specifikována nová hodnota slova je počítáno s poslední definovanou hodnotou příslušného slova. [2]

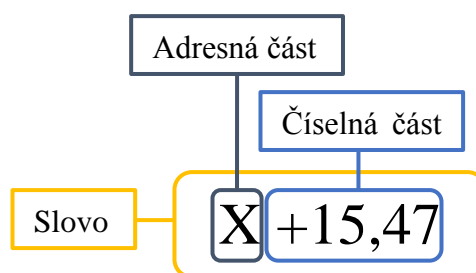
Platí, že každý blok musí začínat číslem určujícím jeho pořadí v programu. Během obrábění je program zpracováván postupně podle číselného označení bloků. U různých řídicích systémů se může značení bloků lišit. Bloky bývají značeny číslovkami „1,2,3...n“ či číslovkami předřazenými znakem „N“ „N10, N20, N30...Nn“. Bloky sloužící k zápisu poznámek mají na pozici za číslem bloku znak středníku. [2]

Část programu tvořenou bloky dráhových pohybů lze z důvodu četnosti bloků tohoto typu nazvat nejobsáhlejší částí programu. Četnost těchto bloků závisí na tvarové složitosti výsledného obrobku. Program bude obsahovat tolik bloků dráhových pohybů, kolik je jich potřeba k přesnému definování výsledného tvaru obráběného dílce. Struktura bloků popisujících pohyb nástroje je patrná na Obr. 2-1.



Obr. 2-1: Struktura bloku NC programu pro určení polohy nástroje

Bloky jsou složeny z takzvaných slov. Slova jsou dělena na rozměrová a bezrozměrová. Rozměrová slova jsou vztahena k určování polohy nástroje a bezrozměrová k určování technologických specifikací jakými jsou čísla bloků, přípravné funkce, pomocné funkce a další. Adresy pro definici slov jsou zobrazeny v Tab. 2-1. Na Obr. 2-2 je zobrazen příklad rozměrového slova jehož struktura je složena z adresné a číselné části [2]



Obr. 2-2: Struktura slova NC programu

Tab. 2-1: Tabulka adres používaných v NC programech

Adresa	Význam	Rozměr slova
A, B, C	Úhlové rozměry kolem os X, Y, Z	Rozměrová
D	Úhlový rozměr kolem speciální osy třetí posuvová funkce funkce pro volbu korekce nástrojů	Možno použít v obou případech
E	Úhlový rozměr kolem speciální osy druhá posuvová funkce	Možno použít v obou případech
F	Posuvová funkce	Bezrozměrová
G	Přípravná funkce	Bezrozměrová
H	Neurčeno	Rozměrová
I, J, K	Interpolační parametry rovnoběžně s X, Y, Z nebo stoupání závitu	Rozměrová
L	Neurčeno	Neurčeno
M	Pomocné funkce	Bezrozměrová
N	Číslo bloku	Bezrozměrová
O	Nepoužívat	Neurčeno
P, Q, R	Rozměr terciálního pohybu rovnoběžně s X, Y, Z, nebo korekce nástroje	Rozměrová
S	Funkce otáček vřetena	Bezrozměrová
T	Funkce nástroje	Bezrozměrová
U, V, W	Rozměr sekundárního pohybu rovnoběžně s X, Y, Z	Rozměrová
X, Y, Z	Rozměr primárního pohybu X, Y, Z	Rozměrová

Takzvané přípravné funkce (G funkce) jsou v blocích umístěny na druhé pozici za číslem bloku. Nesou stroji informace ohledně pozicování nástroje a s tím spjatou problematikou. Základní G funkce jsou vypsány v Tab. 2-2. [2]

Tab. 2-2: Tabulka základních G funkcí v NC programech

G00	Rychloposuv
G01	Lineární interpolace
G02	Kruhová interpolace ve směru otáčení hodinových ručiček
G03	Kruhová interpolace proti směru otáčení hodinových ručiček
G22	Volání podprogramu
G23	Opakování části programu
G54-G57	Strojní posunutí nulového bodu
G58-G59	Programové posunutí nulového bodu
G40-G42	Kompenzace radiusu nástroje
G90-G91	Způsob (druh) programování (absolutní/inkrementální)
G92	Omezení otáček stroje
G94	Minutový posuv [1/min]
G95	Otáčkový posuv [1/ot.]
G96	Zapnutí konstantní řízené rychlosti
G97	Vypnutí konstantní řízené rychlosti

M funkce, neboli pomocné funkce, slouží k udávání obecných příkazů zpravidla takových, které nejsou spjaty se samotnou polohou nástroje, ale udávají stroji obecné informace ohledně jeho chodu. Zapnutí/vypnutí vřetene, chlazení a podobně. Částečný výčet z nich je vypsán v Tab. 2-3. Jejich pozice v bloku je obvykle na posledním místě. [2]

Tab. 2-3: Tabulka základních M funkcí v NC programech

M00/M01	Programový stop
M03	Zapnutí otáčení vřetena ve smyslu hodinových ručiček
M04	Zapnutí otáčení vřetena ve smyslu proti hodinovým ručičkám
M05	Vypnutí vřetena
M06	Výměna nástroje
M07	Zapnutí chladicího čerpadla 1
M08	Zapnutí chladicího čerpadla 2
M09	Vypnutí chlazení čerpadla
M17	Konec podprogramu
M02/M30	Konec hlavního programu

## 2.3 Vliv řídicího systému na NC program

Řídicí systémy jsou postavené na stejném normovaném základě ISO 6983 [2]. Výrobci řídicích systémů své produkty dále upravují dle jejich potřeb čímž se jednotlivé systémy různí. Tato kapitola je zaměřena na zjištění rozdílů tří řídicích systémů a to Heidenhain (konkrétně jazyk Dialog), Siemens Sinumerik a Fanuc.

V předchozí kapitole je naznačeno, že NC program začíná blokem s významem sdělujícím stroji „začátek NC programu“ a končí blokem sdělujícím stroji „konec programu“. V Tab. 2-4 jsou viditelné konkrétní rozdíly mezi jednotlivými řídicími systémy, které se týkají prvního a posledního bloku.

Tab. 2-4: Tabulka znázorňující rozdíly mezi jednotlivými řídicími systémy, co se týče záhlaví a zápatí NC programu



Řídicí systém	Zápis	
	Start programu	Konec programu
Heidenhain	BEGIN PGM Název_souboru Měrná jednotka	END PGM Název_souboru Měrná jednotka
Sinumerik	%Název_souboru	M30
Fanuc	ONázev_souboru	M30 %

Další rozdíl mezi různými řídicími systémy lze pozorovat na struktuře bloků u programů s proměnnou délkou. Výše byla popsána obecná struktura bloku NC programu a rozdíl mezi programy s proměnnou a pevnou délkou bloků. Všechny tři porovnávané řídicí systémy neopakují slova k popisu polohy nástroje se stejnou rozměrovou částí ve dvou po sobě následujících blocích. Řídicí systémy Sinumerik a Fanuc, na rozdíl od řídicího systému Heidenhain, navíc neopakují ani dráhovou funkci do doby, než bude opět změněna.

Systémy se též liší způsobem určujícím maximální rychlost pohybu nástroje, takzvaným rychloposuvem. Zatímco řídicí systémy Sinumerik a Fanuc využívají pro rychloposuv přípravnou funkci G00, řídicí systém Heidenhain v jazyce Dialog tuto funkci postrádá. Namísto toho se do příslušného bloku s přípravnou funkcí pro lineární interpolaci, který má být vykonán rychloposuvem, zapíše bezrozměrové slovo FMAX. Rozdílem oproti systémům Sinumerik a Fanuc je však nutnost použití slova FMAX na konci každého bloku programu jenž má být vykonán rychloposuvem.

Na Obr. 2-3 porovnávajícím stejnou část NC programu pro různé řídicí systémy jsou zelenými rámečky označené dráhové funkce a oranžově podtržená slova udávají rychloposuv. Dále si lze povšimnout již zmíněného rozdílu v možnostech různého číslování bloků programů. Část programu psaná jazykem Dialog systému Heidenhain má na druhé pozici v každém bloku udávajícím polohu nástroje použitou některou z přípravných funkcí udávajících polohu nástroje funkcí „L“ udávající lineární interpolaci. Oproti tomu Sinumerik a Fanuc učiní použitím „G01“ lineární interpolaci platnou pro aktuální a následující bloky do doby, než bude funkce změněna. To je patrné v bloku N19 u systému Sinumerik a bloku N240 u systému Fanuc.

	<u>Heidenhain</u>
	29 L X-7.218 Y-11.921
	30 L X-16.907 Y-1.816
	31 L Z-18.4
	32 L Z36.6 <u>FMAX</u>
	<u>Sinumerik</u>
	N16 G01 X-7.218 Y-11.921
	N17 X-16.907 Y-1.816
	N18 Z-18.4
	N19 G00 Z36.6
	<u>Fanuc</u>
	N210 G01 X-7.218 Y-11.921
	N220 X-16.907 Y-1.816
	N230 Z-18.4
	N240 G00 Z36.6

 ..... Dráhová funkce  
 ..... Rychloposuv

Obr. 2-3: Porovnání zápisu lineárních interpolací mezi řídicími systémy Heidenhain, Sinumerik a Fanuc

Patrné rozdíly jsou viditelné na zápisech kruhových interpolací. Siemens Sinumerik i Fanuc zde využívají shodného zápisu převzatého ze základního jazyka ISO, kdežto Heidenhain má zápis kruhových interpolací odlišný.

Pro kruhovou interpolaci zadanou středem a koncovým bodem využívá Sinumerik a Fanuc funkci „G02“, pro interpolaci ve směru hodinových ručiček, nebo funkci „G03“, pro interpolaci proti směru hodinových ručiček. Za funkcí následuje určení polohy koncového bodu oblouku v kartézském souřadnicovém systému obrobku a inkrementálně



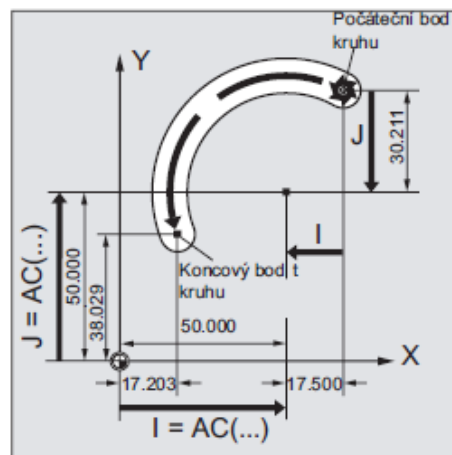
či absolutně zadaná poloha středu oblouk. Pro zadání souřadnic středu kruhové interpolace se využívají programové adresy „I, J, K“ s číselnými údaji o posuvu ve směru v daných osách. Adresa „I“ pro hodnotu ve směru osy „X“, „J“ pro hodnotu ve směru osy „Y“ a „K“ pro hodnotu ve směru osy „Z“. Inkrementálně zadaná poloha středou kruhové interpolace je určena od polohy nástroje definované předchozím blokem programu. Pro zadání středu kruhu v absolutních rozměrech od souřadného systému obrobku je potřeba slovo napsat v pozmeněném tvaru, patrném z Obr. 2-4. Za interpolačními parametry „I, J, K“ následuje znak „=“ a znaky „AC“ následované kulatými závorkami s hodnotou udávající absolutně definovaný rozměr na příslušné ose. [4]

**Zadání středu v inkrementálních rozměrech**

```
N10 G0 X67.5 Y80.211
N20 G3 X17.203 Y38.029 I-17.5 J-30.211 F500
```

**Zadání středu v absolutních rozměrech**

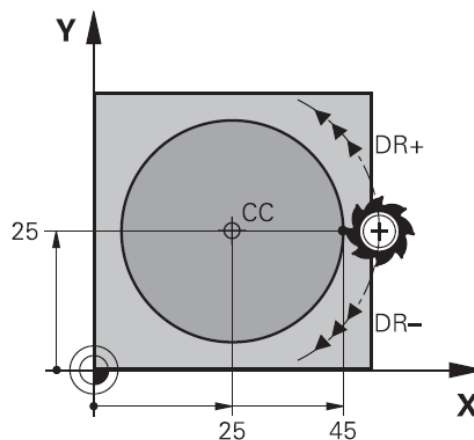
```
N10 G0 X67.5 Y80.211
N20 G3 X17.203 Y38.029 I=AC(50) J=AC(50)
```



Obr. 2-4: Příklad zápisu kruhové interpolace v řídicím systému Siemens Sinumerik a k němu příslušné naznačení pohybu nástroje, převzato z lit. [4]

Heidenhain po bloku udávajícím počáteční polohu nástroje definuje v následujícím bloku funkcí „CC“ (Circle Centre) střed kruhové interpolace a dalším blokem s funkcí „C“ (kruhová dráha) polohou koncového bodu oblouku. Slovy „DR+“ a „DR-“ je definován smysl pohybu kruhové interpolace. Slovo „DR+“ definuje smysl otáčení proti směru hodinových ručiček, „DR-“ definuje smysl otáčení po směru hodinových ručiček. Příklad kruhové interpolace pasný v jazyce popisného dialogu Heidenhain je patrný na Obr. 2-5.

```
5 CC X+25 Y+25
6 L X+45 Y+25 RR F200 M3
7 C X+45 Y+25 DR+
```



Obr. 2-5 - Příklad zápisu kruhové interpolace v řídicím systému Heidenhain a k němu příslušné naznačení pohybu nástroje, převzato z lit. [3]

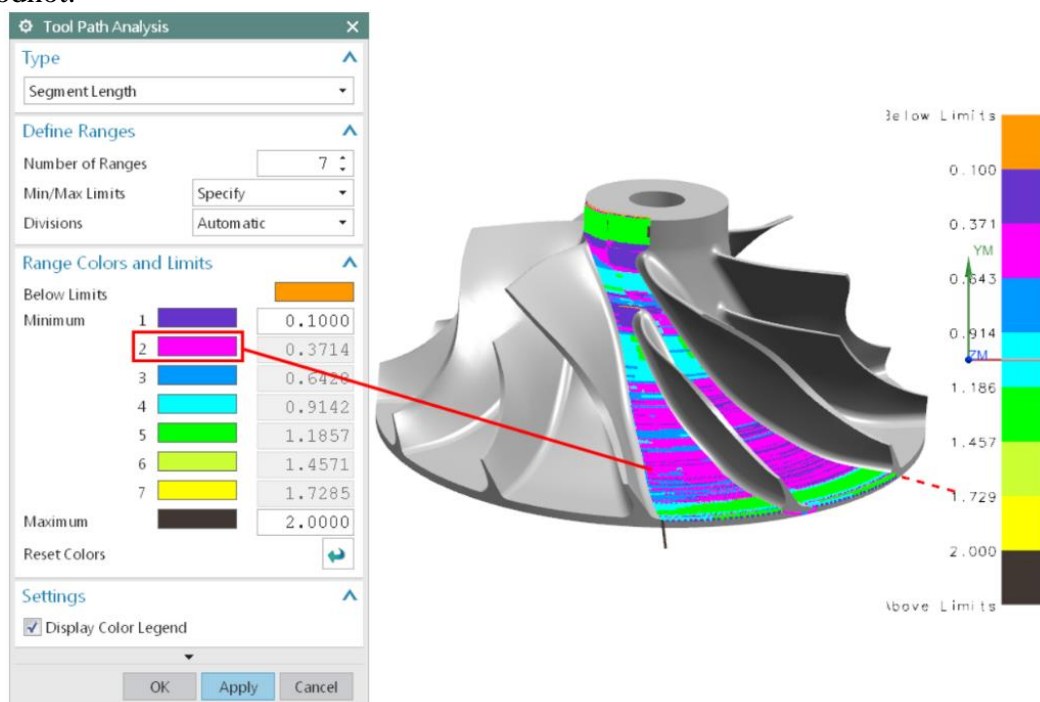
## 3 Možnosti analýzy NC kódu

Vyhodnocováním různých parametrů za účelem optimalizace strategie obrábění, řezných parametrů, úpravě NC programu či jiné aktivitě za účelem zvýšení přesnosti obrábění, zlepšení jakosti povrchu a dalších výhod spjatých s vhodně vytvořeným NC programem je cílem různých společností vyvíjejících vlastní nástroje a softwary. Tato část práce bude věnována průzkumu dosavadních možností optimalizace, analyzování, úpravě či vykreslování NC programů.

### 3.1 NX tool path analysis

Software NX od společnosti Siemes je CAD/CAM/CAE software, poskytující komplexní služby od návrhu tvaru součásti, přes simulace zatížení dílce, až po tvorbu strategie obrábění a její vizualizaci včetně simulace obrábění v reálném čase pro odhalení kolizí stroje. Od verze programu NX CAM 10.0.3 je zde implementována funkce „Tool Path Analysis“. Ta je na základě generovaných CL dat a z nich získaných parametrů, schopna grafickým obarvením stávajících drah nástroje (Obr. 3-1) pomoci uživateli s predikcí problémových oblastí obrábění, doladěním strategie a tím zefektivněním tvorby NC programu.

Nabízenými možnostmi pro specifikaci intervalů mezi uživatelem zadaným minimem a maximem jsou možnosti rozdělení automaticky, logaritmicky či statisticky. Automatický výběr hodnoty rozdělí rovnoměrně mezi minimem a maximem. Využití logaritmického rozdělení rozsahů, zajišťuje detailnější pohled kolem referenční hodnoty. Referenční hodnotou je pro délku segmentů hodnota rovna nejmenší délce inkrementu a pro velikost vodícího úhlu hodnota rovna 0. Poslední možností je dělení statistické určující velikosti intervalů na základě blíže nespecifikovaných pravidel. Zobrazení výsledků při zvolení tohoto nastavení má napomáhat při rozlišování velmi blízkých hodnot.



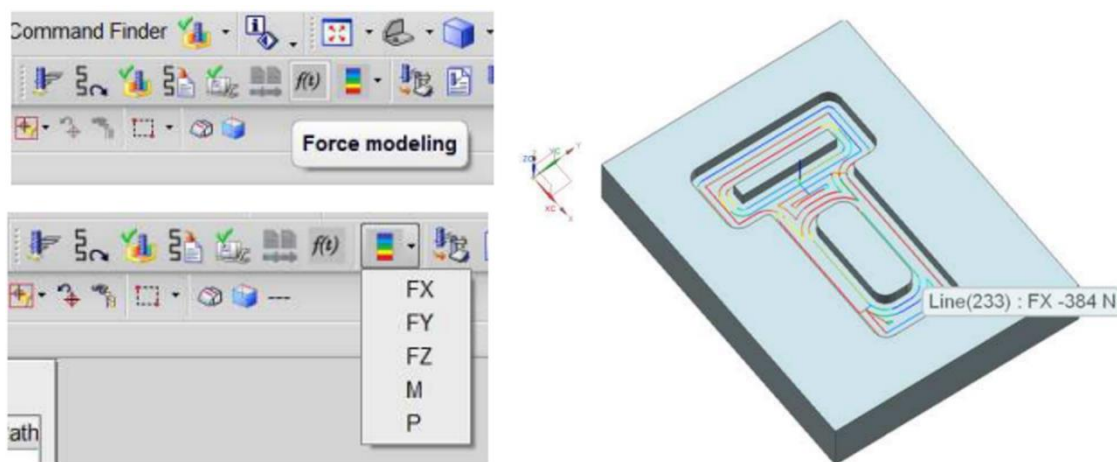
Obr. 3-1: Obarvení dráhy nástroje v NX-CAM funkci Tool Path Analysis dle parametru velikosti délek segmentů, převzato z lit. [6]

## 3.2 IK4 Tekniker

IK4 Tekniker je španělskou výzkumnou organizací, jež vyvinula aplikaci pro optimalizaci posuvové rychlosti na základě informací z CL dat a parametrů obrábění z CAM systému Siemens NX.

Informace o nástroji, materiálu obrobku a drahách nástroje získává aplikace z CL dat a informace o geometrii obrobku z STL souboru. Na základě získaných dat analyzuje a zapisuje do matice hodnoty souřadnic, maximálních řezných sil, točivé momenty, spotřebu energie a identifikační čísla barev pro vykreslení v NX. Identifikační čísla barev jsou určena na základě velikosti zapisovaných hodnot.

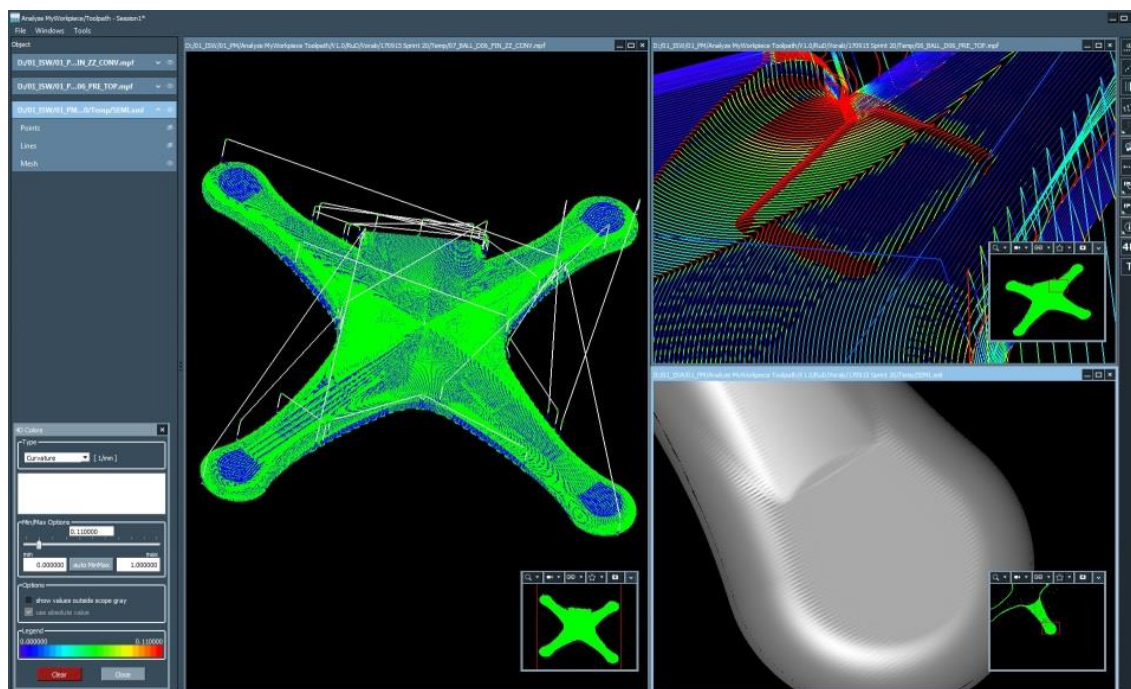
Uživatel NX zvolí z nabízených možností ten parametr, který chce analyzovat a software NX CAM vykreslí dráhu nástroje a graficky vyznačí zvolený parametr obarvením dráhy nástroje příslušnou barvou přiřazenou odpovídající velikosti hodnoty vykreslovaného parametru, jak je patrné z Obr. 3-2. V článku je naznačen případ pro tříosé obrábění. Uživatel je však díky tomuto doplňku do CAM systému schopen analyzovat i obrábění na pětiosých strojích.



Obr. 3-2: Obarvení dráhy nástroje v NX-CAM s rozšířením výzkumné organizace IK4 Tekniker dle parametru velikosti řezné síly ve směru X, převzato z lit. [8]

### 3.3 Siemens Analyze MyWorkpiece /Toolpath

V únoru roku 2018 společnost Siemens představila nový produkt Siemens Analyze MyWorkpiece/Toolpath. Jedná se o software pro zobrazení NC programů, reálných drah stroje a 3D geometrií za účelem optimalizace výrobního procesu. Podporovanými formáty pro zobrazení NC programů jsou soubory typu \*.MPF a \*.SPF. Reálné dráhy ze systému SINUMERIK Operate trace ve formátech \*.CSV a \*.XML a 3D geometrie ve formátu \*.STL. Načtená data jsou zobrazena a využívána ke kontrole přesnosti a kvality generovaných drah. Software disponuje nástroji a možnostmi pro měření vzdáleností bodů, rádiusů, křivosti, délek přírůstků a dalších. Software dále umožňuje barevně namapovat dráhu nástroje dle parametrů křivosti či reálných posuvových rychlostí získaných ze stroje a zkontrolovat tak průběh změn těchto hodnot. Na základě získaných poznatků z analýzy je technolog schopen porovnávat NC programy a odhalit potenciál pro snížení doby obráběcího procesu a zlepšení kvality povrchu změnou obráběcí strategie. Prostředí a způsob zobrazení výsledků uživateli je patrný na Obr. 3-3.



Obr. 3-3: Prostředí softwaru Siemens Analyze MyWorkpiece /Toolpath, převzato z lit. [9]

### 3.4 CIMCO

Software CIMCO Edit je celosvětově rozšířeným programem určeným pro práci s již vytvořenými NC programy. Slouží k úpravám, porovnávání, vykreslování a k další práci s programy. Přehledným způsobem barevně odděluje klíčová slova, díky čemuž se uživatel může lépe orientovat v jinak mnohdy složitém textu. Jednoduše lze měnit číslování bloků a provádět hromadné změny parametrů, například rychlost otáček vřetene.

### 3.5 ICAM

Mezinárodní společnost ICAM Technologies Corporation se zabývá vývojem pokročilých postprocesorů, simulací a optimalizací obráběcího procesu. V odvětví zmíněné optimalizace prezentují tři funkce, a to funkce SmartPATH, SmartCUT a SmartFEED.

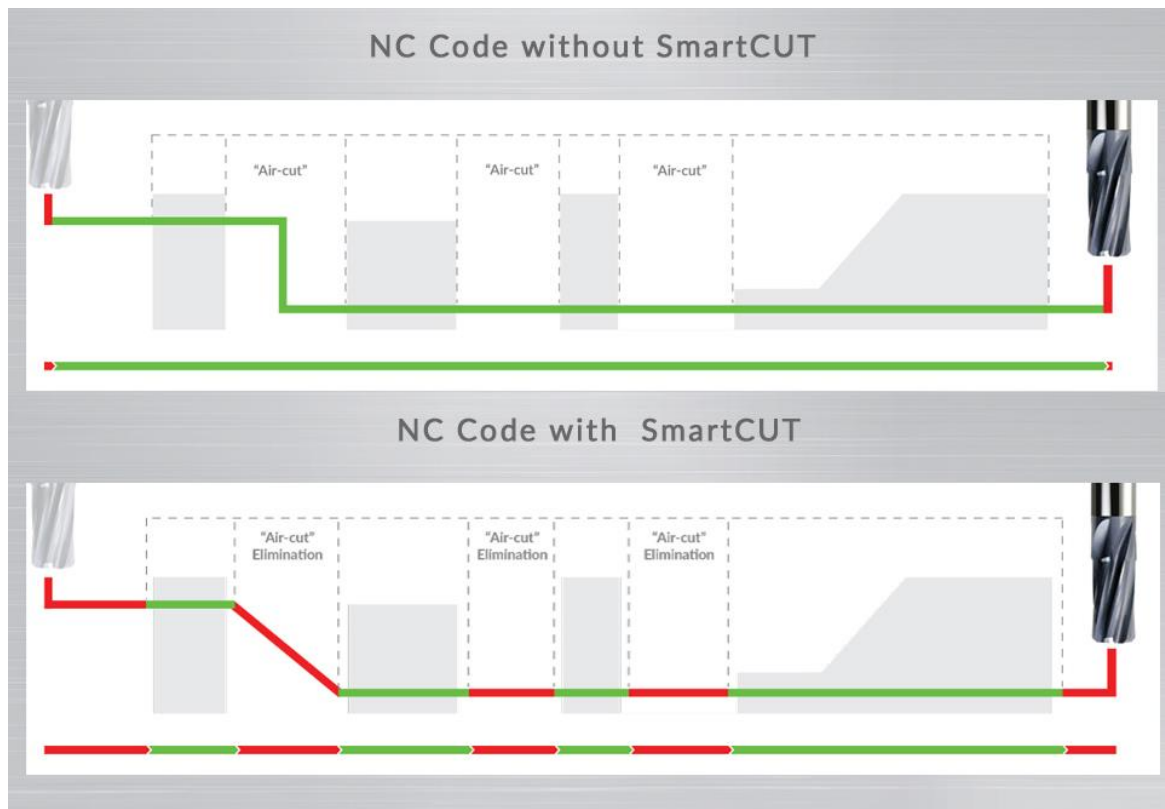
SmartPATH si klade za cíl automaticky generovat bezpečné a efektivní dráhy nástroje zajištěné na základě znalosti kinematiky stroje s geometrií obrobku a tím možnosti využívat nejkratší možné přejezdy nástroje bez vzniku kolizí nástroje s obrobkem či stroje samotného. Zobrazení optimalizované dráhy funkcí SmartPATH si lze všimnout na Obr. 3-4.



Obr. 3-4 - ICAM grafické znázornění rozdílů dráhy nástroje před (nejvíce vlevo) a po (druhé zleva) po použití SmartPATH, převzato z lit. [7]

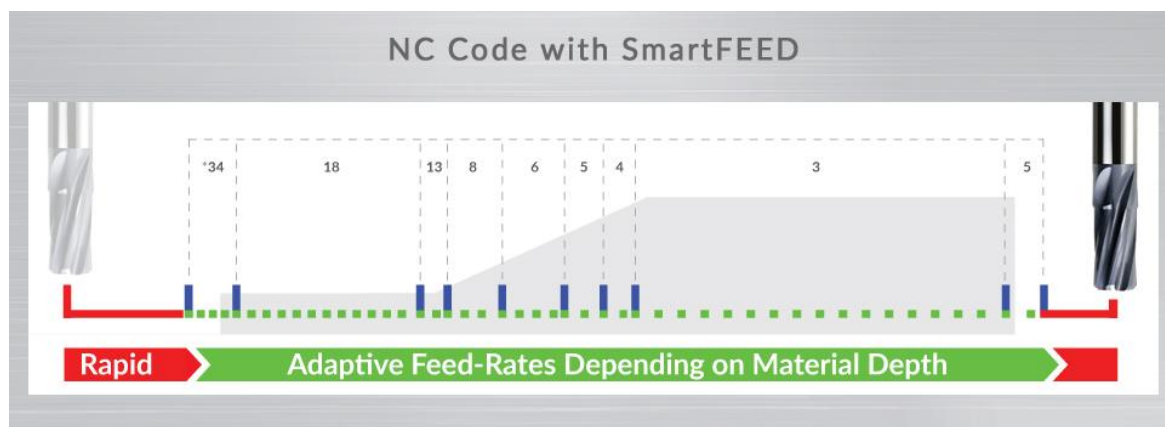


Další optimalizace vedoucí ke snížení obráběcího času ICAM dosahuje pomocí funkce SmartCUT. Ta díky simulaci úběru materiálu detekuje a eliminuje takzvané „obrábění ve vzduchu“ při kterém není nástroj v záběru, přestože se pohybuje řeznou rychlostí. Nalezené oblasti jsou poté pro ušetření času při obrábění nahrazeny rychloposuvem. Znárodnění funkce SmartCUT je patrné z Obr. 3-5.



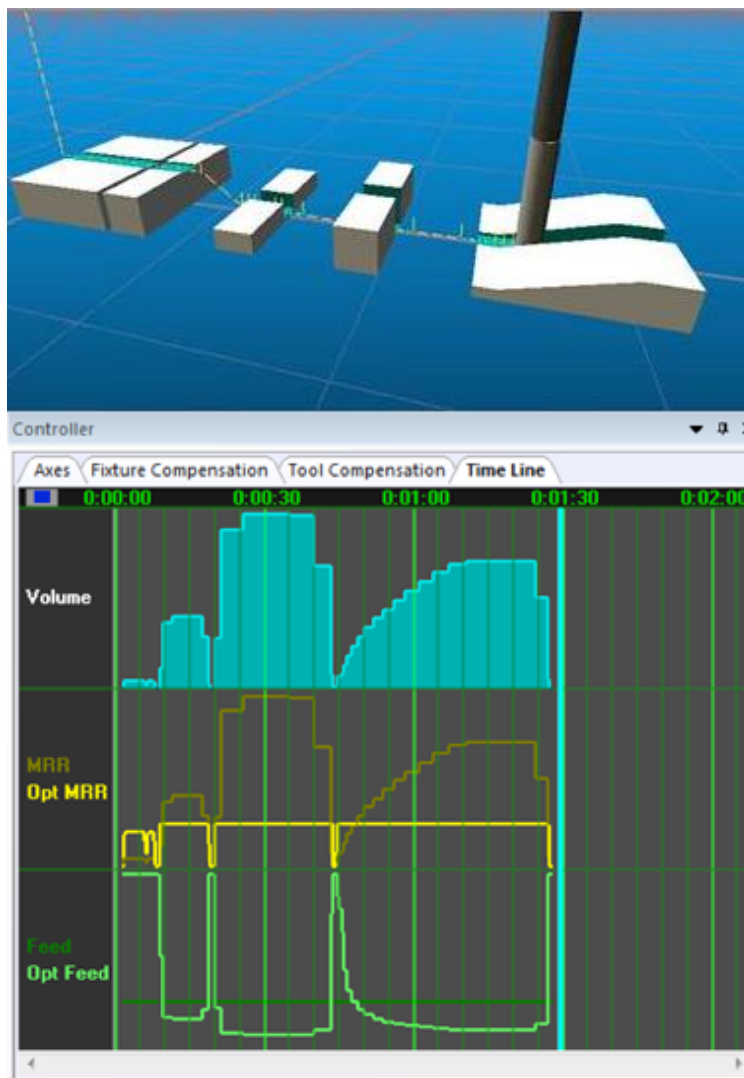
Obr. 3-5: ICAM grafické znázornění NC programu před (nahore) a po (dole) použití funkce SmartCUT, převzato z lit. [7]

SmartFEED je třetí prezentovanou funkcí zefektivňující obráběcí proces pomocí dynamické úpravy pracovního posuvu v závislosti na měnícím se zatížení nástroje v řezu (konkrétně hloubce řezu). Změnu posuvové rychlosti v závislosti na hloubce řezu znázorňuje Obr. 3-6.



Obr. 3-6: ICAM grafické znázornění funkce SmartFEED, převzato z lit. [7]

Způsob, kterým ICAM zobrazuje optimalizaci obrábění pomocí funkcí smartCUT a smartFEED je patrný na Obr. 3-7, kde je ve vrchní části viditelná dráha nástroje a jeho různé zatížení v řezu a ve spodní části jsou tři různá grafická zobrazení popisující průběh obrábění. Hodnoty výsledných grafů jsou vypisovány současně se zobrazením polohy nástroje při simulaci obrábění. Modrý graf popisuje objem (Volume) odebíraného materiálu, na jehož základě jsou založeny strategie optimalizačních procesů. Tmavě zelená přímka ve spodní části grafu zobrazuje velikost neoptimalizované posuvové rychlosti (Feed), kdy je po celou dobu nastavena konstantně, zatímco světle zelená křivka zobrazuje velikost optimalizované posuvové rychlosti měnící se na základě znalosti průběhu obrábění. Prostřední žluté křivky zobrazují hodnotu úběru materiálu (Material Removal Rate). Tmavě žlutá křivka značící úběr materiálu je pro konstantní posuvovou rychlost shodná s objemem odebíraného materiálu. Světle žlutá křivka zobrazuje optimalizovanou hodnotu úběru materiálu. Úběr materiálu je optimalizován tak, aby byl v průběhu obrábění pokud možno konstantní, což má zaručovat přibližně stejné zatížení nástroje řeznými silami po celou dobu obráběcího procesu.



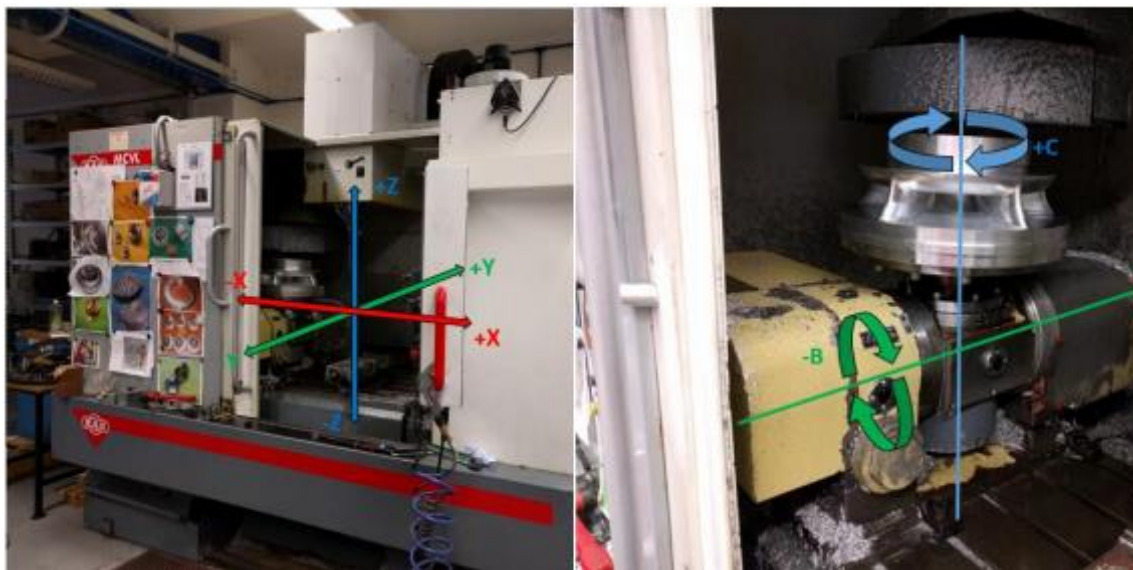
Obr. 3-7: Zobrazení výsledků optimalizace obrábění v programu ICAM, převzato z lit. [7]

## 4 Stroj a jeho řídicí systém

Vzhledem k tomu že v sobě NC programy již zahrnují informace o konkrétním řídicím systému a stroji na kterém bude program odbaven, je potřeba představit stroj s řídicím systémem pro který je analyzační software primárně určen.

### 4.1 Stroj

Analyzační software je primárně tvořen pro stroj MCVL 1000 (Obr. 4-1), ten je součástí pracoviště Výzkumného centra pro strojírenskou výrobní techniku a technologii spadajícím pod Ústav výrobních strojů a zařízení. Jedná se o tříosý frézovací stroj společnosti KOVOSVIT MAS, a.s. s přídavným otočně-sklopným stolem 5AX-220 II ZA společnosti NIKKEN. Rozšířením tříosého stroje o otočně-sklopný stůl, zajišťující rotační pohyby ve směru os B a C vzniká pětiosý obráběcí stroj typu stůl-stůl, tedy konfigurace, kde jsou obě rotační osy v obrobkové větvi stroje. Osa B je naklápěcí s rozsahem pohybu  $+30^\circ$  až  $-120^\circ$ . Osa C je rotační bez omezení, je schopna libovolného otáčení. Otočně sklopný stůl disponuje hydraulickým zpevňováním rotačních os, které lze zapnout pro případy obrábění těžkých dílců, či obrábění, při němž vznikají velké řezné síly. K zapnutí a vypnutí hydraulického zpevňování rotačních os se využívá pomocných M funkcí. Ustavení rotačního stolu do obráběcího prostoru frézky ubírá, vzhledem k možnosti kolize částí stroje a stolu, rozjezd v ose Y. [1]



Obr. 4-1:(vlevo) Frézka MAS MCVL 1000 s (vpravo) otočně-sklopným stolem 5AX-220 II ZA, převzato z lit. [10]

### 4.2 Řídicí systém a jeho funkce

Řídicím systémem rozumíme překladač NC programu pro stroj, který „přečtením“ NC programu a jeho vyhodnocením udává stroji, co má vykonat. NC programy jsou tvořeny přímo pro dané řídicí systémy, pomocí kterých mají být odbaveny. Obecně se řídicí systémy dají rozdělit podle způsobu řízení na systémy s přetržitým a souvislým řízením.

Software bude tvořen pro stroj s řídicím systémem Heidenhain iTNC 530 pro něž může být program napsán dvěma způsoby, DIN/ISO kódem a popisným dialogem Heidenhain. Jedná se pouze o rozdílný způsob zápisu programu, který na výslednou funkci nemá vliv. Jazyk Dialog je vytvořen pro lepší přiblížení „slov“ NC programu uživatelům. Příkladem



může být zápis lineární interpolace v ISO kódu pomocí funkce G01. V jazyce popisného dialogu je stejná funkce značena znakem L odvozeného od anglického slova pro přímku „Line“.

Následující výčet funkcí a jejich pravidel zápisu v NC programu má za cíl přiblížit možnosti řídicích systémů Heidenhain iTNC 530 s jazykem popisného dialogu. Budou zde zmíněny některé zásady programů psaných pro tyto řídicí systémy a hlavně přípravné „G“ funkce s pomocnými „M“ funkcemi

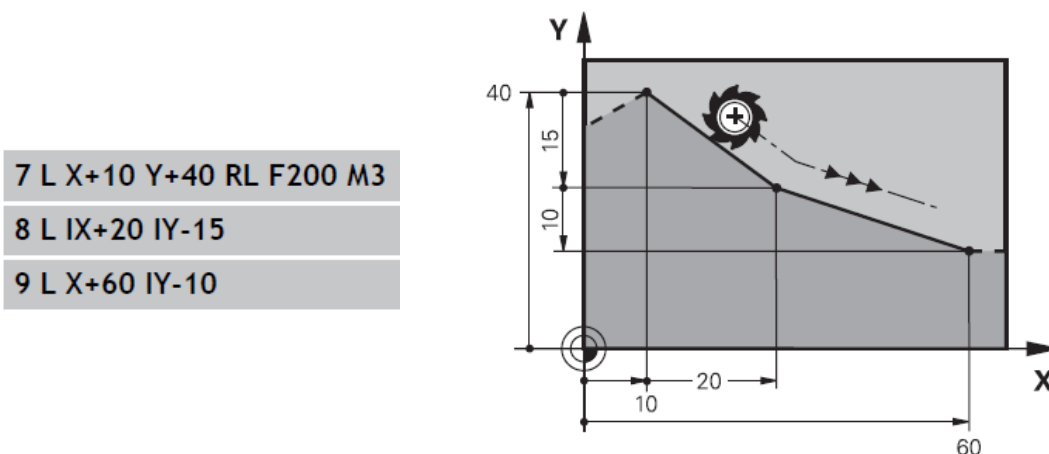
#### 4.2.1 BEGIN PGM, END PGM – Začátek a konec programu

Již bylo zmíněno, že každý program začíná a končí příslušnými bloky oznamujícími stroji start a konec programu, takzvaným záhlavím a zápatím programu. V popisném dialogu Heidenhain je první blok vždy ve tvaru „BEGIN PGM Název\_souboru Měrná jednotka“ a poslední blok je v téměř shodném tvaru lišícím se v prvním slově bloku, kdy je slovo „BEGIN“ nahrazeno slovem „END“. Měrnou jednotkou je myšlena délková jednotka, ve které je program napsán (milimetry, metry a jiné). Mezi těmito dvěma bloky se nachází „zbytek“ programu. Příklad takového zápisu:

```
1 BEGIN PGM Název_souboru MM  
...  
359 END PGM Název_souboru MM
```

#### 4.2.2 L – lineární interpolace

Funkce „lineární interpolace“ značená písmenem „L“ vytvoří přímkovou spojnicí mezi předchozí polohou bodu nástroje a polohou nástroje zadanou v aktuálním bloku. Polohu lze zadávat absolutně, jak je patrné z bloku číslo 7 Obr. 4-2. Adresnou částí slova je název osy, která vykoná pohyb o číselnou část slova do kladného či záporného směru pohybu osy. Ve stejném bloku se dále nacházejí, pro zadání lineární interpolace nadbytečné příkazy, které nemusí pro „RL“ pro označení pojezdu nástroje vlevo od obrysu obrobku ve směru pohybu nástroje, „F200“ určující posuvovou rychlost nástroje a „M3“ pro zapnutí otáčení vřetena vpravo. V bloku osm je viditelný příklad inkrementálního („I“ před názvem osy) zadání polohy nástroje, číselná hodnota udává vzdálenost od poslední polohy shodné osy. V devátém bloku je patrná kombinace obou způsobů odměřování. V ose „X“ je poloha zadána absolutně vzhledem k souřadnému



Obr. 4-2: Příklad lineární interpolace v řídicím systému Heidenhain jazyku popisného dialogu, převzato z lit. [3]

systemu obrobku a v ose „Y“ inkrementálně, kdy se od poslední hodnoty na ose „Y“ nástroj posune do záporného směru o deset jednotek. Na Obr. 4-2 vpravo je znázorněn pohyb nástroje zadán programem patrným z levé části obrázku.

Standardní blok s funkcí lineární interpolace u víceosého obrábění je oproti bloku pro tříosé obrábění rozšířen o hodnoty natočení rotačních os stroje, jak je patrné z Obr. 4-3.

182 L X-64.339 Y-69.76 Z+194.579 B-2.737 C+202.709 FQ4

*Obr. 4-3: Příklad bloku lineární interpolace víceosého obrábění pro řídicí systém Heidenhain v jazyce popisného dialogu.*

### 4.2.3 C, CC – Kruhová interpolace a zadání středu interpolace

Kruhová interpolace zadaná středem kruhu a jeho koncovým bodem byla popsána již v předchozí kapitole, přestože by zcela jistě spadala i do této kapitoly.

### 4.2.4 M126 - Dráhově optimalizované poježdění osami naklápění

Způsob, jakým stroj najíždí do daných poloh za použití rotačních os je dán nastavením stroje, konkrétně strojním parametrem „shortestDistance“ (nejkratší vzdálenost). Toto nastavení stroji udává, zda má následující polohy dosáhnout přejezdem o hodnotu rozdílu cílové a počáteční polohy nebo zda má být polohy dosaženo uražením nejkratší vzdálenosti i bez použití funkce „M126“. Funkce M126 tak zajišťuje přejezd o nejkratší vzdálenost i na strojích s primárním nastavením stroje pro přejezdy rotačních os o rozdíl cílové a aktuální polohy. Zmíněná nastavení jsou platná pro polohování rotačních os, jejichž hodnoty natočení jsou redukovány pod 360° [3]. Rozdíl mezi těmito dvěma strojními nastavením je viditelný na Obr. 4-4.

Aktuální poloha	Cílová poloha	Dráha pojezdu
350°	10°	-340°
10°	340°	+330°

Aktuální poloha	Cílová poloha	Dráha pojezdu
350°	10°	+20°
10°	340°	-30°

*Obr. 4-4: (Nahoře) dráha tvořena rozdílem cílové a aktuální polohy, (Dole) dráha tvořena uražením nejkratší vzdálenosti, převzato z lit. [3]*

### 4.2.5 M128 – Zachování polohy hrotu nástroje při polohování os natočení (TCPM)

CAM systém naklopení nástroje popisuje rozložením jednotkového vektoru ve směru osy nástroje do prostorových složek popisujících tento vektor. Postprocesor naprogramovaný pro daný stroj převádí vzniklá CL data z CAM systému na NC kód. Naklopení nástroje určené jednotkovým vektorem se tak podle kinematiky stroje zadané v postprocesoru přepočte na pohyby strojních os pro vykonání daného pohybu na stroji.

Postprocesor s možností generovat NC program s funkcí M128, tak při zvolení této možnosti negeneruje NC program pro konkrétní stroj, nýbrž generuje polohu hrotu nástroje v souřadném systému obrobku a úhel natočení nástroje, respektive jednotkového vektoru ve směru osy nástroje udávajícímu polohu jeho natočení v CAM. Stroj, na němž má být program odbaven pak musí mít v popisu kinematiky výrobcem definovanou geometrii stroje a NC kód je v průběhu obrábění „překládán“ do podoby udávající způsob, jak dosáhnout určité polohy na stroji změnou poloh rotačních a lineárních os.

## 5 Shrnutí řešerše

V první části práce zabývající se řešerší před dalším postupem, byly podrobněji popsány možnosti tvorby NC programů a jejich struktura. V kapitole se nachází přehled používaných adres, přípravných „G“ a pomocných „M“ funkcí používaných v NC programech. Získané znalosti struktury NC programů jsou klíčové pro určení důležitosti jednotlivých slov programů na výslednou analýzu. Pro účely tvorby softwaru je potřebná znalost souřadnic polohy nástroje a některé z přípravných a pomocných funkcí, ne však všechny. V následující kapitole jsou porovnány tři řídicí systémy různých výrobců. Ty staví vlastní řídicí systémy na stejném normovaném základě, avšak dle potřeb každého z nich, své systémy upravují a vylepšují jejich funkce podle potřeby. Konkrétně jsou porovnány systémy Heidenhain iTNC 530 Dialog, Fanuc a Siemens Sinumerik. Při poukazování na odlišnosti jednotlivých řídicích systémů jsou zároveň popsány dvě významné dráhové funkce nezbytné pro další postup ve tvorbě této práce. Těmi jsou funkce pro lineární a kruhovou interpolaci. Konkrétně je potřebná znalost struktury zápisu lineární a kruhové interpolace v systému Heidenhain jímž osazen stroj KOVOSVIT MAS MCVL 1000 a pro který je primárně software určen. Rešeršní část se dále zabývá zmapováním dosavadní situace na poli analýzy obráběcích procesů na tři až pětiosých frézkách, úpravách takových procesů a způsobu zobrazování vyhodnocených dat různými výrobci softwarů spjatých s tvorbou a optimalizací NC programů. Poslední kapitola části zabývající se řešerší je zaměřena na popis konkrétní tříosé frézky MCVL 1000 rozšířené o otočně sklopný stůl 5AX-220 II ZA společnosti NIKKEN a řídicím systémem na daném stroji. Podkapitola zabývající se řídicím systémem je zaměřena především na popis významných pomocných „M“ funkcí a upřesnění podoby zápisu dráhové funkce lineární interpolace.

## 6 Návrh variant analyzačního prostředku

Na základě znalostí získaných po provedení rešerše vznikla myšlenka na výslednou podobu analyzačního softwaru. Její provedení je dále podmíněno výběrem softwaru pro naprogramování analyzačního prostředku a určením podoby funkce softwaru.

### 6.1 Návrh softwaru pro tvorbu programu

Za účelem naprogramování softwaru musí být zvolen vhodný prostředek splňující veškeré požadavky kladené na finální analyzační software. Hlavním požadavkem je možnost prostorového grafického zobrazení dráhy nástroje s příslušným obarvením v závislosti na určeném parametru. Výhodou může být možnost kompilace finální podoby programu do „.exe“ souboru a možnost tvorby grafického uživatelského prostředí při volbě analyzačního softwaru v podobě uživatelské aplikace.

Za účelem usnadnění vývoje programů existují takzvané programovací nástroje, nejčastěji jde o překladače či vývojová prostředí. Samotný program je možno za dodržení podmínek daného programovacího jazyka psát v libovolném textovém editoru. Ke spuštění je poté zapotřebí zmíněného překladače programu. Dalším typem programovacích nástrojů jsou vývojová prostředí. Většinou se jedná o softwary, zaměřené na jeden programovací jazyk, určené k usnadnění vývoje programů. Součástí vývojových prostředí je textový editor pro zápis kódu programu, překladač a například debugger sloužící ke spuštění programu za účelem testování a odhalování chyb.

Před vývojem analyzačního softwaru je tak nutno nejprve určit způsob programování. Vzhledem k výhodám přinášeným použitím vývojového prostředí bylo rozhodnuto o použití některého z těchto prostředí.

#### 6.1.1 Matlab

Matlab je skriptovacím programovacím jazykem a programovým prostředím nesoucím stejnojmenný název od společnosti MathWorks. Umožňuje práci s maticemi, vykreslování plošných i prostorových funkcí, tvorbu aplikací a jejich prostředí, implementaci algoritmů a propojování s programy jiných programovacích jazyků.

Jeho použití přináší výhodu v podobě již získaných základních znalostí v tomto prostředí v průběhu studia. Licence na tento software jsou studentům ČVUT Fakulty strojní dostupné zdarma a další výhodou je velké množství typů grafů. Matlab sám již funguje jako kompletní programové prostředí se všemi potřebnými funkcemi pro vytvoření software, není potřeba instalovat přídatné balíky s možnostmi vykreslování grafů či podobné. Matlab disponuje možnostmi tvorby grafických prostředí, není v tomto ohledu však zcela vhodným prostředkem například v deklaraci nových proměnných. V množství grafů k použití se nenalézá takový, který je tvořený křivkou s proměnnou barvou v závislosti na hodnotě. Zmíněnou možnost obarvení části průběhu v závislosti na hodnotách lze aplikovat pouze na grafu vykresleném pomocí bodů nikoliv křivky.

#### 6.1.2 Phyton + grafická knihovna

Stejně jako Matlab je i Phyton skriptovacím programovacím jazykem. Existuje pro něj velké množství vývojových prostředí včetně freeware verzí. Při detailním zkoumání možností grafických knihoven je programátor schopen nalézt takový doplněk či jejich kombinaci, aby byly splněny jeho potřeby a požadavky. Je tak možné nalézt vhodný prostorový graf s obarvenými křivkami dle výsledných hodnot analýzy.

## 6.2 Návrh varianty podoby analyzačního softwaru

Další věcí, k rozhodnutí od které se bude vyvíjet následný postup řešení je způsob práce s NC programy a vyhodnoceními daty. Tedy zda v prostředí Matlab vytvořit skripty podobné „open source“ programům pro jednotlivé druhy obrábění (třiosé, víceosé) či aplikační prostředí.

„Open source“ variantou je myšleno používání skriptů pro analýzu uživateli přímo v prostředí softwaru Matlab. Výhodou takové varianty je částečné zjednodušení programování softwaru způsobené odpadnutím nutnosti tvorby programového prostředí. Za další výhodu této varianty lze považovat možnost úpravy skriptu samotným uživatelem dle jeho potřeb. Tato výhoda však může být i hlavní nevýhodou dané varianty. Uživateli totiž není zabráněno provést v kódech změny mající zásadní dopad na správnost chodu programu.

Zmíněný problém snadno eliminuje varianta s grafickým programovým prostředím, ve kterém uživatel pracuje bez zásahu do kódu softwaru. Nevýhoda nastane ve chvíli, kdy uživatel přijde s možným vylepšením či nedostatkem aplikace. Sám bez přístupu ke zdrojovým kódům není schopen aplikaci ihned upravit pro své účely a musí se s požadavkem obrátit na vývojáře.

Další z věcí, určující podobu řešení je, způsob řešení problematiky analýzy různých druhů obrábění, přesněji různímu se počtu souvisle řízených os při obrábění. Například pro třiosé obrábění je potřeba zohlednit možnost použití přípravné funkce pro kruhovou interpolaci, která se v NC programech pro víceosá obrábění neobjeví. Je tak na místě rozhodnout, zda pro rozdílné druhy operací budou rozdílné skripty pro analýzu NC programů, či zda bude skript jeden s funkcemi řešícími jednotlivé úkony pro daný druh obrábění.

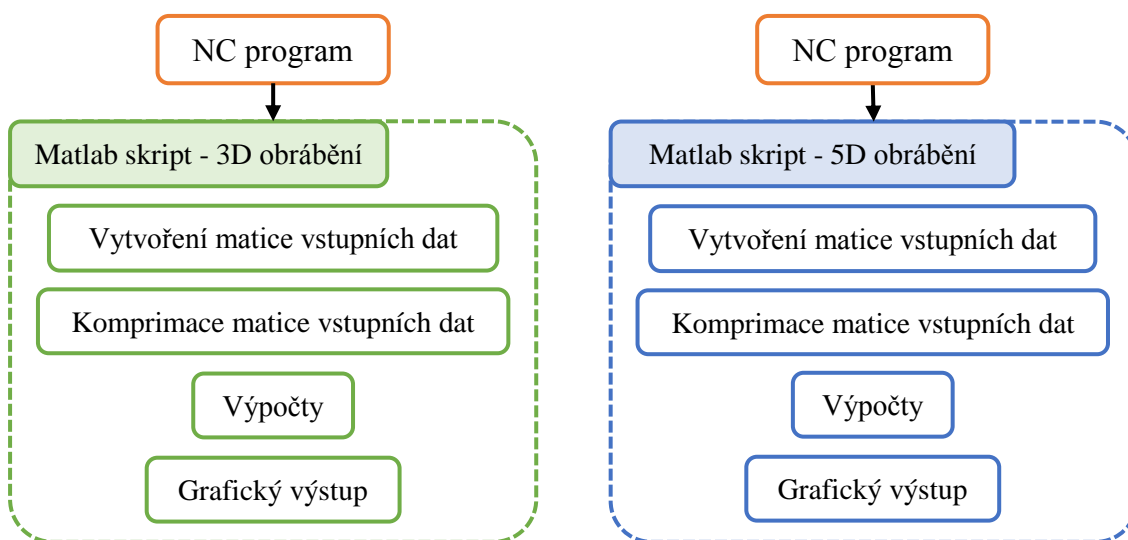
Pro samotnou výpočetní část se nabízí nejedno řešení mající zásadní vliv na výslednou podobu analyzačního softwaru. Na základě těchto tří hlavních parametrů, tedy podoby uživatelského prostředí, způsobu odbavení NC programu pomocí jednoho či více skriptů a podoby výpočetní části, byly rozmyšleny následující varianty prostředku pro analýzu NC programů.

- Varianta A:

V této variantě jejíž zjednodušené schéma je patrné z Obr. 6-1 má uživatel přístup ke dvěma skriptům, do kterých nahraje NC program a spustí analýzu. Není zde implementována funkce či jiný způsob pro rozpoznání, zda se jedná o NC program pro tří či víceosé obrábění. Uživatel proto musí znát kolika řízených os stroje je v daném NC programu využíváno a musí dle toho zvolit odpovídající skript. Program pro tříosé obrábění nechat odbavit skriptem pro tříosé obrábění, analogicky program pro víceosé obrábění nechat odbavit skriptem pro víceosé obrábění. Pro výpočty parametrů tato varianta využívá zkomprimované matice vstupních dat. Načtený NC program je před samotnými výpočetními úkony nahrán do proměnné upravené tak, že obsahuje pouze informace o použitých dráhových a pomocných funkcích a hodnoty souřadnic polohy nástroje. NC program je v podstatě převeden na program s pevnou délkou bloku. Hodnoty pro výpočty kýžených parametrů jsou volány ze zkomprimované matice a deklarované *maticeVysledna* kam jsou výsledky výpočtů ukládány.

Výhodou této varianty je oproti dalším variantám poměrná jednoduchost samotného skriptování způsobená odpadnutím potřeby vytvářet prostředí aplikace.

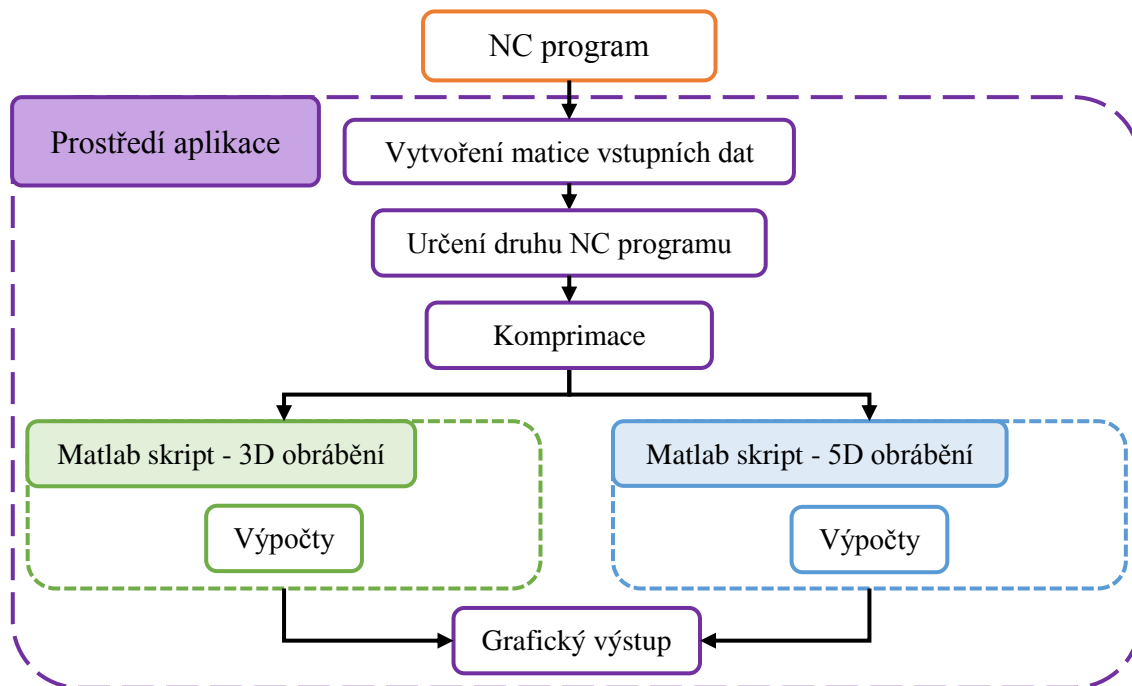
Nevýhodami je zjištěný čas celého výpočetního procesu a snadné provedení chyby samotným uživatelem. Oproti zbylým dvěma uvažovaným variantám byl výpočetní čas praktickým testem zjištěn jako delší v rámci přibližně jedné sekundy na 10 000 řádků NC programu. Nevýhodou je kladení důrazu na uživatelskou znalost práce se softwarem, prostředí není intuitivní a uživatel je nucen měnit některé parametry přímo v kódu skriptu, může tak jednoduše vzniknout problém způsobený nesprávnou změnou ve skriptu.



Obr. 6-1: Zjednodušené schéma varianty s využitím dvou skriptů s přímými uživatelskými přístupy s využitím zkomprimované matice pro výpočty

- Varianta B:

Hlavním rozdílem oproti předchozí variantě je použití aplikačního prostředí pro ovládání. Zásadou toho se uživateli práce se softwarem značně zjednoduší a předchází se chybám způsobeným nevhodnými změnami ve skriptech programu. Výpočetní část zůstává shodná s variantou „A“. Je založena na komprimaci načteného NC programu na matici formátu podobnému programům s pevnou délkou bloků a na volání hodnot pro výpočty z této zkomprimované matice a *maticeVysledna* do které jsou zároveň výsledky výpočtů ukládány. Schéma funkce varianty B je patrné na Obr. 6-2.

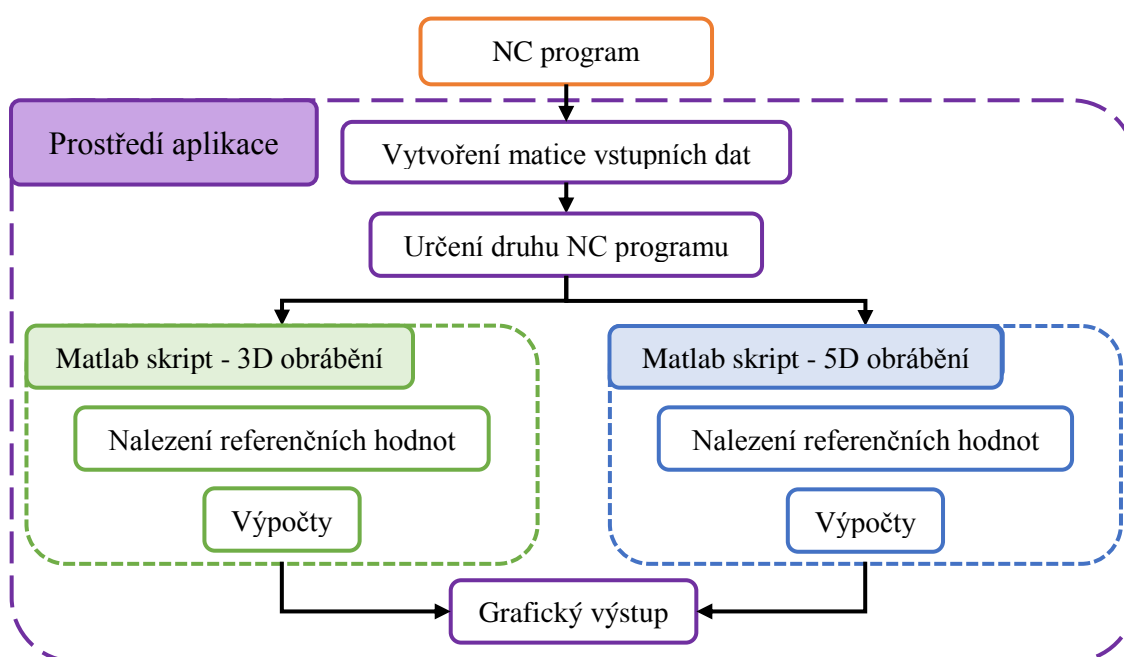


Obr. 6-2: Zjednodušené schéma varianty B s aplikačním prostředím využívajícím komprimované matice pro výpočty

- Varianta C:

Varianta „C“ představena schématem patrným z Obr. 6-3 je postavena na stejném základě jako předchozí varianta „B“, čili na používání aplikačního prostředí zajišťující intuitivnost při používání a nemožnost uživatele zasáhnout do kódů skriptů a tím znemožnit správný chod softwaru.

Odlišností oproti variantě „B“, je zavedení proměnných pro výpočetní úkony. U každého z bloků NC programu udávajícímu polohu nástroje jsou pod proměnnou se zvoleným názvem uloženy číselné části slov daného bloku. Dalšími deklarovanými proměnnými jsou předchozí hodnoty polohy nástroje a hodnoty vypočtených parametrů. Ve vzorcích pro výpočet parametrů je využíváno těchto deklarovaných proměnných namísto hodnot volaných ze zkomprimované matice a *maticeVysledna*. Varianta s postupným načítáním proměnných a okamžitým vyhodnocováním zabere dle provedených testů méně času než varianta s voláním hodnot ze zkomprimované *maticeZakladni*.



Obr. 6-3: Zjednodušené schéma varianty C s aplikačním prostředím využívajícím aktualizovaných proměnných pro výpočty

### 6.2.1 Výběr varianty:

Po zvážení výhod a nevýhod přinesených jednotlivými variantami byla optimální variantou zvolena varianta „C“ s programováním v prostředí Matlab. Již určitá znalost prostředí Matlab, jeho přístupnost a vhodná práce s proměnnými v podobě práce s maticemi rozhodly pro výběr tohoto programovacího nástroje. Varianta „C“ byla vybrána za optimální převážně díky zavedení programového prostředí aplikace zamezující uživateli zásah do chodu softwaru. Programovým prostředím disponuje i nevybraná varianta „B“. Vzhledem k delšímu výpočetnímu času tohoto konceptu byla upřednostněna varianta „C“, pracující s proměnnými načítanými z každého analyzovaného bloku NC programu namísto načítání proměnných pro výpočty ze zkomprimované matice.

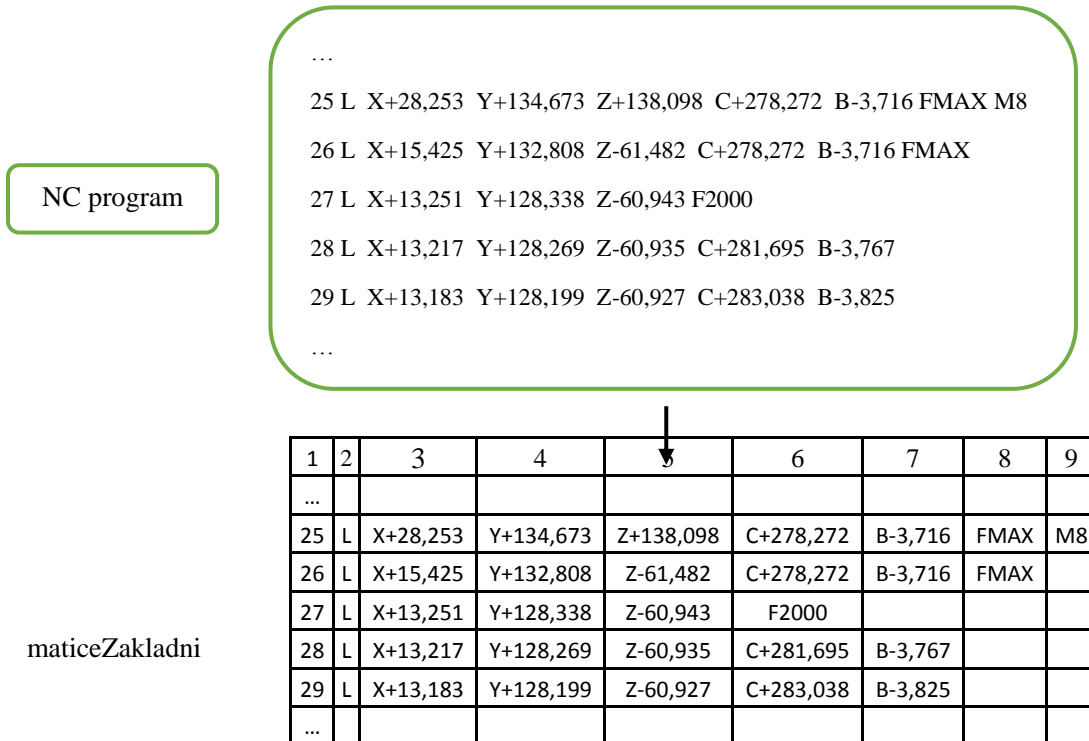


## 7 Vlastní zpracování

Následující část textu se bude zabývat podrobnějším popisem průběhu analýzy uživatelem zadaného NC programu. Spuštěním aplikace, výběrem souboru s obsahem NC programu a udáním příkazu pro započítání analýzy, se spustí dále popsany sled operací. Ten vede k vyzískání parametrů z NC programu a jejich zobrazení v podobě obarvené dráhy nástroje. Technolog může na základě těchto výstupů predikovat určité chování při obráběcím procesu a případnou změnou strategie obrábění například předejit znehodnocení povrchu materiálu, či zlepšit jeho kvalitu.

### 7.1 Načtení NC programu

Uživatel načte NC program pro analýzu standartním způsobem načítání a otevírání souborů pro Windows. Po kliknutí na tlačítko pro načtení NC programu se objeví klasické okno Windows průzkumníku. V tomto okně se uživatel dobere cesty k textovému souboru s NC programem určeným k analýze podobně jak je zvyklý otevírat soubory v jiných programech. Jím zvolený NC program je načten do vytvořené matice s názvem *maticeZakladni*. Bloky NC programu vyplňují řádky matice, sloupce matice jsou vyplňovány tak, že každý znak mezery znamená zápis předešlého textu před mezerou do určitého sloupce matice. První znak mezery v bloku zapíše text předcházející této mezeře do prvního sloupce, indikace druhé mezery v bloku znamená zápis textu nacházejícího se mezi první a druhou mezerou do sloupce druhého. Stejně tak tomu je i mezi druhou a třetí mezerou a tímto způsobem jsou jednotlivé bloky programu postupně načteny do řádků a sloupců *maticeZakladni*. Příklad načtení NC programu do *maticeZakladni* je patrný z Obr. 7-1.



Obr. 7-1: Převod NC programu na matici základní

## 7.2 Zjištění počtu řízených os v NC programu

Pětiosý frézovací stroj disponuje možností vzájemného pohybu až pěti řízených os současně. Stroj však nemusí využívat pohybu všech os. Pětiosý stroj se třemi lineárními a dvěma rotačními osami, může například využívat pouze pohybu lineárních os a odbavovat NC programy pro tříosé obrábění. Při využívání pouze lineárních pohybových os je poté potřeba analyzovat jiné parametry nežli v případě všech pěti dostupných os. Vzhledem k tomuto faktu je potřeba odlišit kolik říditelných os je využíváno v uživatelském analyzovaném NC programu.

NC program pro tříosé obrábění lze jednoznačně poznat užitím lineární interpolace. Další možností je nebo v případě, kdy byl polohovací otočně sklopný stůl natočen a aretován v poloze, ve které zůstane, zatímco bude probíhat obrábění pomocí tří lineárních os. Bylo-li tedy použito některé z funkcí udávajících natočení stolu, nebo v případě, že postprocesor, který NC program převáděl z CL dat, není naprogramován tak, že zajišťuje některou z těchto funkcí, je poloha rotačních os v kódu změněna na začátku NC programu a tato poloha os je po celou dobu obrábění nezměněna. To znamená, že jsou hodnoty natočení rotačních os v NC programu od prvotního natočení v celém kódu stejné. V tomto případě, kdy není naklopení otočně sklopného stolu definováno některou z příslušných funkcí, nastává určitá nevýhoda. Ta se projevuje potřebou zjistit, zda se někde dále v NC programu hodnoty rotačních os neliší od hodnot prvotně zjištěných. Je tak potřeba před dalšími kroky analýzy porovnat veškeré hodnoty naklopení rotačních os od prvotně zjištěných až po hodnoty na konci programu. Tento proces může u obsáhlých NC programů (statisíce bloků programu) zvýšit čas zpracování požadavků.

Při čtyřosém obrábění se využívá kombinace pohybů tří lineárních a pouze jedné rotační osy. Jedna z rotačních os je při obrábění aretována v určené poloze a hodnota jejího natočení se po dobu obrábění nemění. Natočení druhé rotační osy je proměnné. Díky využití alespoň jedné z rotačních os je potřeba analyzovat parametry shodné s parametry analyzovanými pro pětiosé obrábění. Lze tak zjednodušeně říci, že čtyřosé obrábění je pouze jinou formou obrábění pětiosého. Analýza parametrů proběhne, po splnění podmínky změny hodnoty natočení alespoň jedné z rotační osy více než jednou, totožným způsobem jako pro obrábění pětiosé.

Při pětiosém obrábění mohou nastat dvě různé situace, a to zda bylo použito funkce M128 či nikoliv. Nalezením použití funkce M128 je jednoznačně určeno pětiosé obrábění. Pokud analyzovaný program neobsahuje funkci M128 a zároveň je splněna podmínka změny hodnoty natočení alespoň na jedné z rotačních os více než jednou, je zřejmé, že se jedná o pětiosé obrábění. Analýzu je potřeba provést pro parametry, které jsou v tomto případě důležité a jsou povětšinou rozdílné od parametrů analyzovaných při tříosém obrábění.

Pro samotné zjištění druhu obrábění je využito funkce znázorněné v Příloha VII a Příloha VIII, která v načtené matici *maticeZakladni* pomocí cyklu postupně vyhledává v každém řádku matice znaky nebo kombinaci znaků „L, CC, M128“. S nalezením některého ze zmíněných znaků je spuštěna rozhodovací funkce určující druh obrábění. V případě zaznamenání kombinace znaků „M128“ vyhledávací cyklus končí s výstupem, že je v programu použita funkce M128 a jedná se tak o víceosé obrábění. Přípravná funkce udávající střed kruhové interpolace značená znaky „CC“ jednoznačně poukazuje na použití kruhové interpolace a jedná se o NC program pro tříosé obrábění. Zaznamenáním přípravné funkce lineární interpolace je spuštěn cyklus pro prohledávání sloupců stejného řádku matice, na kterém se nachází nalezená lineární interpolace. Cyklus

zaznamenává hodnoty natočení rotačních os aktuálně analyzovaného bloku programu a tyto hodnoty porovnává s hodnotami natočení v předchozím bloku. Indikací změny natočení alespoň jedné z rotačních a absencí nalezení funkce M128 os je výstupem funkce informace o zjištění pětiosého obrábění bez funkce M128.

### 7.3 Výpočetní část

Na základě informace o zjištěném druhu NC programu je spuštěn buďto skript pro analýzu tříosého nebo skript pro analýzu víceosého obrábění. Jedná se o dva různé skripty, ve kterých jsou za pomoci cyklu provedeny výpočetní úkony postupně pro každý blok NC programu. K výpočetním úkonům je využíváno proměnných načítaných z *maticeZakladni*. Výsledky výpočtů jsou zaznamenány do nově vzniklé matice *maticeVysledna* a načteny do proměnných využívaných v dalších krocích cyklu.

Koncept funkce obou skriptů je stejný, samotné provedení se pak v některých ohledech liší. Nejprve jsou nalezeny první platné hodnoty polohy nástroje, poté je spuštěn cyklus k provedení analýzy NC programu. Skončením cyklu se v hlavním okně aplikace zpřístupní menu s možnostmi výběru parametrů pro zobrazení. Detailněji vysvětlený průběh cyklů obou skriptů bude popsána dále v textu, zde následuje obeznámení s dílčími úkony a funkcemi používanými v obou skriptech.

#### Načítání hodnot polohy nástroje:

Zjišťování hodnot polohy nástroje, zajišťuje cyklus vyhledávající na druhé pozici bloku NC programu funkce dráhové změny. Ve druhém sloupci matice základní je tak vyhledáván znak „L“ u víceosého obrábění a znaky „L, CC, C“ u tříosého obrábění. Nalezením některého ze znaků cyklus pokračuje v načítání hodnot následující sloupců příslušného řádku matice. V případě, kdy se v aktuálně prohlíženém sloupci nachází některý ze znaků X, Y, Z, B, C, pro víceosé obrábění nebo znaků X, Y, Z pro tříosé obrábění, je použito funkce k úpravě nalezené hodnoty.

#### Funkce pro úpravu načtené hodnoty:

Funkce obsahuje regulární výraz sloužící k úpravě nalezeného obsahu do formátu vhodného pro nadcházející výpočetní operace. Z načteného výrazu je potřeba odstranit písmeno značící příslušnou osu, ponechat matematické znaky „+“ či „-“ a v případě NC programu s čárkou jako znakem pro oddělení desetinných míst, nahradit znak čárky tečkou. Skriptovací jazyk Matlab využívá pro oddělení desetinných míst právě tečku. Upravený výraz je deklarován do proměnné svým názvem shodné s pohybovou osou stroje, která byla na dané pozici matice nalezena. Obr. 7-2 naznačuje popsany proces.

Analyzovaný Blok NC  
programu

28 L X+13,217 Y+128,269 Z-60,935 C+280,695 B-3,767

Třetí sloupec  
maticeZakladni

X+13,21

+13.217

Zápis do proměnné X

Obr. 7-2: Způsob funkce regulárního výrazu pro upravení nalezených rozměrových slov do tvaru vhodného k početním operacím

### **Víceosé obrábění:**

Na začátku skriptu je nejprve deklarována *maticeZakladni* převzatá z předchozích operací. Následně je spuštěn cyklus vyhledávací funkce M126. Nalezením dané funkce cyklus končí s informací o jejím použití, v opačném případě s informací o nepoužití dané funkce. Další spuštěný cyklus má za cíl nalézt počáteční hodnoty souřadnic jednotlivých os. Je k tomu využíváno popsaného principu načítání hodnot polohy nástroje a funkce pro úpravu načtených hodnot. Jsou deklarovány nové proměnné s názvem „předchozí(označení osy)“ bez interpunkce, například „predchoziX“. Význam prvních hodnot polohy nástroje tkví v jejich použití v prvním kroku následujícího cyklu.

Další cyklus tohoto skriptu již zajišťuje docílení konkrétních výsledků analýzy a jeho popis je jedním z témat nadcházející kapitoly.

### **Třiosé obrábění:**

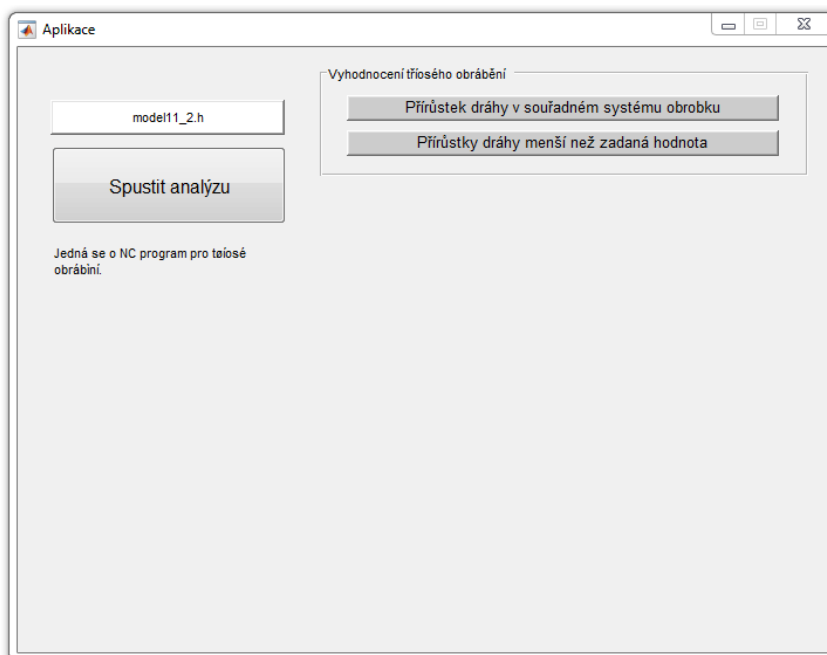
Skript spuštěný při zjištění NC programu pro třiosé obrábění je podobný popsanému skriptu pro víceosé obrábění.

I zde je na počátku deklarována *maticeZakladni* převzatá z předchozích operací. Vzhledem k absenci využití rotačních os u třiosého obrábění odpadá možné použití funkce M126. Oproti skriptu pro víceosé obrábění se tak přechází rovnou k načtení prvních hodnot souřadnic z NC programu. Hodnoty jsou deklarovány obdobným způsobem a je započat cyklus pro vyhodnocení parametrů.

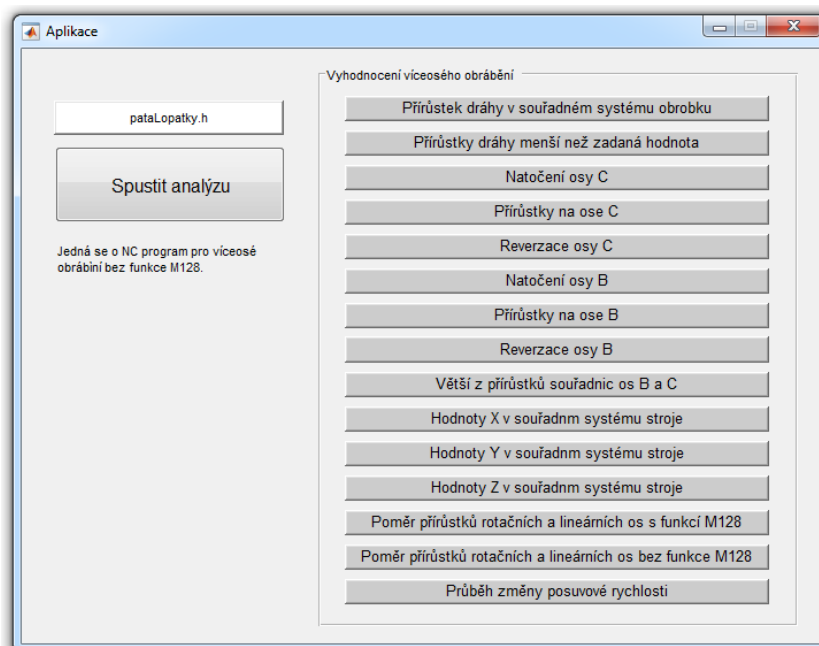
## **7.4 Zobrazení výsledků**

Vypočtené hodnoty pro jednotlivé parametry jsou zapisovány do sloupců zmíněné matice *maticeVysledna* odkud jsou v případě potřeby volány jako vstupní hodnoty pro zobrazení výsledků. Výsledky jsou interpretovány obarvením dráhy nástroje v závislosti na uživatelském výběru a nastavení.

Dokončením výpočetní části se zobrazí v hlavním okně aplikace menu s možnostmi zobrazení výsledků tříosého (Obr. 7-3) či víceosého (Obr. 7-4) obrábění v závislosti na analyzovaném NC programu. Menu obsahuje tlačítka s názvy odkazujícími na vyhodnocené parametry. Stisknutím tlačítka je udán příkaz pro zobrazení vyhodnocení daného parametru a otevřeno příslušné okno s vykreslenou dráhou nástroje. U různých parametrů může být stěžejní rozdíl v preferencích na podobu mapování dráhy nástroje, takové rozdíly budou popsány dále v textu. V této podkapitole budou blíže popsány čtyři případy zobrazovacích oken využívaných k vykreslení výsledků a práci s nimi.



Obr. 7-3: Okno pro výběr parametrů k zobrazení tříosého obrábění

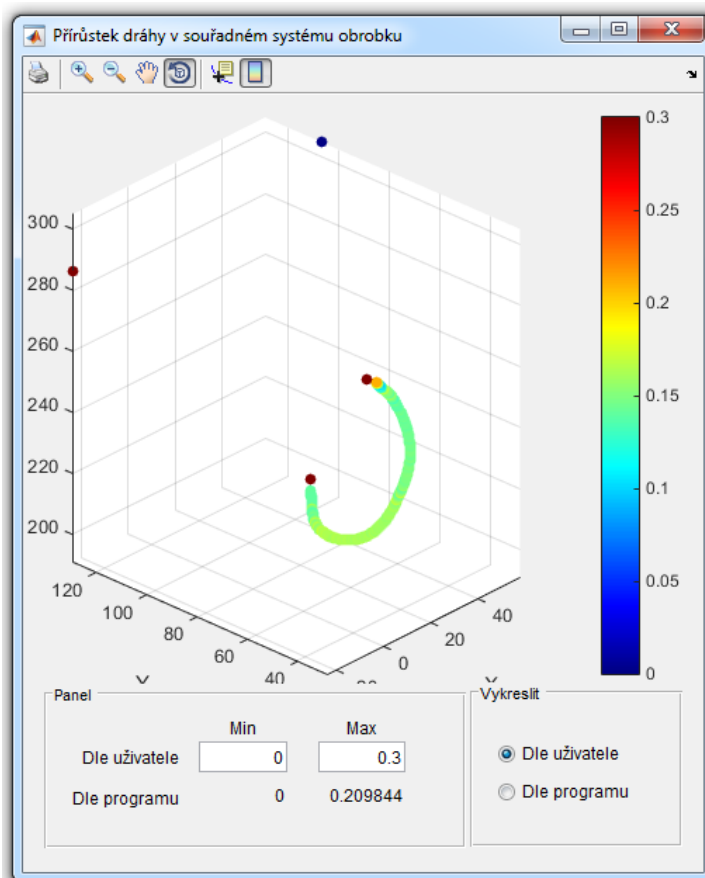


Obr. 7-4: Okno pro výběr parametrů k zobrazení víceosého obrábění

### 7.4.1 Mění se rozsah

Jedná se o nejčastěji používané okno pro zobrazení výsledků analýzy. Vykreslená dráha nástroje je obarvena pomocí barevné škály od tmavě modré po tmavě červenou. Hodnoty, podle kterých je zbarvení provedeno jsou uloženy v *maticeVysledna*. Rozsah obarvení po zmáčknutí tlačítka pro zobrazení výsledků určitého parametru je od nejnižší hodnoty, tedy obarvené tmavě modrou po nejvyšší hodnotu zbarvenou tmavě červenou barvou. Maximální a minimální hodnota je nalezena ve sloupci matice obsahující výsledky parametru pomocí k tomu určenému příkazu. Ostatním hodnotám je přiřazena barva dle pozice zaujaté na intervalu od minimální po maximální hodnotu a tím přiřazené barvě pro danou pozici. Přibližné přiřazení hodnot k barvám je patrné vedle dráhy nástroje na takzvaném „colorbaru“. Prvotně zobrazená dráha s rozsahem od minimální po maximální hodnotu výsledků a dle něj vytvořené barevné škály může být nicneříkající. Většina výsledků se může pohybovat v určitém rozmezí hodnot a okrajové hodnoty výrazně vybočující od dané většiny tak zkreslují výsledné zobrazení. Obarvená dráha je poté jednodušší bez možnosti spatření kýžených výsledků. Z toho důvodu je potřeba eliminovat z rozsahu extrémně vybočující hodnoty. Vznikl proto nástroj určený ke změně rozsahu dle uživatele.

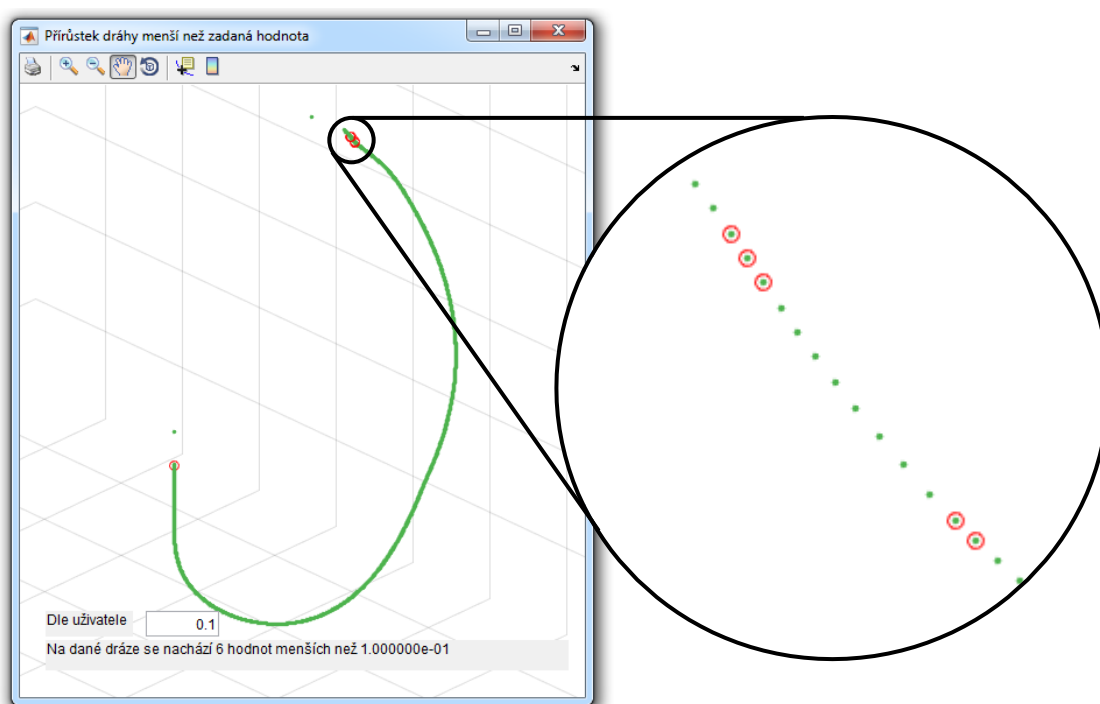
V okně s vykreslenou drahou nástroje se nachází dvě textová pole pro zadání hodnot k určení rozsahu viditelná na Obr. 7-5. Zároveň funkce nalezne nejbližší vyšší výsledek od uživatelem zadané minimální hodnoty a nejbližší nižší hodnotu od uživatelem zadaného maxima. Mapování dráhy nástroje se aktualizuje podle softwarem nalezených nebo uživatelem zadaných hodnot dle uživatelského výběru.



Obr. 7-5: Příklad okna pro zobrazení výsledků určitého parametru

## 7.4.2 Hledání hodnot menších než zadaná hodnota

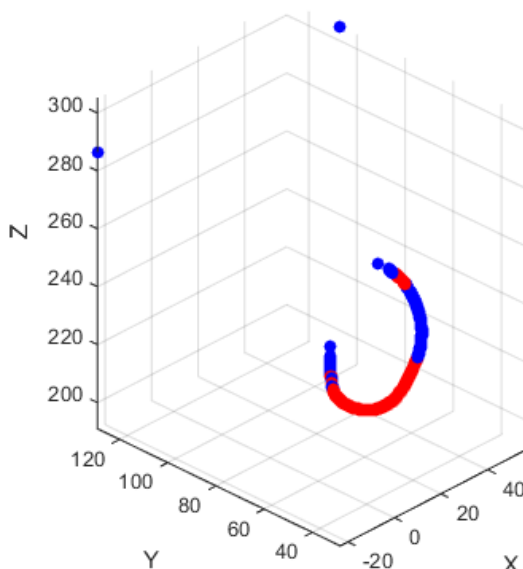
V některých případech může být k užítku krom znalosti průběhu změny parametru také informace o četnosti specifických hodnot, kupříkladu hodnot menších než uživatelem zadaná hodnota. Využití lze nalézt zejména u parametrů, jejichž hodnota nemůže být menší než 0 a uživatele se zajímá o počet hodnot nacházejících se v jím specifikovaném intervalu. Lze říci že se jedná o modifikovaný případ změny rozsahu, kdy je minimální hodnota daná a uživatel mění vrchní maximum. Pro takové účely bylo vytvořeno okno patrné na Obr. 7-6 se zobrazenou dráhou nástroje a textovým polem k zadání číselné hodnoty. Ve sloupci *maticeVysledna* s obsahem výsledků analyzovaného parametru jsou následně vyhledávány hodnoty menší či rovny zadané hodnotě. Na tenkou zelenou čarou vykreslenou dráhu nástroje jsou promítnuty červeně obarvená místa. Ta značí bloky NC programu, ke kterým se vztahuje nalezená hodnota. Počet takových hodnot je zaznamenán a vypsán uživateli. Vzhledem k výpočetní náročnosti vykreslování obarvených míst, se nedoporučuje zadávat příliš vysoké hodnoty pro vyhledání.



Obr. 7-6: Zobrazovací okno pro hledané parametry menší než uživatelem zadaná hodnota

### 7.4.3 Reverzace os

Funkce pro zjištění změny směru pohybu strojních os je implementována pouze na rotační osy stroje. Pro zobrazení reverzace je využito mapování dráhy nástroje dvěma barvami, kdy modrá značí směr rotace osy od kladného směru a červená směr rotace osy do záporného směru viz Obr. 7-7.

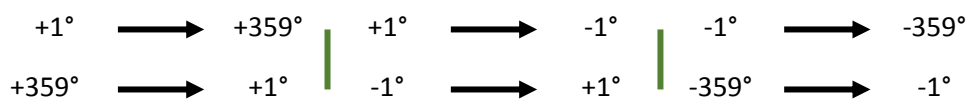


Obr. 7-7: Zobrazení mapování reverzace rotační osy

Pro případy NC programů, u kterých není definována funkce M126 a zároveň není tovární nastavení stroje takové, že přejíždí do následujících poloh o nejkratší vzdálenost, lze změnu směru pohybu indikovat porovnáváním hodnot natočení. Přesněji porovnáváním předchozí a aktuální hodnoty natočení. V případě, kdy je aktuální hodnota natočení větší či rovna hodnotě předchozí, jedná se o pohyb rotační osy do kladného směru. V opačném případě se jedná o rotaci do směru záporného. Výsledky jsou zobrazeny popsáním způsobem.

Při spuštění funkce M126 či na stroji s nastaveným přejezdem rotačních os o nejkratší vzdálenost je situace komplikovanější. Je zde potřeba uvážit možnost přejezdu přes nulovou hodnotu natočení. V předchozím případě takováto situace nenastala. Stroj z počáteční polohy  $+10^\circ$  do cílové polohy  $+350^\circ$  vykonal pohyb o velikosti  $350^\circ - 10^\circ$ , tedy  $340^\circ$ . Se spuštěnou funkcí M126 je pojezd roven nejkratší vzdálenosti, kterou lze dosáhnout nadcházející polohy (součet počáteční polohy  $+10^\circ$  s absolutní hodnotou rozdílu cílové polohy  $350^\circ$  a  $360^\circ$ ), tedy  $+20^\circ$ .

Interval hodnot natočení je  $(-360^\circ, 360^\circ)$ . V NC programech se tak může objevit šest různých možností natočení zobrazených na Obr. 7-8 překračujících nulovou hodnotu.



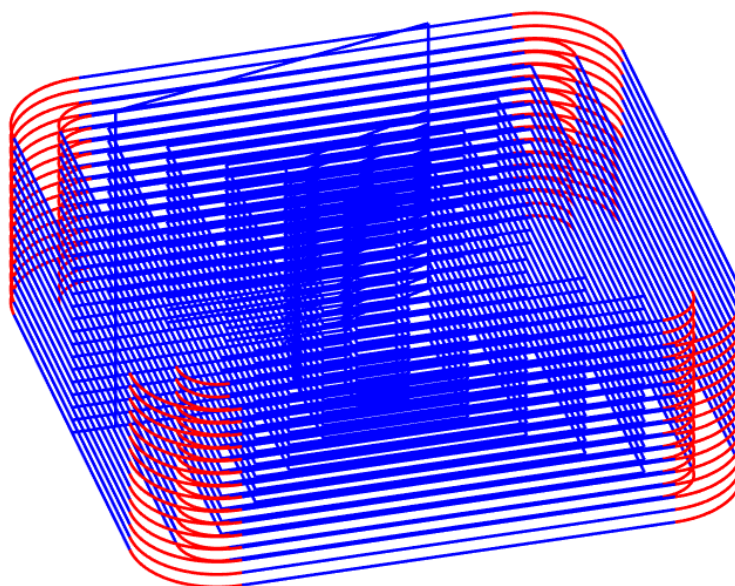
Obr. 7-8: Případy přechodu hodnot natočení přes nulovou polohu osy

S ohledem na to byla vytvořena funkce pro rozpoznání jednotlivých případů a učinění výpočtu velikosti přírůstků a směru pohybu osy. Funkce je znázorněna v Příloha XXXII.



#### 7.4.4 Zobrazení kruhové interpolace

Zobrazení kruhových interpolací je potřebné pro správné a reálné promítnutí dráhy nástroje tříosého obrábění. Bez jejich vykreslení může mít uživatel problémy s představením si dráhy obrábění a s vyčtením některých závěrů z analýzy. Důležitý význam vykreslení kruhových interpolací je také pro snadné zjištění, zda postprocesor kruhové dráhy naprogramované v CAM systému proložil lineárními interpolacemi či použil funkce řídicího systému pro kruhové interpolace. Příklad vykreslení dráhy nástroje definované NC programem pro tříosé obrábění je patrný na Obr. 7-9. Pro zobrazení tříosých drah jsou lineární interpolace vykreslovány modrou barvou a kruhové interpolace barvou červenou.



Obr. 7-9: Zobrazení dráhy nástroje pro tříosé obrábění

## 8 Cyklus pro vyhodnocování parametrů

Následující kapitola si klade za cíl blíže popsat skripty s výpočty vedoucími ke kýženým výsledkům, popisem těchto výpočtů a případným přínosem znalosti analyzovaných parametrů na optimalizaci obráběcího procesu.

### 8.1 Víceosé obrábění

Před popisem samotného průběhu analýzy NC programů pro obrábění využívající více než tři řízených os je potřeba přesněji rozvést problematiku generování NC programů. Poloha nástroje může být v NC programech pro řídicí systémy Heidenhain iTNC 530 díky funkci M128 definována relativně vůči obrobku, či může být bez této funkce definována v souřadném systému stroje. NC program tedy nemusí mít pro obrobení jednoho dílce na stejném stroji s daným řídicím systémem vždy stejnou podobu. Pro výsledky analýzy některých parametrů je potřeba znát například velikost přírůstků relativní dráhy nástroje vůči obrobku. V jiném případě je potřeba znát hodnoty velikosti reálných pozic os stroje. Je tedy důležité znát polohy referenčního bodu nástroje jak v souřadném systému stroje, tak i v souřadném systému obrobku.

Z naprogramované strategie obrábění obsahující informace o nástroji, jeho dráze a technologických podmínkách v CAM systému jsou nejprve generována CL data. Jedná se o textový soubor obsahující zmíněné informace o nástroji, jeho poloze a dalších technologických datech navolených v CAM. Obecně v CAM systémech nebývá definován použitý obráběcí stroj. Při tvorbě obráběcí strategie tak obrobek zůstává statický a pohyb koná pouze nástroj. V případě obrábění probíhajícím na pětiosém frézovacím stroji se dvěma rotačními osami v nástrojové větvi potom není potřeba transformace souřadnic polohy nástroje. Nástroj je schopen dosáhnout shodných poloh a pohybů jako v CAM. V případě, kdy se však nachází alespoň jedna z rotačních os víceosého frézovacího stroje v obrobkové větvi, není samotný nástroj schopen dosahovat shodných poloh jako v CAM. Natočení v takových případech vykonává namísto nástroje obrobek. Polohu nástroje danou CL daty je proto potřeba transformovat v souladu s konáním daného rotačního pohybu obrobku. Informace o konkrétním stroji a řídicím systému jsou do procesu tvorby NC programu vloženy díky takzvanému postprocesoru. Ten běžně bývá součástí CAM systémů nebo se může jednat o samostatné programy. Jeho funkcí je překlad obecných CL dat na NC program, pro již konkrétní stroj s řídicím systémem. Postprocesor v sobě má obsažené informace o kinematice stroje a je článkem v procesu CAD-CAM-stroj zajišťujícím případnou transformaci souřadnic.

Analyzační software pracuje s již vytvořenými NC programy, ty mohou mít pro kombinaci stroje MAS MCVL 1000 s otočně sklopným stolem a řídicím systémem Heidenhain iTNC 530 dle použitého postprocesoru různé podoby. Jak již bylo zmíněno, řídicí systém na daném stroji disponuje pomocnou funkcí M128 sloužící pro přeložení souřadnic polohy nástroje až samotným řídicím systémem. Ke generování NC programů obsahujících funkci M128 je potřeba odpovídající postprocesor. Použitím jiného postprocesoru lze zajistit generování NC programu s definovanou polohou nástroje v souřadném systému stroje.

Na začátku této podkapitoly bylo zmíněno, že pro potřeby analyzačního softwaru budou potřebné hodnoty souřadnic jak převzatých z CL dat (relativní poloha nástroje vůči obrobku, NC program obsahuje funkci M128), tak postprocesorem transformovaných souřadnic polohy nástroje. Podrobnosti ohledně transformace souřadnic mezi oběma souřadnými systémy lze dohledat viz lit. [1].

Transformační matice natočení [11]:

$$R_{Y(B)} = \begin{bmatrix} \cos B & 0 & \sin B & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ -\sin B & 0 & \cos B & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad R_{Z(C)} = \begin{bmatrix} \cos C & -\sin C & 0 & 0 \\ \sin C & \cos C & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Vektory polohy nástroje:

$$XYZ_{s_{M128}} = \begin{bmatrix} X_{M128} \\ Y_{M128} \\ Z_{M128} \\ 1 \end{bmatrix} \quad XYZ_{real} = \begin{bmatrix} X_{real} \\ Y_{real} \\ Z_{real} \\ 1 \end{bmatrix}$$

### **Transformace NC programu se souřadnicemi v souřadném systému obrobku:**

Transformací takového NC programu jsou získány souřadnice polohy nástroje v souřadném systému stroje. Vstupními souřadnicemi jsou souřadnice načtené z NC programů s funkcí M128, čili  $XYZ_{s_{M128}}$ .

$$XYZ_{s_{M128}} = R_{Y(B)} \cdot R_{Z(C)} \cdot XYZ_{real} \quad (1)$$

$$XYZ_{s_{M128}} = \begin{bmatrix} \cos C \cos B & \sin C \cos B & -\sin B & 0 \\ -\sin C & \cos C & 0 & 0 \\ \cos C \sin B & \sin C \sin B & \cos B & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} X_{real} \\ Y_{real} \\ Z_{real} \\ 1 \end{bmatrix} \quad (2)$$

### **Transformace NC programu se souřadnicemi v souřadném systému stroje:**

Transformací takového NC programu jsou získány souřadnice polohy nástroje v souřadném systému obrobku. Vstupními souřadnicemi jsou souřadnice z CL dat transformované postprocesorem.

$$XYZ_{real} = (R_{Y(B)} \cdot R_{Z(C)})^{-1} \cdot XYZ_{s_{M128}} \quad (3)$$

$$XYZ_{real} = \begin{bmatrix} \cos C \cos B & -\sin C & \cos C \sin B & 0 \\ \sin C \cos B & \cos C & \sin C \sin B & 0 \\ -\sin B & 0 & \cos B & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} X_{M128} \\ Y_{M128} \\ Z_{M128} \\ 1 \end{bmatrix} \quad (4)$$

Získané souřadnice referenčních poloh nástroje jsou shodné se souřadnicemi polohy nástroje CL dat. Jedním z důvodů potřeby znalosti těchto souřadnic je jejich použití pro vykreslení bodů dráhy nástroje, na které jsou pomocí jejího obarvení zobrazovány výsledky analýzy. Další význam znalosti těchto souřadnic bude upřesněn dále v této kapitole.

Po přiblížení rozdílu mezi NC programy se souřadnicemi definovanými v souřadném systému stroje či obrobku lze lépe popsat průběh analyzačního cyklu pro víceosé obrábění. Zároveň je potřeba rozšířit v předchozí kapitole zprostředkovaný popis funkce skriptu pro víceosé obrábění o detailnější popis deklarace proměnných před započítáním analyzačního cyklu. Po cyklu nalézajícím první hodnoty polohy nástroje následuje rozhodovací podmínka (Příloha XXV) určující deklaraci proměnných dle použití či nepoužití funkce M128 v NC programu.

Jestliže v NC programu nebylo zaznamenáno použití funkce M128 jsou nalezené hodnoty deklarovány do proměnných s názvy  $X_{real}$ ,  $Y_{real}$ ,  $Z_{real}$ ,  $C$ ,  $B$  a proběhne funkce pro transformaci souřadnic s cílem získat souřadnice polohy nástroje v souřadném systému obrobku. Transformované souřadnice jsou deklarovány do proměnných s názvy  $X_{M128}$ ,  $Y_{M128}$ ,  $Z_{M128}$ .

Zjištěním použití funkce M128 nastává průběh opačný. Zjištěné hodnoty jsou deklarovány do proměnných s názvy  $X_{M128}$ ,  $Y_{M128}$ ,  $Z_{M128}$ ,  $C$ ,  $B$  a proběhne funkce s opačnou transformací. Hodnoty polohy nástroje v souřadném systému stroje jsou deklarovány do proměnných s názvy  $X_{real}$ ,  $Y_{real}$ ,  $Z_{real}$ .

### 8.1.1 Cyklus analyzující parametry víceosého obrábění

Princip načítání hodnot polohy nástroje je shodný s výše popsáním způsobem (viz podkapitola 7.3). Po načtení hodnot polohy nástroje následuje podmínka řídicí se druhem analyzovaného NC programu. V těle podmínky probíhá deklarace načtených hodnot polohy nástroje do proměnných, jejich transformace, deklarace transformovaných hodnot do proměnných a zápis proměnných do *maticeVysledna*.

Základní hodnoty, pro výpočty analyzovaných parametrů jsou deklarovány a následují výpočty parametrů.

#### Poloha nástroje v souřadném systému obrobku

Jedná se o načítané hodnoty polohy nástroje pro NC programy s funkcí M128 či transformované hodnoty ze souřadnic polohy nástroje v souřadném systému stroje. Jde tedy o proměnné  $X_{M128}$ ,  $Y_{M128}$ ,  $Z_{M128}$ .

#### Přírůstky dráhy v souřadném systému obrobku

Jedná se o délkový parametr určující vzdálenost mezi dvěma body v souřadném systému obrobku slouženou z dílčích pohybů lineárních os stroje. Jde tedy o dráhu, kterou urazí nástroj v průběhu obrábění mezi dvěma polohami definovanými dvěma po sobě jdoucími bloky NC programu. Velmi nízké hodnoty tohoto parametru případný shluk většího množství takových hodnot může značit oblast s možným zhoršeným povrchem obrobku.

Dílčí přírůstky dráhy v jednotlivých lineárních osách:

$$prirustekX_{M128} = X_{M128} - predchoziX_{M128} [mm] \quad (5)$$

$$prirustekY_{M128} = Y_{M128} - predchoziY_{M128} [mm] \quad (6)$$

$$prirustekZ_{M128} = Z_{M128} - predchoziZ_{M128} [mm] \quad (7)$$

Prostorová vzdálenost mezi dvěma po sobě jdoucími polohami nástroje:

$$prirustekDrahy_{M128} = \sqrt{(prirustekX_{M128})^2 + (prirustekY_{M128})^2 + (prirustekZ_{M128})^2} \quad (8)$$

#### Hodnota přírůstků dráhy menší než zadaná hodnota

Tento parametr byl již nastíněn v podkapitole zabývající se zobrazováním výsledných hodnot, konkrétně v popisu okna zobrazujícího hodnoty menší než uživatelem zadané maximum (viz. 7.4.2). Hodnoty porovnávané s uživatelem zadanou hodnotou vycházejí z parametru přírůstků dráhy. Význam zobrazení tohoto parametru tkví v jednoduché

možnosti zjištění výskytu velmi malých hodnot přírůstků dráhy, které mohou indikovat nevhodně generovanou dráhu nástroje.

### **Přírůstky souřadnic a zjištění reverzace rotačních os**

V případě detekce použití funkce M126 je spuštěna funkce znázorněná v Příloha XXXII s výstupy *prirustekB* a *zapisReverzaciB*. Stejně funkce s rozdílnými vstupními hodnotami je použito pro zjištění reverzací a velikostí přírůstků na ose „C“.

Pro NC programy bez funkce M126 je reverzace řešena porovnáním přírůstků po sobě jdoucích bloků NC programu. Tedy hodnot aktuálního natočení s hodnotami předchozího natočení.

Výpočet přírůstků rotačních os pro NC programy bez funkce M126:

$$prirustekB = |B - predchoziB| [^\circ] \quad (9)$$

$$prirustekC = |C - predchoziC| [^\circ] \quad (10)$$

### **Porovnání rotačních přírůstků**

Do proměnné *vetsiPrirustekRotOs* je zapsána větší z hodnot přírůstků rotačních os, tedy větší z hodnot *prirustekC* nebo *prirustekB*. Jde o parametr určující, která z rotačních os se v daném bloku více podílí na vykonané dráze nástroje.

### **Poloha nástroje v souřadném systému stroje (Reálné polohy lineárních os na stroji)**

Jedná se o načítané hodnoty polohy nástroje transformované postprocesorem či o hodnoty transformované ze souřadnic polohy nástroje v souřadném systému obrobku. Jde tedy o proměnné *X\_real*, *Y\_real*, *Z\_real*.

### **Přírůstek skutečného pohybu lineárních os stroje**

Hodnoty skutečných pohybů vykonaných na lineárních osách stroje mezi dvěma po sobě jdoucími polohami nástroje:

$$prirustekX\_real = X\_real - predchoziX\_real [mm] \quad (11)$$

$$prirustekY\_real = Y\_real - predchoziY\_real [mm] \quad (12)$$

$$prirustekZ\_real = Z\_real - predchoziZ\_real [mm] \quad (13)$$

### **Přírůstek dráhy v souřadném systému obrobku**

Jedná se o délkový parametr určující vzdálenost mezi dvěma body v souřadném systému stroje. Jde o dráhu, kterou ve skutečnosti urazí nástroj v průběhu obrábění mezi dvěma následujícími polohami nástroje. Velmi nízké hodnoty tohoto parametru případný shluk většího množství nízkých hodnot může značit oblast náchylnou na případný zhoršený povrch obrobku.

$$prirustekDrahy\_real = \sqrt{(prirustekX\_real)^2 + (prirustekY\_real)^2 + (prirustekZ\_real)^2} \quad (14)$$

### Poměr rotačních a lineárních přírůstků v souřadném systému stroje

Udává, zda bylo pro přejetí nástroje do následující polohy více využíváno rotačních či lineárních os stroje. Případy, ve kterých velikostně dominují přírůstky natočení rotačních os oproti přírůstkům tvořeným lineárními pohyby, jsou zajímavé pro sledování vzhledem k dopadu tohoto parametru na následné změny posuvové rychlosti.

Parametr udávající poměr využití rotačních a lineárních pohybů os stroje:

$$pomerPrirustkuRotLinOS\_real = \frac{vetsiPrirustekRotOs}{prirustekDrahy\_real} [^\circ /mm] \quad (15)$$

### Posuvová rychlost

Při pomnutí faktu využití rozběhových a doběhových funkcí pohonů jsou řídicí systémy zpravidla schopny dodržet velikost výsledné posuvové rychlosti při obrábění využívající pouze lineárních os. Řídicí systém rozdělí velikosti posuvových rychlostí jednotlivých lineárních os způsobem vedoucím k dodržení předepsané posuvové rychlosti. V CAM systémech zvolené posuvové rychlosti však nejsou dodrženy při víceosém obrábění. Řídicí systémy pro určení posuvových rychlostí jednotlivých strojních os obecně nepočítají s parametrem velikosti poloměru rotace referenčního bodu nástroje od pomyslného průsečíku rotačních os. Řídicí systémy k určení velikostí posuvových rychlostí jednotlivých strojních os využívají podmínky dosažení následující polohy nástroje všemi osami stroje současně. [1]

Pro potřeby predikce posuvových rychlostí je tak zapotřebí zjistit, které ose stroje trvá pohyb pro dosažení následující polohy nástroje nejdelší dobu. K tomu je zapotřebí vypočítat čas pohybu konaný lineárními osami a poté časy rotačních os.

Pro výpočet času pohybu lineárních os je zapotřebí znát přírůstek dráhy mezi dvěma bloky NC programu v souřadném systému stroje (proměnná *prirustekDrahy\_real*) a posuvovou rychlost. Posuvová rychlost pro lineární osy je ve většině případů zadávána v jednotkách milimetrů za minutu [mm/min].

Čas pohybu lineárních os do následující polohy nástroje:

$$t_{Lin} = \frac{prirustekDrahy\_real}{f} [min] \quad (16)$$

Posuvovou rychlost pro rotační osy je vzhledem k jejich zadávání ve stupních potřeba přepočítat na úhlovou rychlost dle vztahu:

$$\omega = f \cdot k [mm/min] \quad (17)$$

Ve vztahu 17 figuruje koeficient *k* sloužící pro přepočet posuvové rychlosti na úhlovou rychlost. Jedná se o parametr různící se dle nastavení konkrétního stroje. K hodnotě koeficientu se lze dobrat změřením času potřebného pro interpolaci všech strojních os. Pro tuto práci byla hodnota koeficientu převzata z literatury [1].

Čas pohybu rotační os pro dosažení následující polohy nástroje lze pak vypočítat dle vztahů:

$$tC = \frac{\text{prirustek}C}{\omega} \text{ [min]} \quad (18)$$

$$tB = \frac{\text{prirustek}B}{\omega} \text{ [min]} \quad (19)$$

Porovnáním vypočtených časů je nalezena osa s nejdelším časem pohybu. Pro splnění podmínky dosažení koncového bodu polohy nástroje všech os ve stejný čas musí být ostatní osy stroje zpomaleny dle nejpomalejší osy. Vztah pro zjištění nejvyššího z časů:

$$tMax = \max(tLin, tC, tB) \text{ [min]} \quad (20)$$

Přepočtená posuvová rychlost:

$$\text{posuv} = \frac{\text{prirustkyDrahy}_M128}{tMax} \text{ [mm/min]} \quad (21)$$

Predikcí posuvových rychlostí před obráběním lze odhalit problémová místa s potenciálem ke zlepšení za účelem zefektivnění obrábění. Zlepšení průběhu změn posuvových rychlostí může být například docíleno úpravou obráběcí strategie v CAM.

Příloha I přibližuje formát *maticeVysledna* pro víceosé obrábění.

## 8.2 Třiosé obrábění

Po spuštění skriptu je deklarována převzatá *maticeZakladni* a následuje zjištění prvních hodnot polohy nástroje, jejich deklarace a cyklus pro analýzu třiosého obrábění. Jediným zjišťovaným parametrem pro třiosé obrábění aktuálně implementovaným do analyzačního softwaru je velikost přírůstků. Uživateli je dále zobrazena dráha nástroje s vyznačenými kruhovými interpolacemi. Stejně jako v případě pro pětiosé obrábění je i zde možnost zobrazit lineární přírůstky s vyznačením bodů polohy nástroje, kterých je dosaženo uražením vzdálenosti menší než uživatelem zadaná hodnota.

### 8.2.1 Cyklus analyzující parametry třiosého obrábění

U cyklu pro třiosé obrábění je princip načítání hodnot shodný s výše popsáním způsobem (viz podkapitola 7.3).

V případě nalezení použití lineární interpolace jsou souřadnice polohy nástroje zapsány do *maticeVysledna*. V případě nalezení použití dráhové funkce pro střed kruhové interpolace jsou souřadnice polohy nástroje takového bloku uloženy do nově vzniklé matice *maticeKruh*. Zároveň s tím jsou do stejné matice zapsány souřadnice polohy nástroje předchozího bloku. Po udání středu kruhové interpolace se v dalším bloku zákonitě nachází konečná poloha kruhové interpolace. Souřadnice polohy nástroje definované tímto blokem jsou načteny a také uloženy na příslušná místa *maticeKruh*.

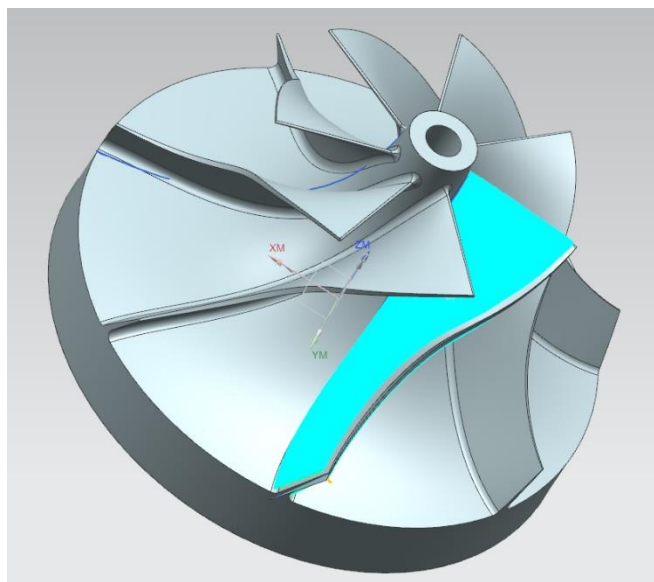
Po analýze všech bloků NC programu je vykreslena dráha určena lineárními pohyby. Následně jsou pomocí vytvořené funkce patrné z Příloha XV, vykresleny oblouky značící kruhové interpolace.

Formáty *maticeVysledne* a *maticeKruh* jsou patrné v Příloha II a Příloha III.

## 9 Testování a vyhodnocení

Po dobu vývoje softwaru bylo potřeba průběžného testování správnosti funkce jak programového prostředí, tak výpočtů jednotlivých parametrů. Za tímto účelem byly vytvořeny a převzaty některé NC programy pro tří i víceosé obrábění. Finální testování funkčnosti softwaru a vyhodnocení obráběcí strategie proběhlo na CAD modelu turbínového kola zobrazeného na Obr. 9-1. V programu NX 10.0 společnosti Siemens, byly nastaveny technologické podmínky a dráha nástroje pro dokončovací operaci jedné z lopatek turbínového kola. Generovaný NC program byl odbaven ve vzniklém analyzačním softwaru a následně porovnán s jinou obráběcí strategií pro stejný dílec. Text v této kapitole má sloužit k přiblížení způsobu porovnání změn určitých parametrů drah nástroje za účelem predikce míst s možným nedodržením předepsaných jakostí povrchu obrobku, jeho znehodnocením a snahou docílit v obráběcí strategii změn vedoucím k eliminaci nepříznivých vlivů na obrábění.

Na následujících obrázcích se nachází vlevo dráha s tolerančním pásmem pro generování



Obr. 9-1: Dílec na kterém byly vytvořeny testovací dráhy

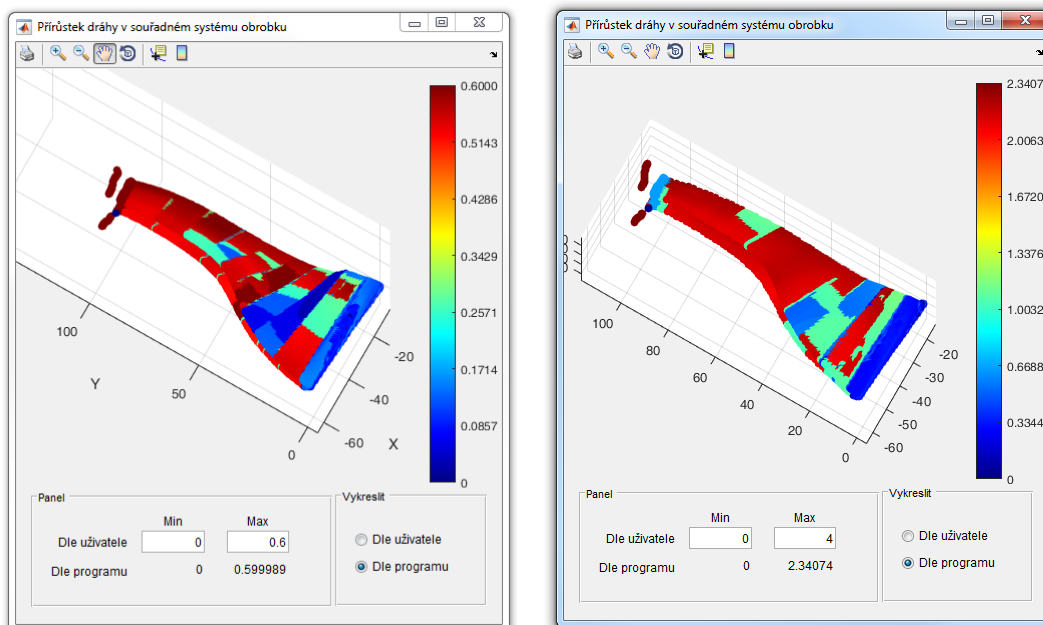
bodů dráhy nástroje od programované dráhy o 0,001 mm a vpravo s tolerančním pásmem 0,01 mm. U dráhy zobrazované na pravé straně obrázků byl zároveň změněn úhel vlečení nástroje.

### **Přírůstky dráhy v souřadném systému obrobku**

Zobrazením tohoto parametru může uživatel získat informace o průběhu změn vzdáleností mezi po sobě jdoucími polohami nástroje v relativní poloze vůči obrobku. Do příslušných polí v okně pro zobrazení dráhy nástroje uživatel nastaví jím zvolené hodnoty a sleduje změnu mapování dráhy. Dle toho lze jednoduše určit, jaké velikosti přírůstků se v NC programu nacházejí nejčastěji. Ač se může zdát, že použití velkého množství bodů k popisu určité dráhy automaticky povede k lepším jakostem povrchu, nemusí tomu tak být. Větší počet bodů dokáže přesněji popsat dráhu nástroje, stroj však není při průjezdu těmito body schopen dosahovat požadované velikosti posuvové rychlosti a může docházet k trhaným pohybům projevujících se na povrchu materiálu a na celkovém čase obrábění.



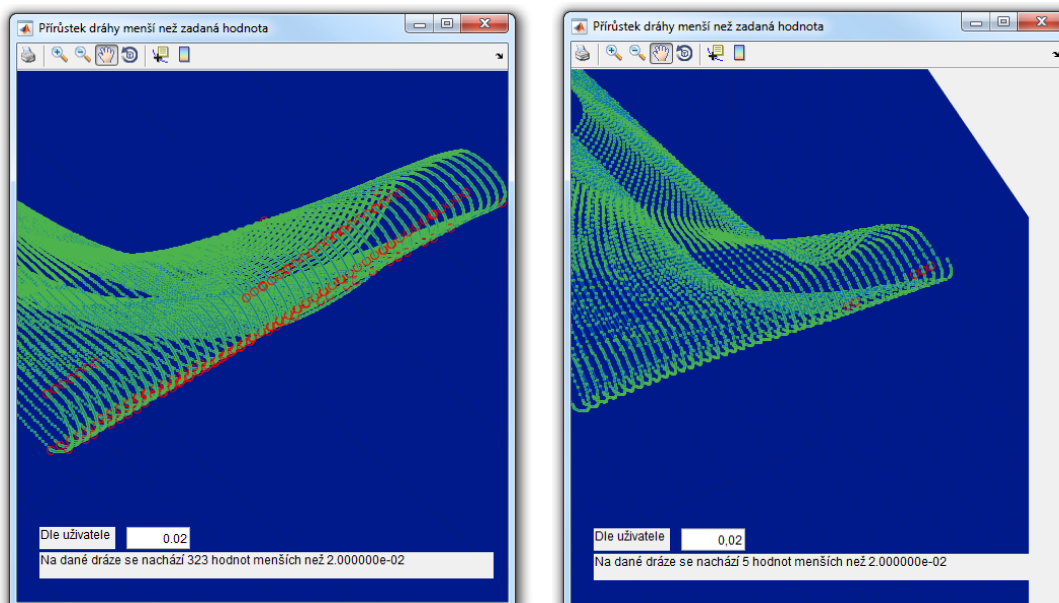
Na pravé straně Obr. 9-2 jsou kvůli nižším požadavkům na toleranční pásmo patrné menší přírůstky nežli na straně levé shodného obrázku. V obou zobrazeních byla škála nastavena tak, aby převládala červená barva. Z výsledných zobrazení lze vyvodit průměrné velikosti přírůstků levé dráhy na hodnoty mezi 0,5 a 0,6. U dráhy na pravé straně lze průměrnou velikost přírůstků odhadnout na hodnoty kolem 2,1 mm.



Obr. 9-2: Zobrazení průběhu změn parametru velikosti lineárních přírůstků v souřadném systému obrobku na testované dráze (vlevo – toleranční pásmo 0,001 mm, vpravo – rozdílný úhel vlečení nástroje, toleranční pásmo 0,01 mm)

### Přírůstky dráhy menší než uživatelem zadaná hodnota

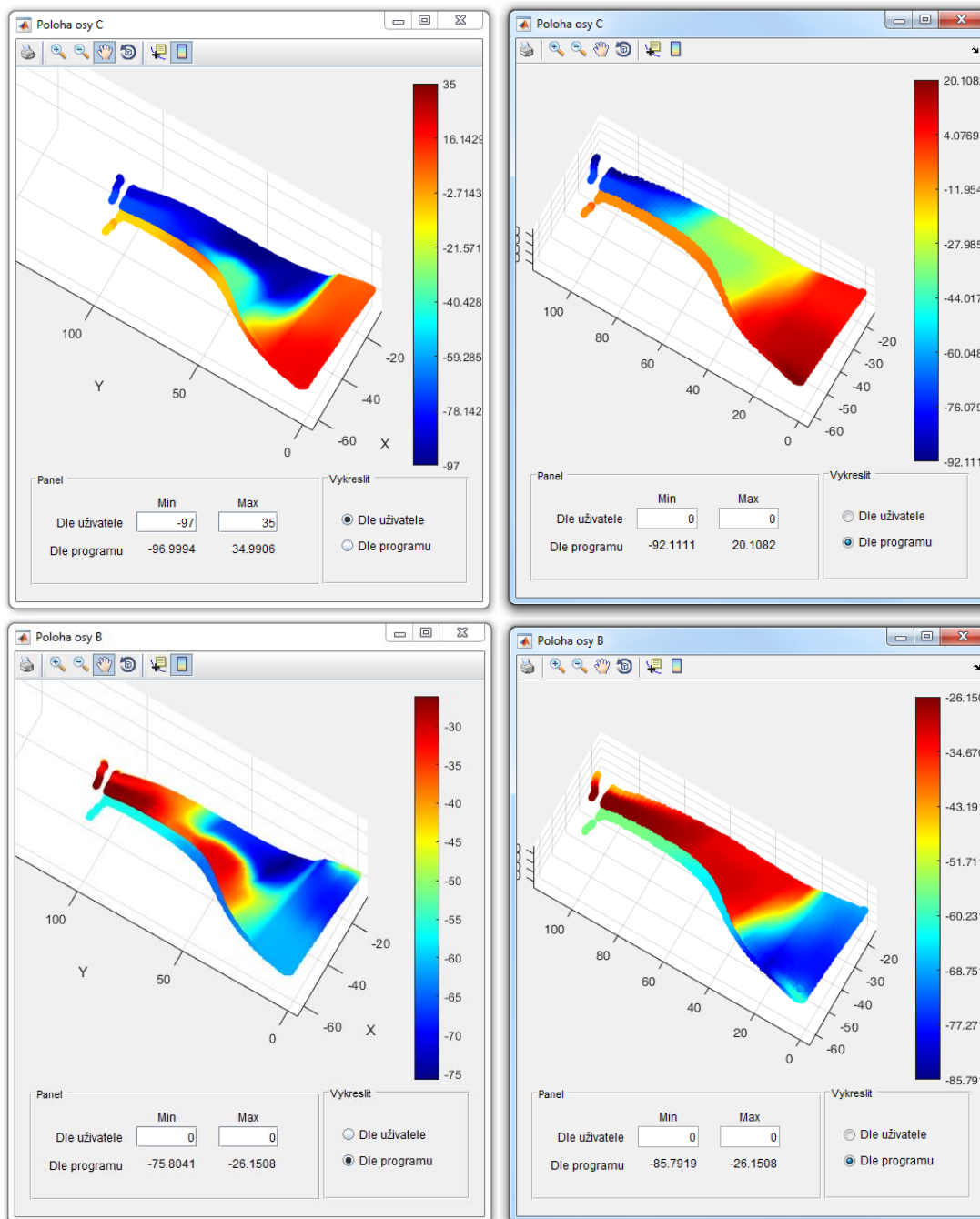
Na Obr. 9-3 je patrné zobrazení zvláště malých hodnot přírůstků na drahách nástroje. Snížením tolerančního pásma se zákonitě snížily i velikosti přírůstků čímž je v levé části Obr. 9-3 patrné větší množství přírůstků menších než 20  $\mu\text{m}$ .



Obr. 9-3: Zobrazení parametru velikosti lineárních přírůstků v souřadném systému obrobku menších než uživatelem zadaná hodnota (vlevo – toleranční pásmo 0,001 mm, vpravo – rozdílný úhel vlečení nástroje, toleranční pásmo 0,01 mm)

### Poloha osy C a B

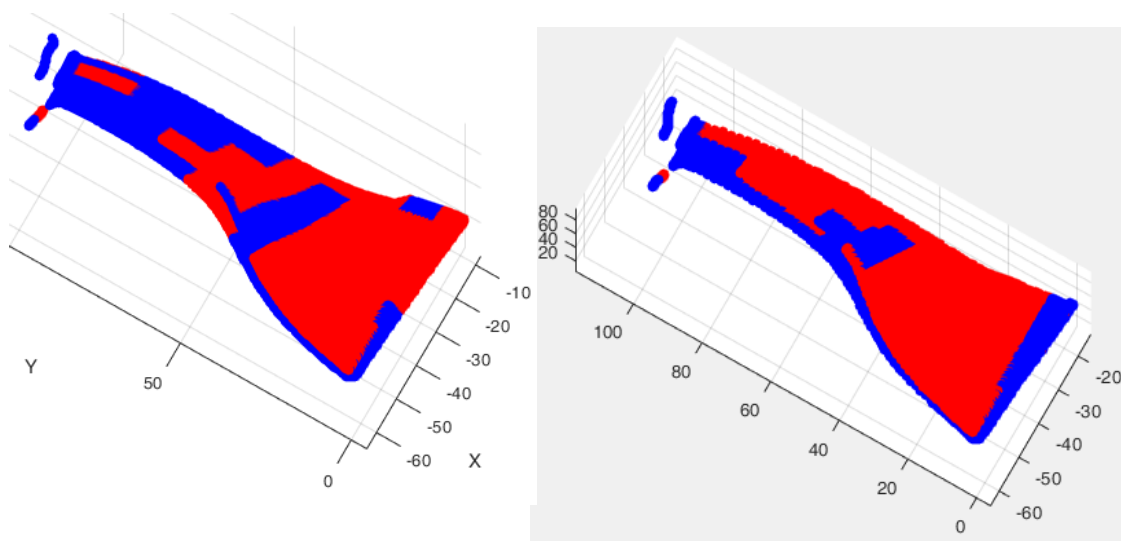
Průběh změn natočení rotačních os má probíhat, pokud možno, plynule. Plynulost změn se na výsledných zobrazeních odrazí pozvolnými změnami obarvení dráhy. V pravé části Obr. 9-4 zobrazujícím dráhu se změněným úhlem vlečení nástroje a nastavením tolerančního pásma 0,01 mm, jsou viditelné poměrně plynulé změny natočení rotačních os, zejména pro rotační osu C. V levé části Obr. 9-4 je zřetelně patrný dopad nevhodného nastavení vlečení nástroje. V horní i dolní části levé strany Obr. 9-4 je patrné střídání dlouhých úseků, při kterých rotační osy nevykonávají téměř žádný pohyb s krátkými úseky, kde rotační osy značně mění svoji polohu.



Obr. 9-4: Zobrazení průběhu změn natočení rotačních os (vlevo nahoře – toleranční pásmo 0,001 mm, vpravo nahoře – rozdílný úhel vlečení nástroje, toleranční pásmo 0,01 mm, vlevo dole – toleranční pásmo 0,001 mm, vpravo dole – rozdílný úhel vlečení nástroje, toleranční pásmo 0,01 mm)

### Reverzace osy C

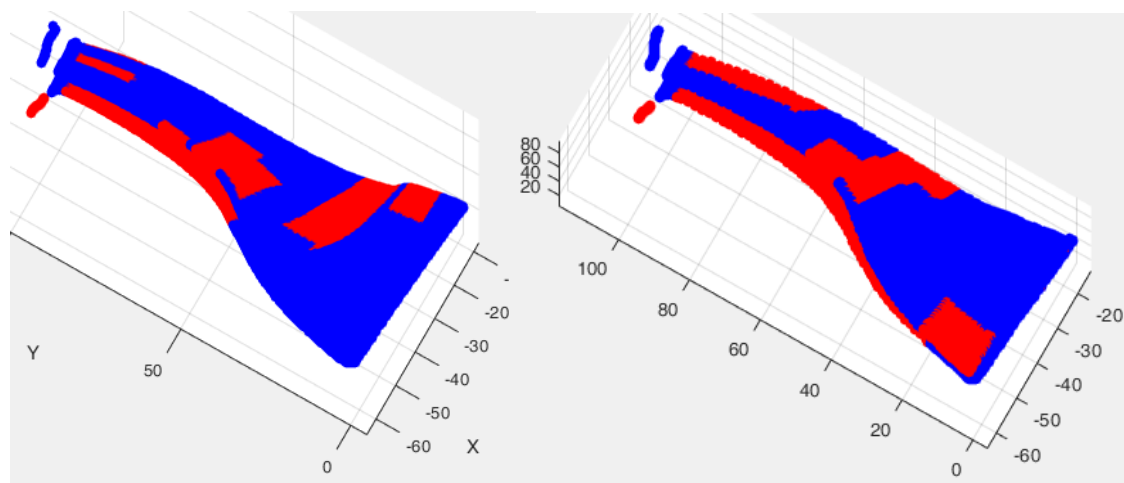
Při změnách směru pohybu rotačních os může v místech, kde k takovému jevu dochází vzniknout vada na povrchu obrobku. Vlivem zastavení pohybu a změnou jeho směru totiž nástroj zůstane po delší dobu na jednom místě namísto plynulého přechodu k dalšímu ještě finální operací neobrobenému povrchu. Je snahou se reverzacím rotačních os úplně vyhnout. Na přiloženém Obr. 9-5 jsou jak na pravé, tak i levé straně obrázku patrné reverzace pohybů zvláště uprostřed plochy lopatky. Stále neideálního, avšak oproti levé straně lepšího průběhu si lze díky změně nastavení vlečení nástroje všimnout na okrajích lopatky zobrazené na pravé straně Obr. 9-5.



Obr. 9-5: Zobrazení reverzace rotační osy C (vlevo – toleranční pásmo 0,001 mm, vpravo – rozdílný úhel vlečení nástroje, toleranční pásmo 0,01 mm)

### Reverzace osy B

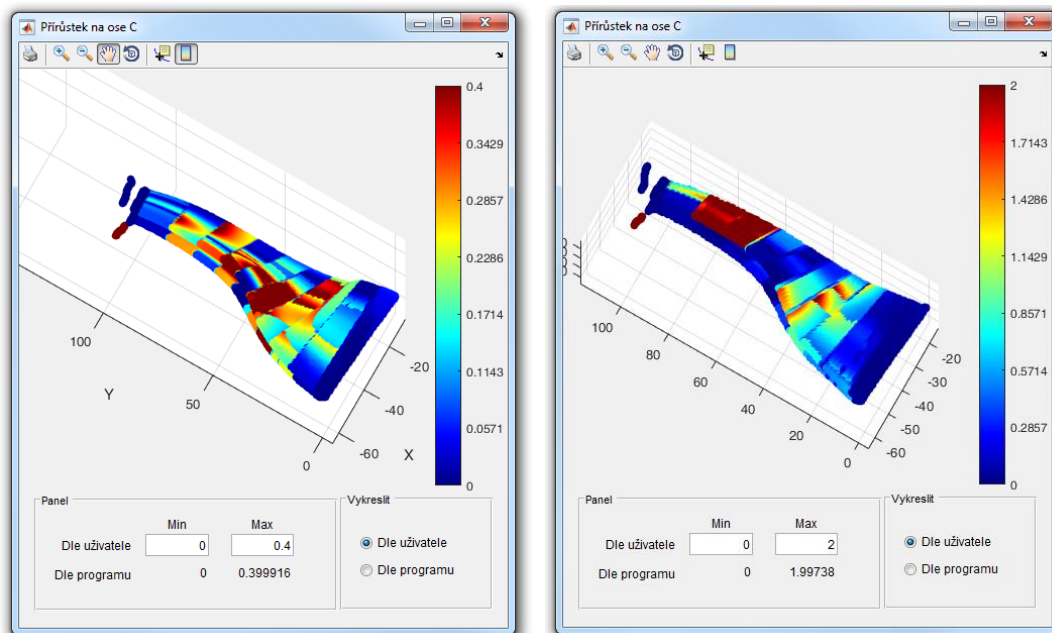
Průběh reverzací osy B pro nastavení dráhy s tolerančním pásmem 0,001 mm na Obr. 9-6 vlevo obsahuje více oblastí, kde jsou reverzace osy v těsné blízkosti za sebou, kdežto u nastavení s tolerančním pásmem 0,01 mm a rozdílným úhlem vlečení na Obr. 9-6 vpravo, jsou reverzace osy v delších odstupech a na některých řádcích dráhy s menší četností.



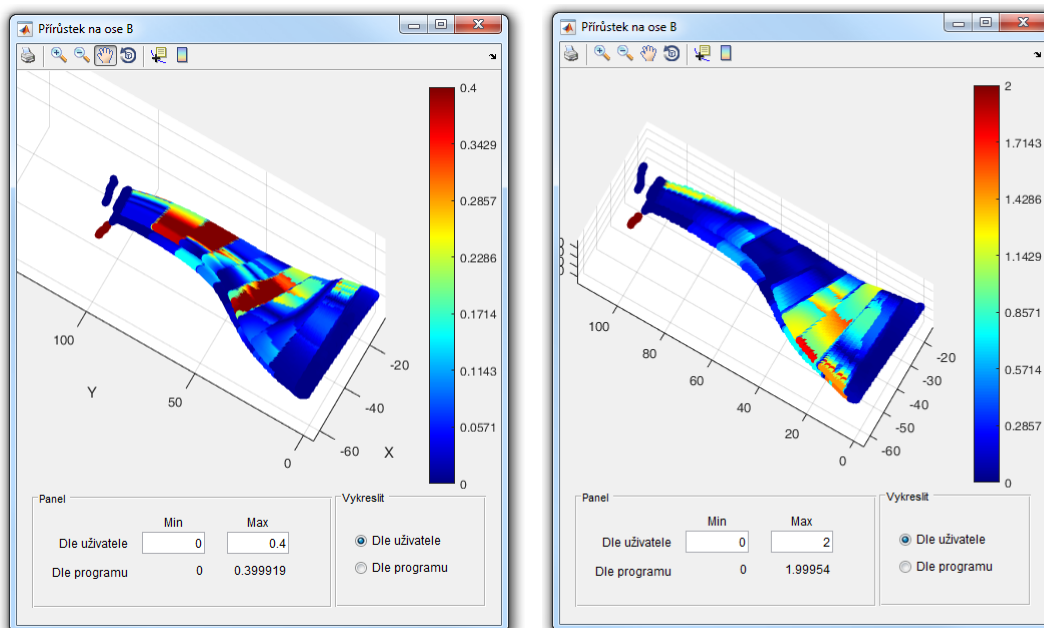
Obr. 9-6: Zobrazení reverzace rotační osy B (vlevo – toleranční pásmo 0,001 mm, vpravo – rozdílný úhel vlečení nástroje, toleranční pásmo 0,01 mm)

### Přírůstky v rotačních osách B a C

Sledováním změn přírůstků v rotačních osách získává uživatel náhled na velikosti natočení rotačních os mezi dvěma po sobě následujícími bloky NC programu. Hodnoty přírůstků natočení v ose C pro obě testované dráhy jsou patrné na Obr. 9-7. Hodnoty stejného parametru pro osu B jsou viditelné na Obr. 9-8. Malé přírůstky na rotačních osách, pozorovatelné na levých stranách Obr. 9-7 a Obr. 9-8, jsou způsobené vlivem nastavení nízkého tolerančního pásma pro tuto dráhu. Generované body dráhy nástroje jsou totiž blíže sobě a pro dosažení jejich polohy je potřeba menších změn pozic v jednotlivých osách stroje.



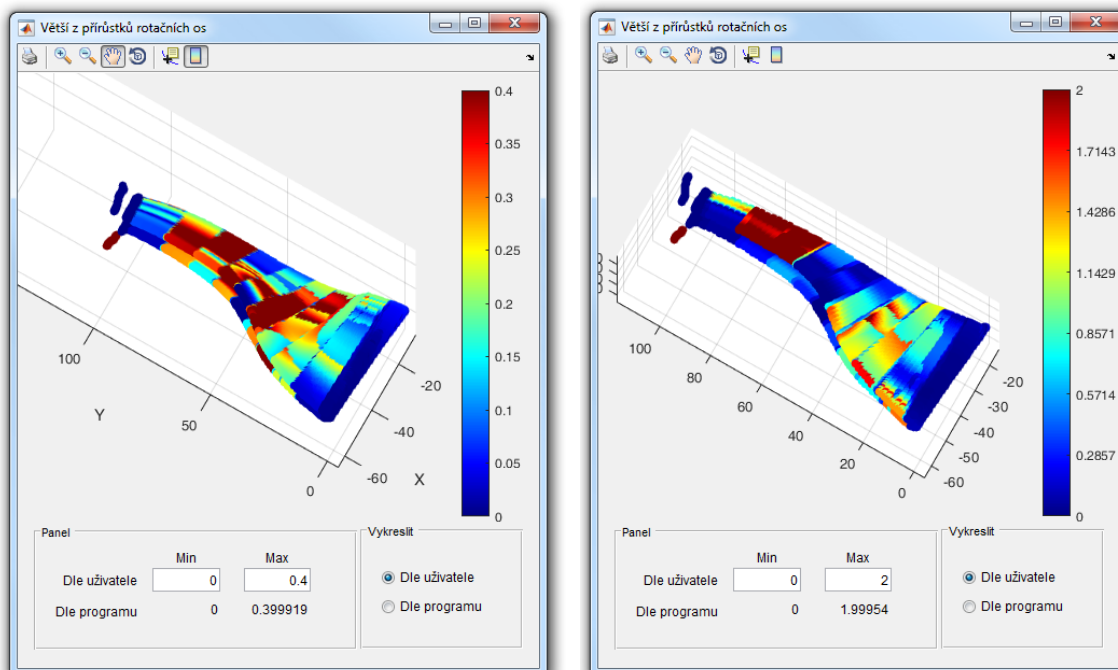
Obr. 9-7: Zobrazení průběhu změn přírůstků rotační osy C (vlevo – toleranční pásmo 0,001 mm, vpravo – rozdílný úhel vlečení nástroje, toleranční pásmo 0,01 mm)



Obr. 9-8: Zobrazení průběhu změn přírůstků rotační osy B (vlevo – toleranční pásmo 0,001 mm, vpravo – rozdílný úhel vlečení nástroje, toleranční pásmo 0,01 mm)

### Větší z přírůstků rotačních os

Pro zjištění tohoto parametru je potřebná znalost výše zmíněných hodnot přírůstků v rotačních osách. Jejich porovnáním a vybráním většího z nich je stanoveno která z rotačních os má větší „vliv“ na pohyb nástroje v jednotlivých blocích NC programu. Zobrazením takto získaných hodnot vznikne dráha mapována podle hodnot největších rotačních přírůstků. Při pohledu na Obr. 9-9 si lze při porovnání s Obr. 9-7 a Obr. 9-8 povšimnout „spojení“ těchto dvou obrázků do jednoho. Vzhledem k závislosti tohoto parametru na velikosti přírůstků v rotačních osách, je i tento parametr převážně závislý na nastavení tolerančního pásma v CAM. Proto jsou i zde na Obr. 9-9 vlevo menší přírůstky než ve druhém analyzovaném případě.

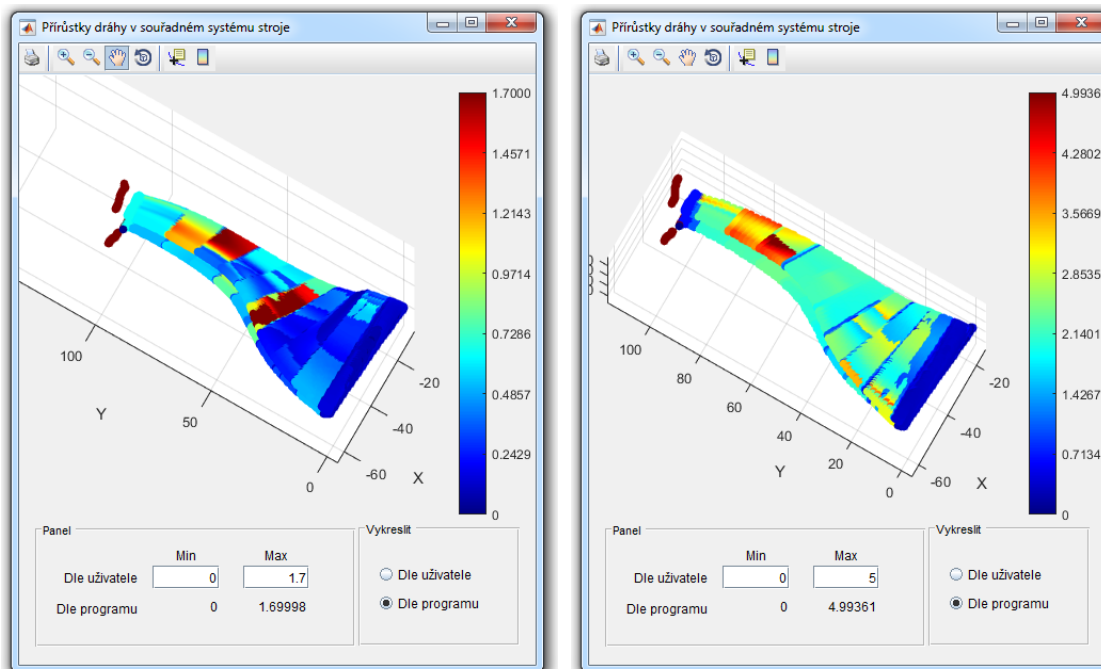


Obr. 9-9: Zobrazení průběhu větších z parametrů přírůstků na rotačních osách B a C (vlevo – toleranční pásmo 0,001 mm, vpravo – rozdílný úhel vlečení nástroje, toleranční pásmo 0,01 mm)



### Přirůstky dráhy v souřadném systému stroje

Na Obr. 9-10 je zobrazen průběh změny parametru udávajícímu skutečnou prostorovou vzdálenost mezi dvěma po sobě následujícími polohami nástroje v souřadném systému stroje. Vzhledem k nastavené toleranci 0,01 mm na Obr. 9-10 vpravo zobrazené dráze nástroje jsou velikosti přírůstků větší než ve druhém případě s nastavením tolerančního pásma na 0,001 mm zobrazeného v levé části Obr. 9-10.

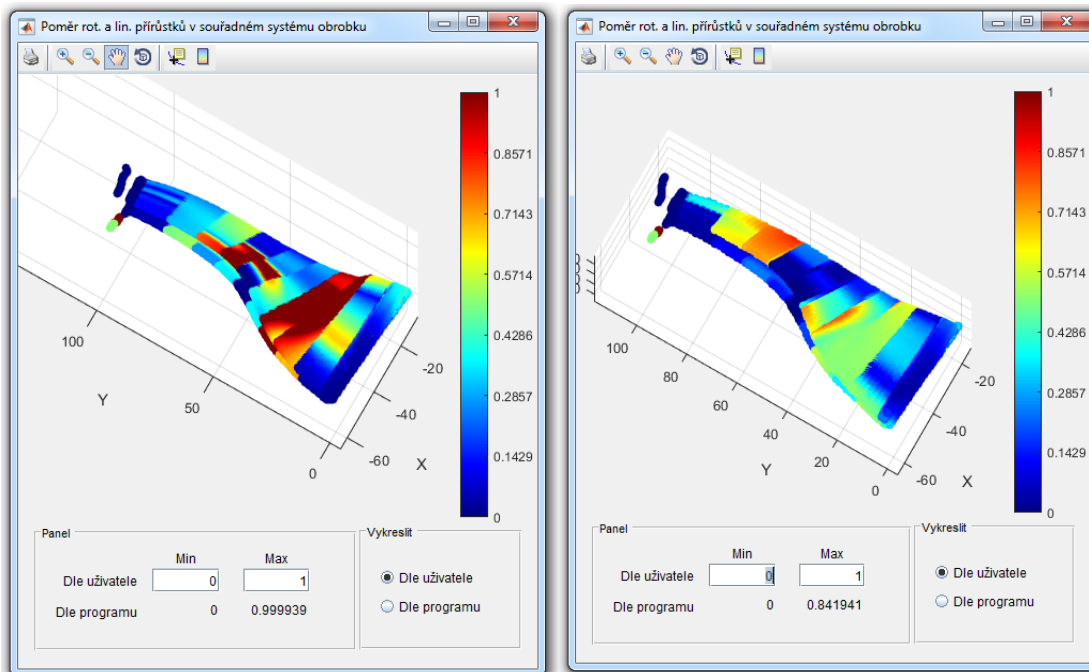


Obr. 9-10: Zobrazení průběhu změn parametru velikosti lineárních přírůstků v souřadném systému stroje na testované dráze (vlevo – toleranční pásmo 0,001 mm, vpravo – rozdílný úhel vlečení nástroje, toleranční pásmo 0,01 mm)

### Poměr rotačních a lineárních přírůstků souřadnic v souřadném systému stroje

Poměrem větších z rotačních přírůstků s prostorovými vzdálenostmi dvou po sobě jdoucích bloků v souřadném systému stroje je udáno, jak významný vliv na vykonání pochybu mají lineární nebo rotační osy. Při velikostním nepoměru rotačních přírůstků oproti lineárním je výsledné poměrové číslo větší než 1. Lze tak říci, že pro vykonání daného pohybu má na tento souvislý víceosý pohyb větší vliv pohyb v jedné z rotačních os, nežli pohyb realizovaný lineárními osami. Již podle zobrazení tohoto parametru lze odhadovat určité změny v průběhu posuvové rychlosti.

Při porovnání Obr. 9-11 a Obr. 9-9 si lze povšimnout určitých podobností na vykreslených drahách. Oblasti s vysokým podílem účasti rotačních os na dráze pohybu nástroje jsou v tomto případě již patrné z Obr. 9-9. Nastavením shodného rozsahu pro obě dráhy nástroje lze z Obr. 9-11 vyvodit, že nalevo zobrazená dráha je oproti dráze zobrazené napravo značně více ovlivňována pohybem rotačních os. Zlepšení průběhu na vpravo zobrazené dráze lze přisoudit změně úhlu vlečnické nástroje pro danou dráhu. Nevhodným nastavením tohoto parametru ve spojitosti s nízkou hodnotou nastavení tolerančního pásma na vlevo zobrazené dráze, musí rotační osy stroje vykonávat větší změny poloh oproti nalevo zobrazenému případu. To je patrné díky výraznému podílu tmavě červeného zbarvení na Obr. 9-11 vlevo, oproti napravo zobrazené dráze nástroje. Na Obr. 9-11 vpravo zobrazené dráze nástroje není vliv rotačních os, vzhledem k lepšímu nastavení úhlu vlečení nástroje v kombinaci s nižšími nároky na toleranční pásmo tak patrný. Již z tohoto zobrazení tak lze odhadovat místa kde nebude dodržena předepsaná velikost posuvové rychlosti.

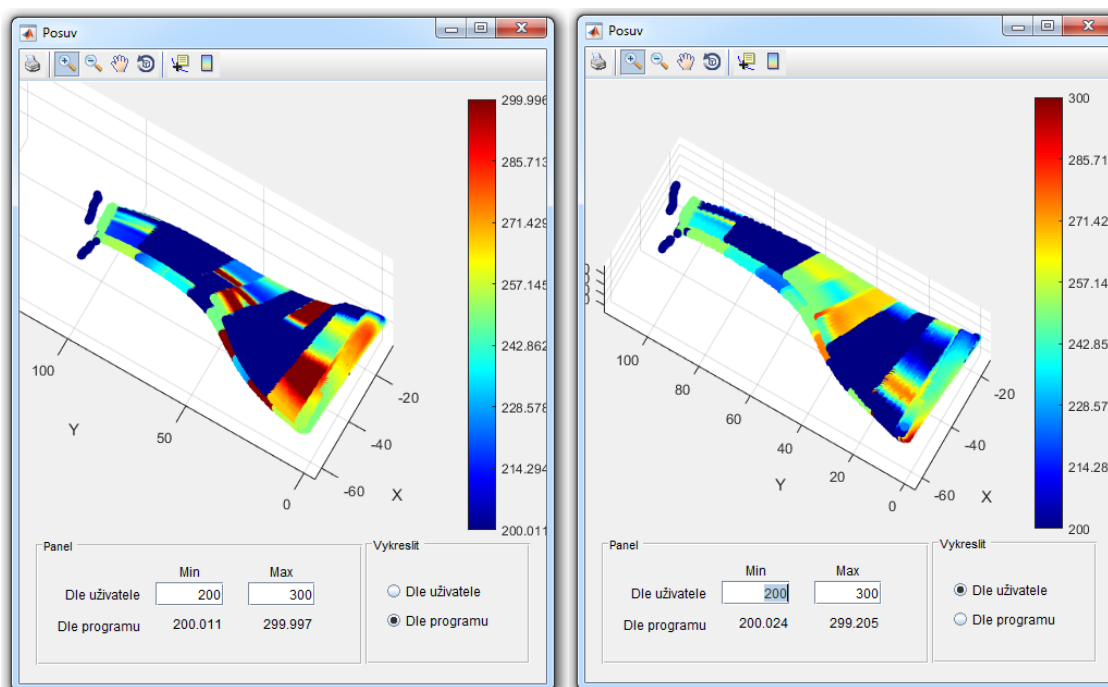


Obr. 9-11: Zobrazení průběhu změn hodnot poměru rotačních a lineárních přírůstků v souřadném systému stroje (vlevo – toleranční pásmo 0,001 mm, vpravo – rozdílný úhel vlečnické nástroje, toleranční pásmo 0,01 mm)

### Průběh změny posuvové rychlosti

Vzhledem ke zmíněnému nedodržení posuvové rychlosti při obráběcím procesu je vhodné predikovat průběh těchto změn před samotným obráběním. V případě zjištění značného nedodržení předepsané posuvové rychlosti se může tvůrce dráhy nástroje snažit změnou obráběcí strategie docílit lepšího průběhu ještě před konečným obráběním. Ušetří se tak čas i finance vynaložené na zhotovení zmetku nevyhovujícím předepsaným parametrům.

Změna posuvové rychlosti na testovaných drahách oproti předepsané posuvové rychlosti 250 mm/min je zobrazena na Obr. 9-12. Za rozsah pro dané zobrazení byl zvolen interval pro obarvení hodnot spadajících mezi hodnoty 200 a 300 mm/min. Veškeré hodnoty spadající do toho intervalu jsou tak mapovány jinými barvami než tmavě modrou nebo tmavě červenou. Hodnoty menší či rovny zadanému minimu jsou vyobrazeny jako tmavě modré, hodnoty větší či rovny zadanému maximu jsou vyobrazeny tmavě červenou barvou. Na Obr. 9-12 na vpravo zobrazené dráze, je díky menšímu podílu tmavě modré a tmavě červené barvy patrné dodržení posuvové rychlosti ve vyšší míře než na dráze zobrazené vlevo.



Obr. 9-12: Zobrazení průběhu změny posuvové rychlosti (vlevo – toleranční pásmo 0,001 mm, vpravo – rozdílný úhel vlečení nástroje, toleranční pásmo 0,01 mm)

Vyhodnocováním zmíněných analyzovaných drah byla zároveň prováděna finální testování funkčnosti vytvořeného softwaru. Provedené testy prokázali kompletní software za funkční a připravený k užití. Zároveň byly zjištěny možná vylepšení pro případné další verze softwaru.



## 10 Závěr

Při snaze docílit co nejpřesnějších rozměrů s odpovídajícími tolerancemi a jakostmi povrchů tvarově složitých dílců byl zjištěn prostor pro zdokonalení v oblasti generování drah nástroje. Vlivem nevhodného navolení drah nástroje, parametrů obrábění a obecností vzniklých CL dat při použití CAM systémů je do procesu tvorby NC programů zanášena možnost vzniku chyb. Odhalení a vyvarování se chyb ve vzniklých generovaných drahách je jednou z cest k docílení přesnějšího obrábění. Za tímto účelem vznikla myšlenka pro vytvoření prostředku pro verifikaci NC programů, což bylo hlavním cílem bakalářské práce

K tomu bylo potřeba provést bližší seznámení s danou problematikou zaznamenané v rešeršní části práce. V té je zmíněn způsob vzniku NC programů, jejich struktura, popis základních funkcí používaných pro tvorbu programů, přiblížení některých z funkcí řídicího systému Heidenhain iTNC 530 s popisným dialogem a popis stroje MAS MCVL1000 s otočně sklopným stolem. Dále bylo potřeba zmapovat dosavadní situaci na poli zabývajícím se verifikací a optimalizací obráběcích procesů. Na základě získaných znalostí byly stanoveny možné způsoby provedení vlastního analyzačního prostředku.

Z možných variant byla vybrána varianta tvořena v prostředí Matlab s uživatelským rozhraním a prací s proměnnými. Vznikl tak software, kterým je možné analyzovat parametry ve vytvořených NC programech. V hlavním okně softwaru uživatel zvolí NC program k verifikaci a kliknutím na tlačítko udá příkaz pro započítání analýzy parametrů z daného programu. Jako možnosti analyzovaných parametrů lze uvést například velikosti přírůstků v jednotlivých lineárních osách, prostorové vzdálenosti mezi dvěma po sobě jdoucími polohami nástroje, reverzace rotačních os a další. Na dráze nástroje si uživatel může nechat získané parametry vizualizovat pomocí mapování v závislosti na velikosti daného parametru. Tím byl splněn hlavní cíl bakalářské práce

Pomocí softwaru byla otestována dvě odlišná nastavení obráběcích strategií. Výsledky obou analýz mezi sebou byly porovnány a okomentovány rozdíly dopadů určitých parametrů na dané obráběcí procesy. Zobrazení výsledků jedné z drah prokázalo lepší užití nastavení parametrů v CAM nežli na druhé dráze. Testována byla zároveň i funkčnost programového prostředí a uživatelská přívětivost. Na základě výstupů ze softwaru může odpovídající specialista také krom změn strategií v CAM systémech, upravovat nastavení regulačních parametrů strojních os v řídicím systému. Funkce softwaru byla znázorněna pomocí vývojových digramů umístěných v přílohové části práce.

Jako pokračování práce se nabízí rozšířit software o možnost analyzovat NC programy psané pro jiné řídicí systémy a o možnosti přidat další vyhodnocované parametry jako například křivosti na tříosých drahách. Vylepšení z hlediska uživatelské přívětivosti se nabízí v přidání nástroje pro natáčení grafického zobrazení dle uživatelem zadané hodnoty pro lepší porovnávání drah. Pro lepší porovnávání drah by také bylo vhodné implementovat možnost zobrazení dvou rozdílných analyzovaných NC programů vedle sebe.

## Seznam použité literatury

- [1] Vavruška, P. Tvorba NC postprocesorů. Diplomová práce, ČVUT Fakulta strojní, 2008.
- [2] Rybín, J. Automatické řídicí systémy; ČVUT Fakulta strojní: Ediční středisko ČVUT, Praha 6, Zikova4, 1991.
- [3] HEIDENHAIN, Traunreut: Příručka uživatele popisný dialog HEIDENHAIN iTNC530. 2014.
- [4] SINUMERIK 840D sl / 828D pro pokročilé, Programovací příručka [online]. [cit. 2018-4-2]. Dostupné z: [https://cache.industry.siemens.com/dl/files/761/57038761/att\\_76028/v1/PGA\\_0911\\_cz\\_cs-CZ.pdf](https://cache.industry.siemens.com/dl/files/761/57038761/att_76028/v1/PGA_0911_cz_cs-CZ.pdf)
- [5] FANUC MANUAL GUIDE, OPERATOR'S MANUAL [online]. [cit. 2018-04-02]. Dostupné z: <http://www.cnc.uk.com/wp-content/uploads/2015/04/Manual-Guide-Milling-and-Turning-Manual.pdf>
- [6] NX CAM 10.0.3: Tool Path Display and Analysis. Graphically analyzing tool paths by color display [online]. [cit. 2017-17-11]. Dostupné z: <https://community.plm.automation.siemens.com/t5/NX-Manufacturing/ct-p/part-manufacturing>
- [7] TOOL-PATH & FEED-RATE OPTIMIZATION. ICAM [online]. [cit. 2018-02-02]. Dostupné z: <http://icam.com/tool-path-optimization-software/>
- [8] SARASUA, J. A. a I. CASCON. Integration of machining mechanistic models into CAM software [online]. 2014, 5--17 [cit. 2018-02-02]. Dostupné z: <http://yadda.icm.edu.pl/yadda/element/bwmeta1.element.baztech-d933e081-489d-4efb-a398-40c459251353>
- [9] Analyze MyWorkpiece/Toolpath. Improve the productivity and component quality through analysis / optimization of NC programs and SINUMERIK Trace data by using modern 3D visualization [online]. [cit. 2018-02-02]. Dostupné z: <https://support.industry.siemens.com/cs/document/109756118/sales-and-delivery-release-for-analyze-myworkpiece-toolpath-v1-0?dti=0&lc=en-WW>
- [10] Machala Z. Postprocesory v SolidCAM, Bakalářská práce, ČVUT Fakulta strojní, 2017
- [11] STEJSKAL, V. a M. VALÁŠEK. Kinematics and Dynamics of Machinery. xii. New York: Dekker, 1996, 95-100 s.ISBN 0824797310
- [12] Virtuální prototypování – Digitální modely, chytré funkce CNC systémů, pokročilé prostředky pro vyšší produktivitu a kvalitu výroby, TRENDY PO EMO HANNOVER 2017 A MSV BRNO 2017 Praha,; Sulitka, M., Kopačka, J., Fojtů, P., Eds.; 2018.

[13] Polzer, A, Akademie CNC obrábění (4). [cit. 2018-02-02]. Dostupné z:  
[https://www.technickytydenik.cz/rubriky/serialy/akademie-cnc/akademie-cnc-obrabeni-4\\_8539.html](https://www.technickytydenik.cz/rubriky/serialy/akademie-cnc/akademie-cnc-obrabeni-4_8539.html)

[14] Hájíček, Z. Testování virtuálního NC stroje v prostředí PLM systému NX. Diplomová práce, Západočeská universita v Plzni, 2013.

## Seznam použitého softwaru

Matlab

Dia Diagram Editor

Siemens NX 10.0

MS Word

## Seznam obrázků

Obr. 2-1: Struktura bloku NC programu pro určení polohy nástroje.....	12
Obr. 2-2: Struktura slova NC programu.....	12
Obr. 2-3: Porovnání zápisu lineárních interpolací mezi řídicími systémy Heidenhain, Sinumerik a Fanuc .....	15
Obr. 2-4: Příklad zápisu kruhové interpolace v řídicím systému Siemens Sinumerik a k němu příslušné označení pohybu nástroje, převzato z lit. [4].....	16
Obr. 2-5 - Příklad zápisu kruhové interpolace v řídicím systému Heidenhain a k němu příslušné označení pohybu nástroje, převzato z lit. [3] .....	16
Obr. 3-1: Obarvení dráhy nástroje v NX-CAM funkcí Tool Path Analysis dle parametru velikosti délek segmentů, převzato z lit. [6].....	17
Obr. 3-2: Obarvení dráhy nástroje v NX-CAM s rozšířením výzkumné organizace IK4 Tekniker dle parametru velikosti řezné síly ve směru X, převzato z lit. [8]....	18
Obr. 3-3: Prostor softwaru Siemens Analyze MyWorkpiece /Toolpath, převzato z lit. [9].....	19
Obr. 3-4 - ICAM grafické znázornění rozdílu dráhy nástroje před (nejvíce vlevo) a po (druhé zleva) po použití SmartPATH, převzato z lit. [7].....	20
Obr. 3-5: ICAM grafické znázornění NC programu před (nahore) a po (dole) použití funkce SmartCUT, převzato z lit. [7].....	21
Obr. 3-6: ICAM grafické znázornění funkce SmartFEED, převzato z lit. [7].....	21
Obr. 3-7: Zobrazení výsledků optimalizace obrábění v programu ICAM, převzato z lit. [7].....	22

Obr. 4-1: (vlevo) Frézka MAS MCVL 1000 s (vpravo) otočně-sklopným stolem 5AX-220 II ZA, převzato z lit. [10] .....	23
Obr. 4-2: Příklad lineární interpolace v řídicím systému Heidenhain jazyku popisného dialogu, převzato z lit. [3].....	24
Obr. 4-3: Příklad bloku lineární interpolace víceosého obrábění pro řídicí systém Heidenhain v jazyce popisného dialogu.....	25
Obr. 4-4: (Nahoře) dráha tvořena rozdílem cílové a aktuální polohy, (Dole) dráha tvořena uražením nejkratší vzdálenosti, převzato z lit. [3].....	25
Obr. 6-1: Zjednodušené schéma varianty s využitím dvou skriptů s přímými uživatelskými přístupy s využitím zkomprimované matice pro výpočty.....	29
Obr. 6-2: Zjednodušené schéma varianty B s aplikačním prostředím využívajícím komprimované matice pro výpočty .....	30
Obr. 6-3: Zjednodušené schéma varianty C s aplikačním prostředím využívajícím aktualizovaných proměnných pro výpočty.....	31
Obr. 7-1: Převod NC programu na matici základní.....	32
Obr. 7-2: Způsob funkce regulárního výrazu pro upravení nalezených rozměrových slov do tvaru vhodného k početním operacím.....	34
Obr. 7-3: Okno pro výběr parametrů k zobrazení tříosého obrábění.....	36
Obr. 7-4: Okno pro výběr parametrů k zobrazení víceosého obrábění.....	36
Obr. 7-5: Příklad okna pro zobrazení výsledků určitého parametru.....	37
Obr. 7-6: Zobrazovací okno pro hledané parametry menší než uživatelem zadaná hodnota..	38
Obr. 7-7: Zobrazení mapování reverzace rotační osy.....	39
Obr. 7-8: Případy přechodu hodnot natočení přes nulovou polohu osy.....	39
Obr. 7-9: Zobrazení dráhy nástroje pro tříosé obrábění.....	40
Obr. 9-1: Dílec na kterém byly vytvořeny testovací dráhy.....	47
Obr. 9-2: Zobrazení průběhu změn parametru velikosti lineárních přírůstků v souřadném systému obrobku na testované dráze (vlevo – toleranční pásmo 0,001 mm, vpravo – rozdílný úhel vlečení nástroje, toleranční pásmo 0,01 mm).....	48
Obr. 9-3: Zobrazení parametru velikosti lineárních přírůstků v souřadném systému obrobku menších než uživatelem zadaná hodnota (vlevo – toleranční pásmo 0,001 mm, vpravo – rozdílný úhel vlečení nástroje, toleranční pásmo 0,01 mm).....	48

Obr. 9-4: Zobrazení průběhu změn natočení rotačních os (vlevo nahoře– toleranční pásmo 0,001 mm, vpravo nahoře – rozdílný úhel vlečení nástroje, toleranční pásmo 0,01 mm, vlevo dole – toleranční pásmo 0,001 mm, vpravo dole – rozdílný úhel vlečení nástroje, toleranční pásmo 0,01 mm).....	49
Obr. 9-5: Zobrazení reverzace rotační osy C (vlevo – toleranční pásmo 0,001 mm, vpravo – rozdílný úhel vlečení nástroje, toleranční pásmo 0,01 mm).....	50
Obr. 9-6: Zobrazení reverzace rotační osy B (vlevo – toleranční pásmo 0,001 mm, vpravo – rozdílný úhel vlečení nástroje, toleranční pásmo 0,01 mm).....	50
Obr. 9-7: Zobrazení průběhu změn přírůstků rotační osy B (vlevo – toleranční pásmo 0,001 mm, vpravo – rozdílný úhel vlečení nástroje, toleranční pásmo 0,01 mm).....	51
Obr. 9-8: Zobrazení průběhu změn přírůstků rotační osy C (vlevo – toleranční pásmo 0,001 mm, vpravo – rozdílný úhel vlečení nástroje, toleranční pásmo 0,01 mm).....	51
Obr. 9-9: Zobrazení průběhu větších z parametrů přírůstků na rotačních osách B a C (vlevo – toleranční pásmo 0,001 mm, vpravo – rozdílný úhel vlečení nástroje, toleranční pásmo 0,01 mm).....	52
Obr. 9-10: Zobrazení průběhu změn parametru velikosti lineárních přírůstků v souřadném systému obrobku na testované dráze (vlevo – toleranční pásmo 0,001 mm, vpravo – rozdílný úhel vlečení nástroje, toleranční pásmo 0,01 mm).....	53
Obr. 9-11: Zobrazení průběhu změn hodnot poměru rotačních a lineárních přírůstků v souřadném systému stroje (vlevo – toleranční pásmo 0,001 mm, vpravo – rozdílný úhel vlečení nástroje, toleranční pásmo 0,01 mm).....	54
Obr. 9-12: Zobrazení průběhu změny posuvové rychlosti (vlevo – toleranční pásmo 0,001 mm, vpravo – rozdílný úhel vlečení nástroje, toleranční pásmo 0,01 mm).....	55

## Seznam tabulek

Tab. 2-1: Tabulka adres používaných v NC programech.....	13
Tab. 2-2: Tabulka základních G funkcí v NC programech.....	13
Tab. 2-3: Tabulka základních M funkcí v NC programech.....	14
Tab. 2-4: Tabulka znázorňující rozdíly mezi jednotlivými řídicími systémy, co se týče záhlaví a zápatí NC programu.....	14

## Seznam textových příloh

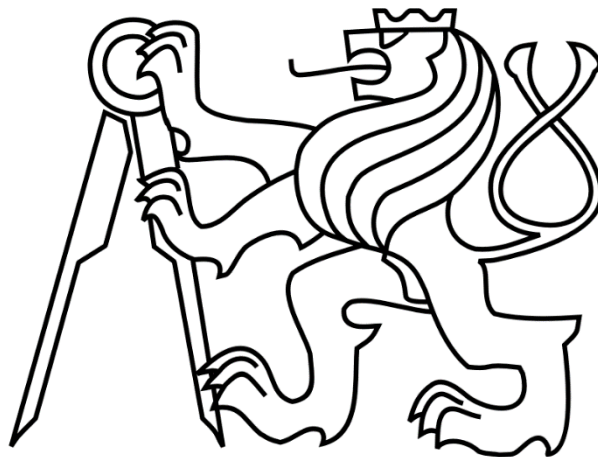
Příloha I	Uspořádání proměnných v „maticeVysledna“ pro víceosé obrábění
Příloha II	Uspořádání proměnných v „maticeVysledna“ pro tříosé obrábění
Příloha III	Uspořádání proměnných v „maticeKruh“ pro tříosé obrábění

Příloha IV	Parametry stroje MAS MCVL 1000 Laser
Příloha V	Parametry rotačně sklopného stolu NIKKEN 5AX-220 II ZA
Příloha VI	Hlavní okno softwaru
Příloha VII	Funkce „Zjistí druh obrábění 1“
Příloha VIII	Funkce „Zjistí druh obrábění 2“ (pokračování)
Příloha IX	Skript pro tříosé obrábění
Příloha X	Cyklus pro zjištění prvních hodnot polohy nástroje pro tříosé obrábění
Příloha XI	Analyzační cyklus pro tříosé obrábění (výpočty parametrů)
Příloha XII	analyzacniCyklus_3D nalezen znak „L“ – použití lineární interpolace
Příloha XIII	analyzacniCyklus_3D nalezeny znaky “CC“ – použití zápisu středu kruhové interpolace
Příloha XIV	analyzacniCyklus_3D nalezeny znaky “C“ – použití definice konce kruhové interpolace
Příloha XV	Funkce pro vykreslení kruhových interpolací
Příloha XVI	Funkce „zjistíKvadrant“ pro zjištění kvadrantu, ve kterém začíná nebo ve kterém končí kruhová interpolace
Příloha XVII	Funkce „uhelFi“ pro určení úhlu
Příloha XIX	Skript pro víceosé obrábění
Příloha XX	Cyklus pro zjištění použití funkce M126
Příloha XXI	Cyklus pro zjištění prvních hodnot polohy nástroje pro víceosé obrábění
Příloha XXII	Zjištění parametricky zadaných posuvových rychlostí
Příloha XXIII	Zjištění prvních hodnot polohy nástroje, nalezen znak „L“
Příloha XXIV	Zjištění prvních hodnot polohy nástroje, některá ze souřadnic se v NC programu nevyskytuje
Příloha XXV	Transformace prvotních zjištěných souřadnic
Příloha XXVI	Analyzační cyklus pro víceosé obrábění (výpočty parametrů)
Příloha XXVII	Analyzační cyklus pro víceosé obrábění – načítání souřadnic polohy nástroje
Příloha XXVIII	Analyzační cyklus pro víceosé obrábění – načítání souřadnic polohy nástroje
Příloha XXIX	Analyzační cyklus pro víceosé obrábění – transformace souřadnic
Příloha XXXI	Transformace souřadnic ze souřadného systému obrobku na souřadnice souřadného systému stroje
Příloha XXX	Transformace souřadnic ze souřadného systému obrobku na souřadnice souřadného systému stroje
Příloha XXXII	Funkce pro zjištění reverzace rotačních os
Příloha XXXIII	Funkce pro změnu rozsahu zobrazovaných hodnot
Příloha XXXIV	Funkce „rozsah“ – výpočetní část zajišťující určení rozsahu

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA STROJNÍ

Ústav výrobních strojů a zařízení



# Bakalářská práce

Přílohy

2018

Jan Górecki

## Příloha I – Uspořádání proměnných v „maticeVysledna“ pro víceosé obrábění

Číslo sloupce	Popis	Název proměnné
1	Číslo bloku	cisloBloku
2	Hodnota X v souřadném systému obrobku	X_M128
3	Hodnota Y v souřadném systému obrobku	Y_M128
4	Hodnota Z v souřadném systému obrobku	Z_M128
5	Poloha osy C	C
6	Poloha osy B	B
7	Přírůstek dráhy v souřadném systému obrobku	prirustekDrahy_M128
8	Přírůstek na ose C	prirustekC
9	Reverzace osy C	reverzaceC
10	Přírůstek na ose B	prirustekB
11	Reverzace osy B	reverzaceB
12	Větší z přírůstků rotačních os	vetsiPrirustekRotOs
13	Hodnota X v souřadném systému stroje	X_real
14	Přírůstek na strojní ose X	rozdilX_real
15	Hodnota Y v souřadném systému stroje	Y_real
16	Přírůstek na strojní ose Y	rozdilY_real
17	Hodnota Z v souřadném systému stroje	Z_real
18	Přírůstek na strojní ose Z	rozdilZ_real
19	Přírůstek dráhy v souřadném systému stroje	prirustkyDrahy_Real
20	Poměr rotačních a lineárních přírůstků v souřadném systému obrobku	pomerPrirustkuRotLinOS_M128
21	Poměr rotačních a lineárních přírůstků v souřadném systému stroje	pomerPrirustkuRotLinOS_real
22	Čas lineárních pohybů	tLin
23	Čas pohybu osy C	tC
24	Čas pohybu osy B	tB
25	Nejvyšší z časů pohybu os	tMax
26	Posuvová rychlost	posuv



**Příloha II – Uspořádání proměnných v „maticeVysledna“ pro tříosé obrábění**

Číslo sloupce	Popis	Název proměnné
1	Číslo bloku	cisloBloku
2	Hodnota X v souřadném systému obrobku	X_M128
3	Hodnota Y v souřadném systému obrobku	Y_M128
4	Hodnota Z v souřadném systému obrobku	Z_M128
5	Přírůstek dráhy	prirustekDrahy_M128

**Příloha III – Uspořádání proměnných v „maticeKruh“ pro tříosé obrábění**

Číslo sloupce	Popis	Název proměnné
1	Předchozí X	predchoziX
2	Předchozí Y	predchoziY
3	Předchozí Z	predchoziZ
4	Hodnota X	X
5	Hodnota Y	Y
6	Hodnota Z	Z
7	Následující X	X
8	Následující Y	Y
9	Následující Z	Z
10	Směr kruhové interpolace	drSmer

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

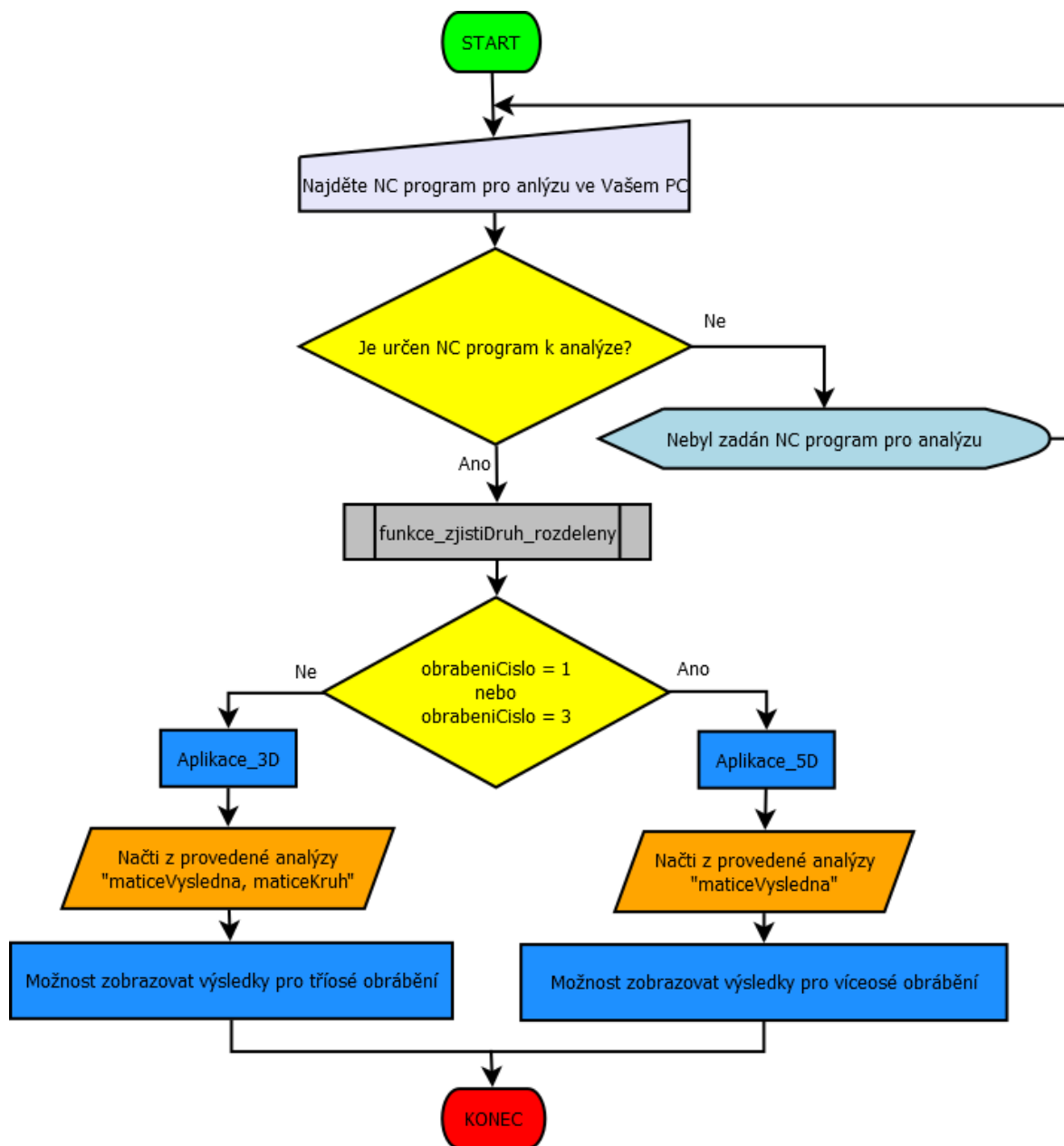
Parametr	Hodnota	Jednotka
<b>Stůl</b>		
Upínací plocha	1300 x 600	mm
T-drážky (počet x šířka x rozteč)	5 x 18 x 125	mm
Maximální nosnost stolu	1 000	kg
<b>Pracovní rozsah</b>		
Osa X	1016	mm
Osa Y	610	mm
Osa Z	660	mm
Vzdálenost vřetena od plochy stolu	150 – 810	mm
Vzdálenost vřetena od stojanu	635	mm
<b>Vřeteno</b>		
Kuželová dutina vřetena	ISO 40	---
Rozsah otáček	20 – 7 500	min -1
Změna otáček	plynule měnitelné	---
<b>Posuv</b>		
Pracovní posuv X, Y, Z	2-12 000	mm/min
Rychloposuv X, Y, Z	22 000	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	3080	mm
Šířka	2700	mm
Výška	2940	mm
<b>Pracovní výška</b>	940	mm
<b>Hmotnost stroje</b>	5500	kg
<b>Zvláštní doplňky stroje</b>		
Přídavné pneumatické vřeteno Deuschle–max. otáčky	70 000	min -1
Laser	---	---

**Příloha V – 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
ku (naklopení osy 30°-90°) 50 kg H	190	kg

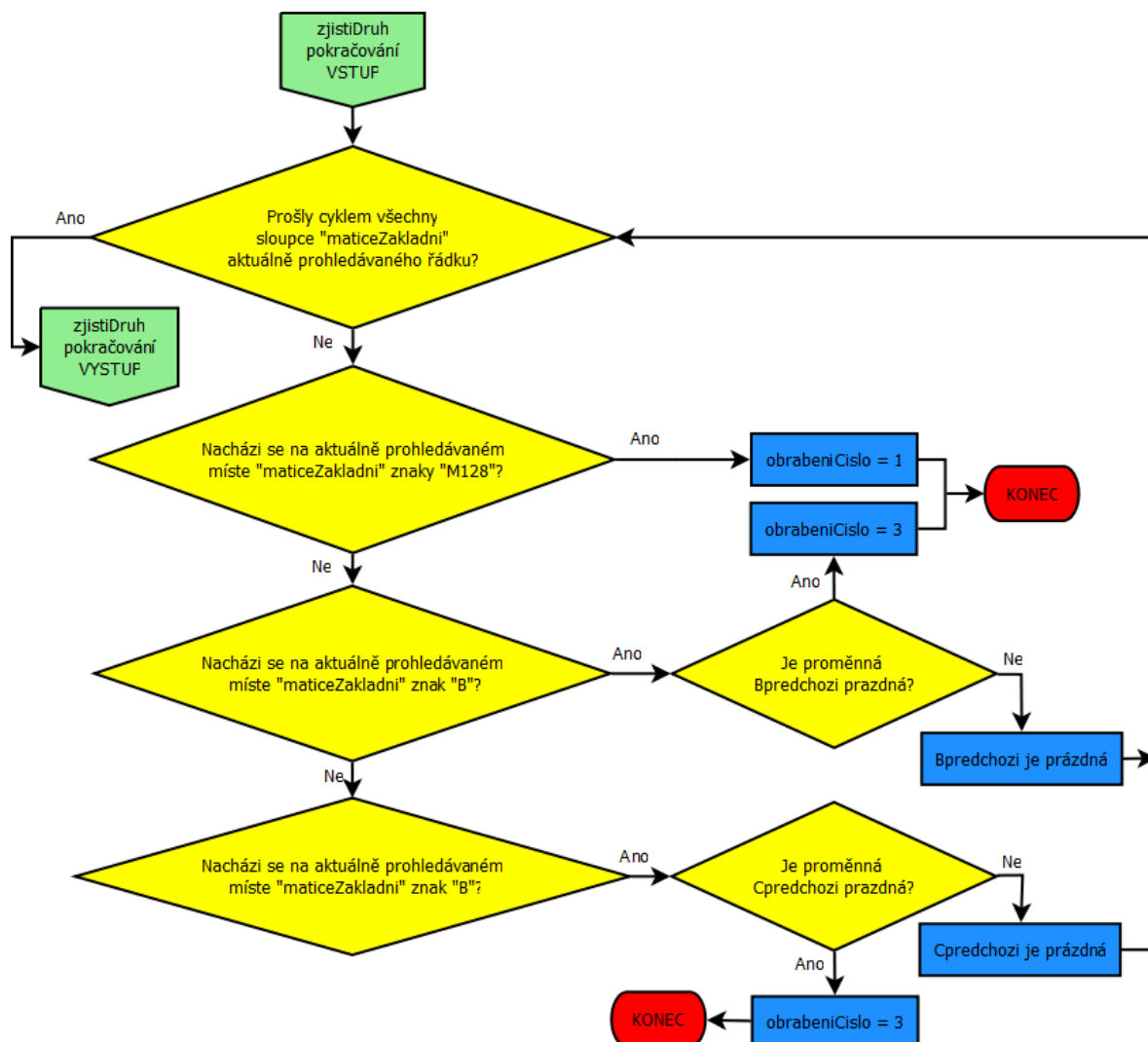
	Rotační osa	Naklápěcí osa	Jednotka	Poznámka
Použitý motor	1FT6044	1FT6044	---	firma Siemens
Přesnost polohování	+/- 5	+/- 10	“	přímé odměřování
Rychlost otáčení	22,2	11,1	min-1	---
Převodový poměr	1:90	1:180	---	---
Zpevnování polohy	hydraulické	hydraulické	---	---
Minimální inkrement	0,001	0,001	°	---

## Příloha VI – Hlavní okno softwaru

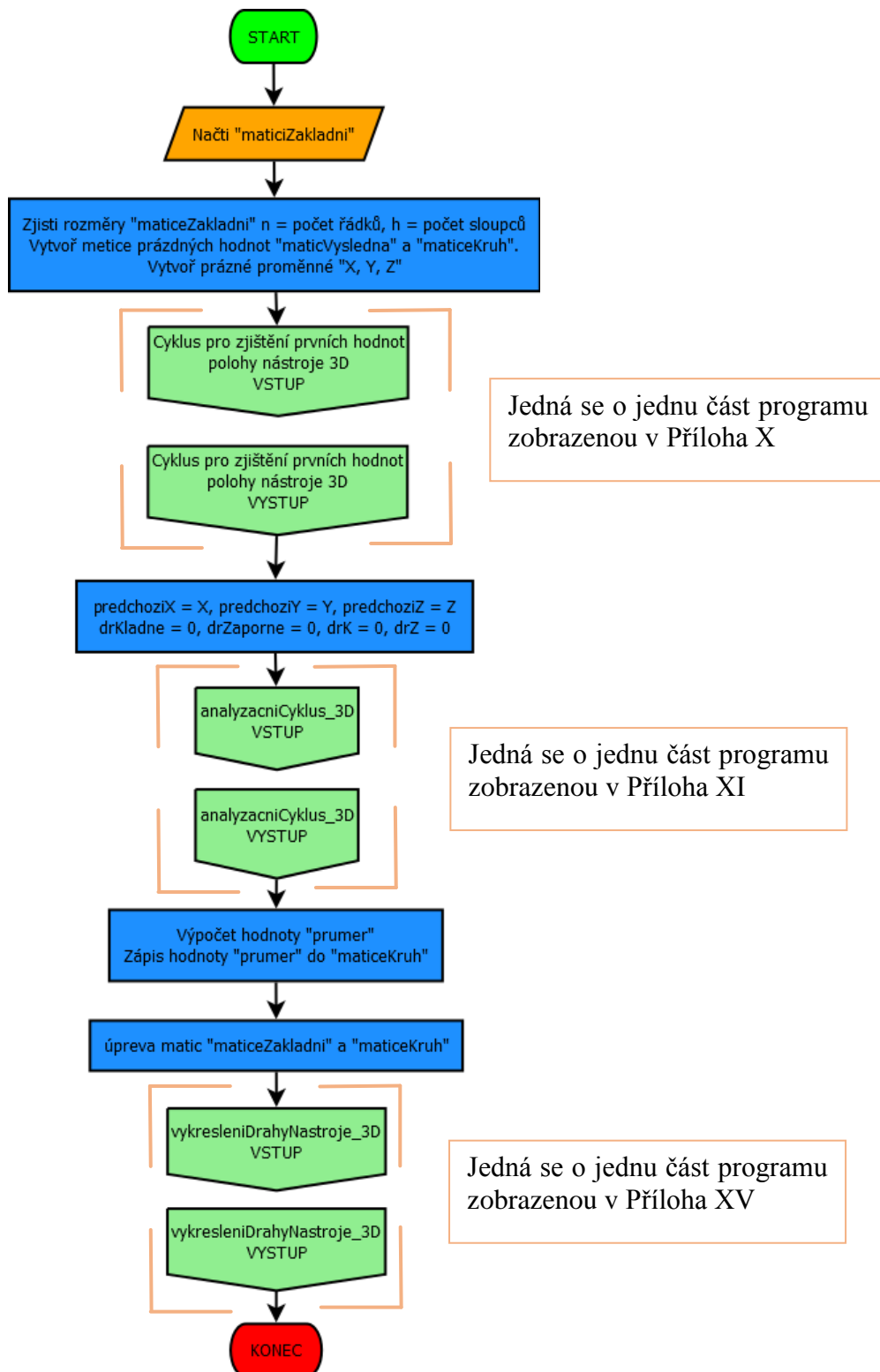




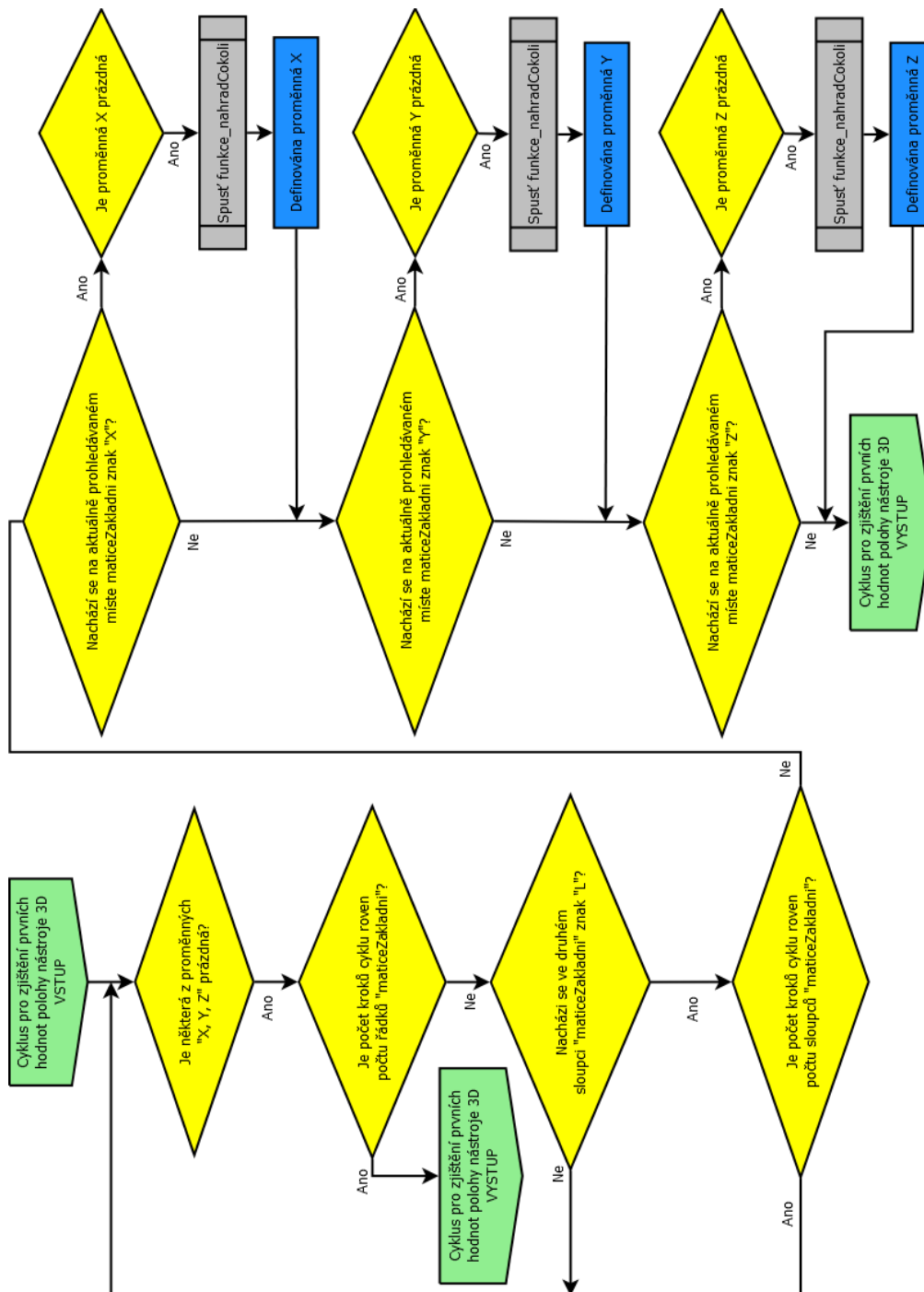
### Příloha VIII – Funkce „Zjistí druh obrábění 2“ (pokračování)



## Příloha IX – Skript pro tříosé obrábění

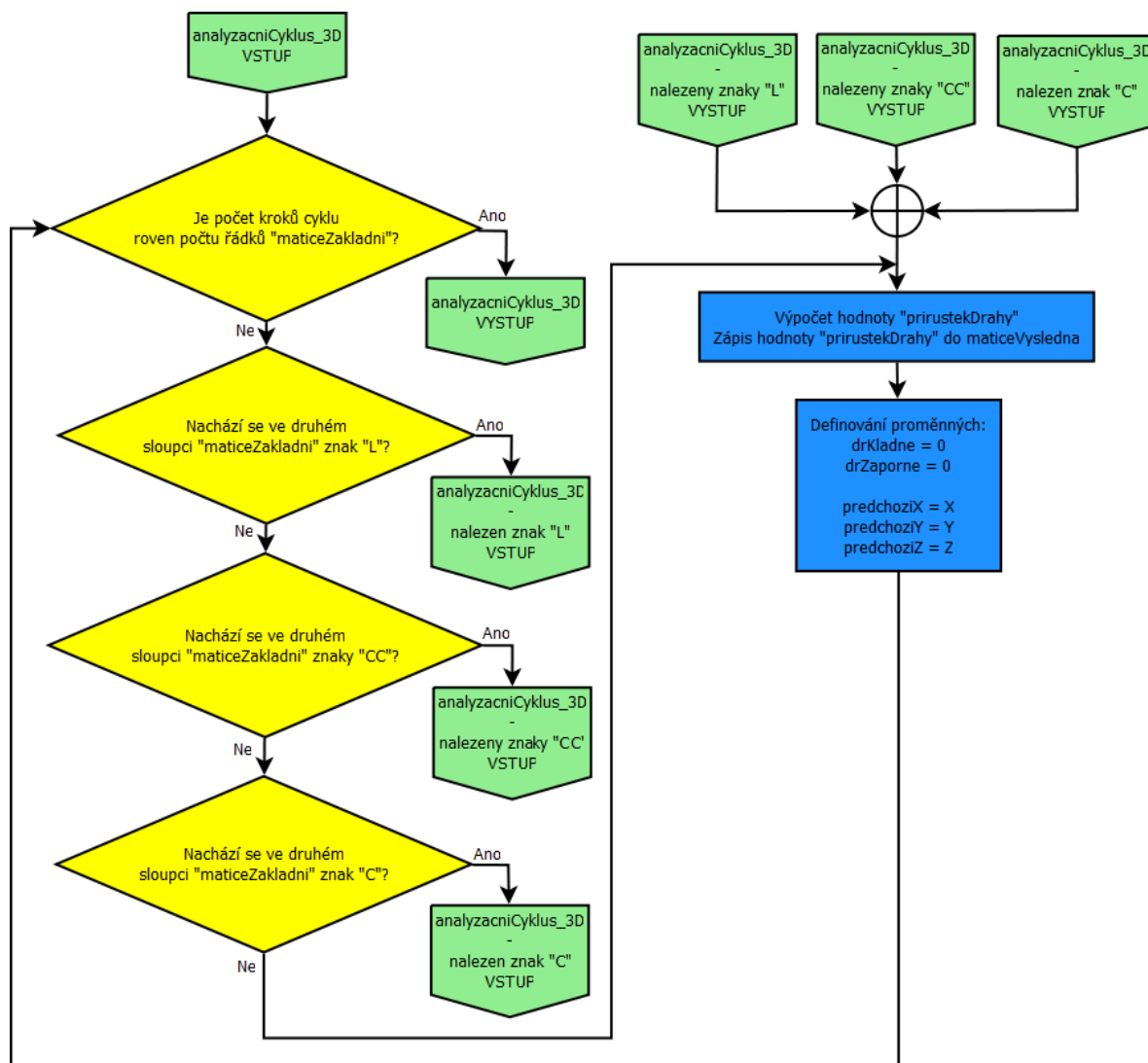


### Příloha X – Cyklus pro zjištění prvních hodnot polohy nástroje pro tříosé obrábění

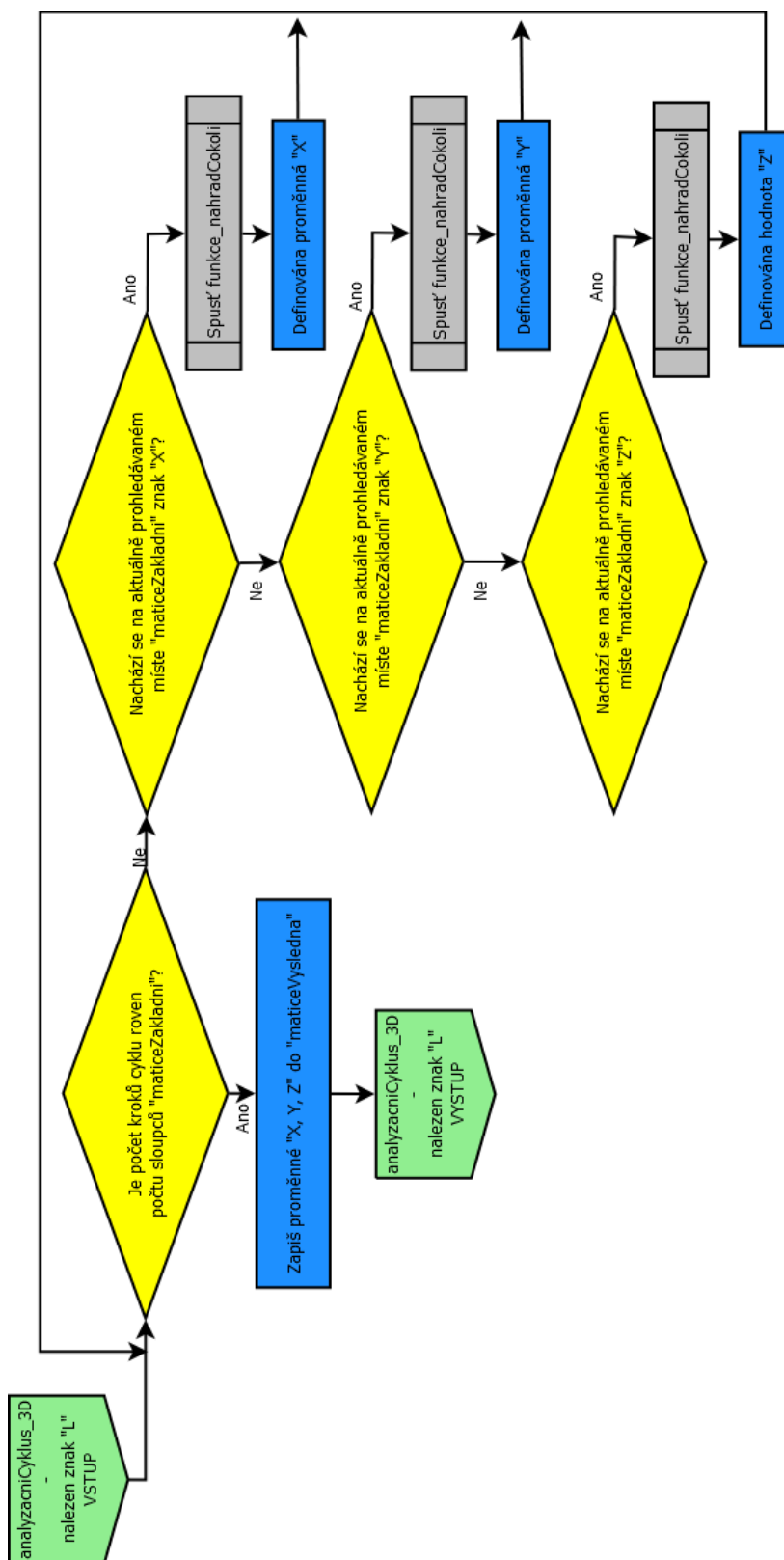




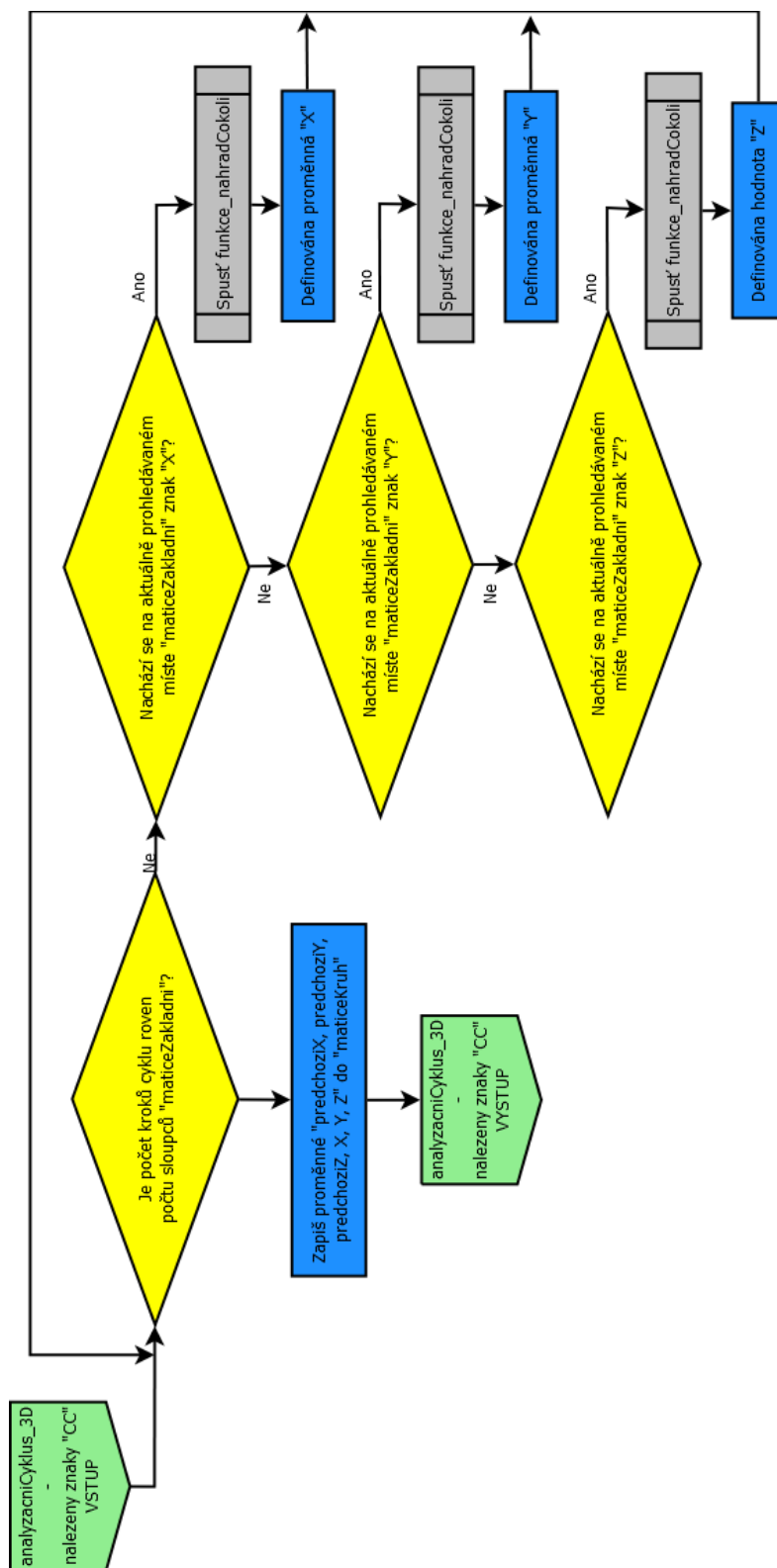
### Příloha XI – Analyzační cyklus pro tříosé obrábění (výpočty parametrů)



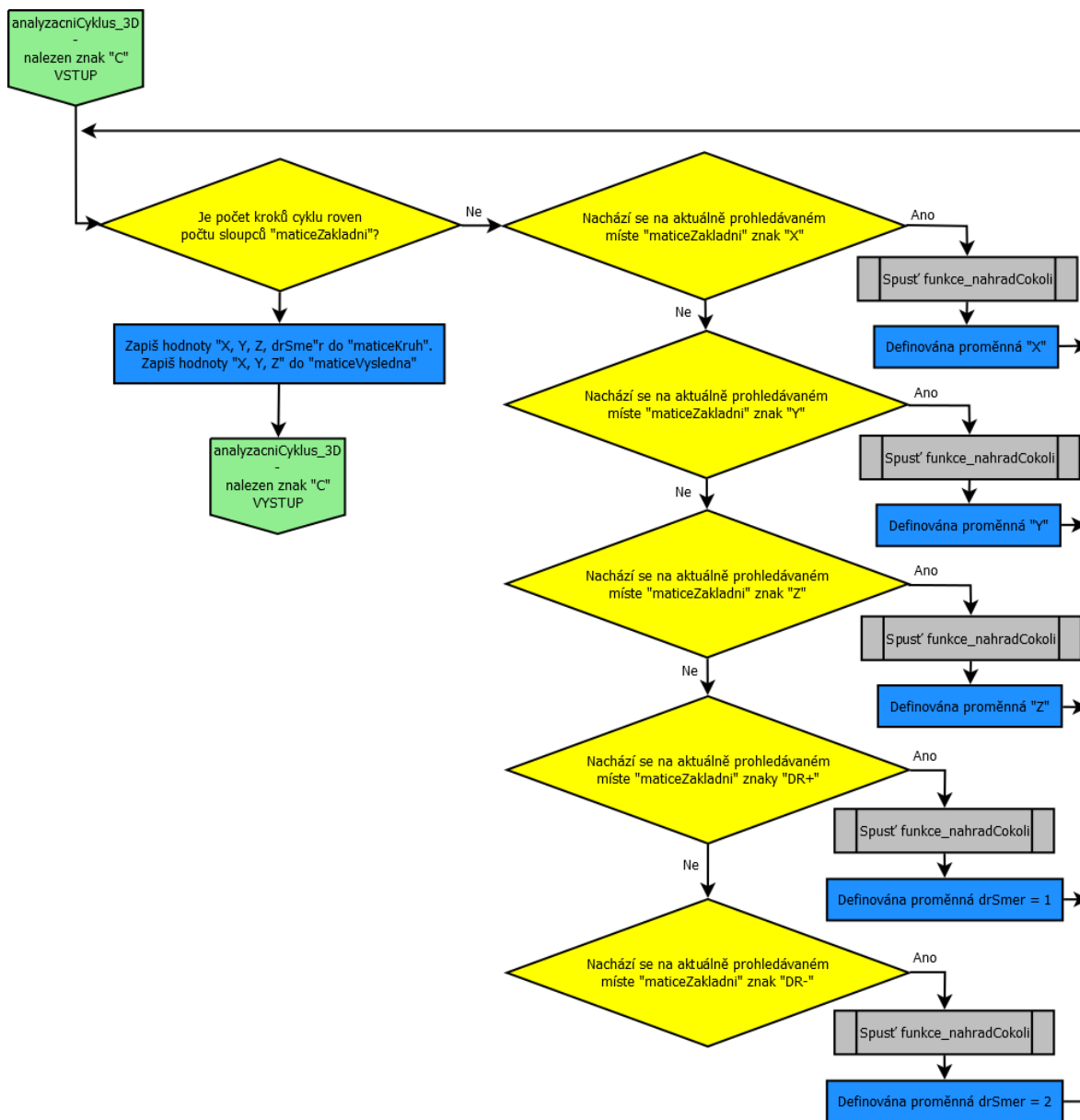
**Příloha XII – analyzacniCyklus\_3D nalezen znak „L“ – použití lineární interpolace**



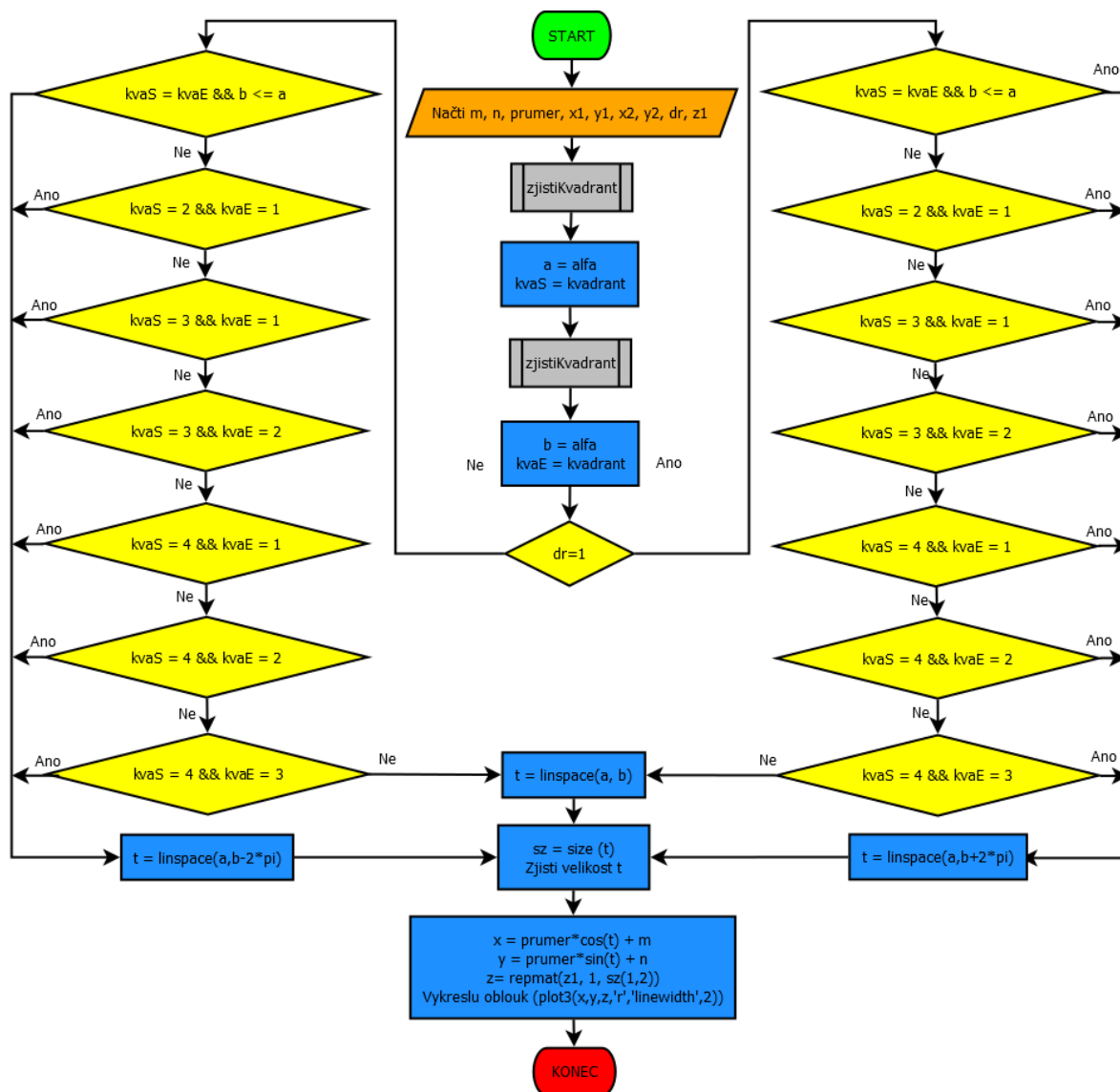
**Příloha XIII – analyzacniCyklus\_3D nalezeny znaky "CC" – použití zápisu středu kruhové interpolace**



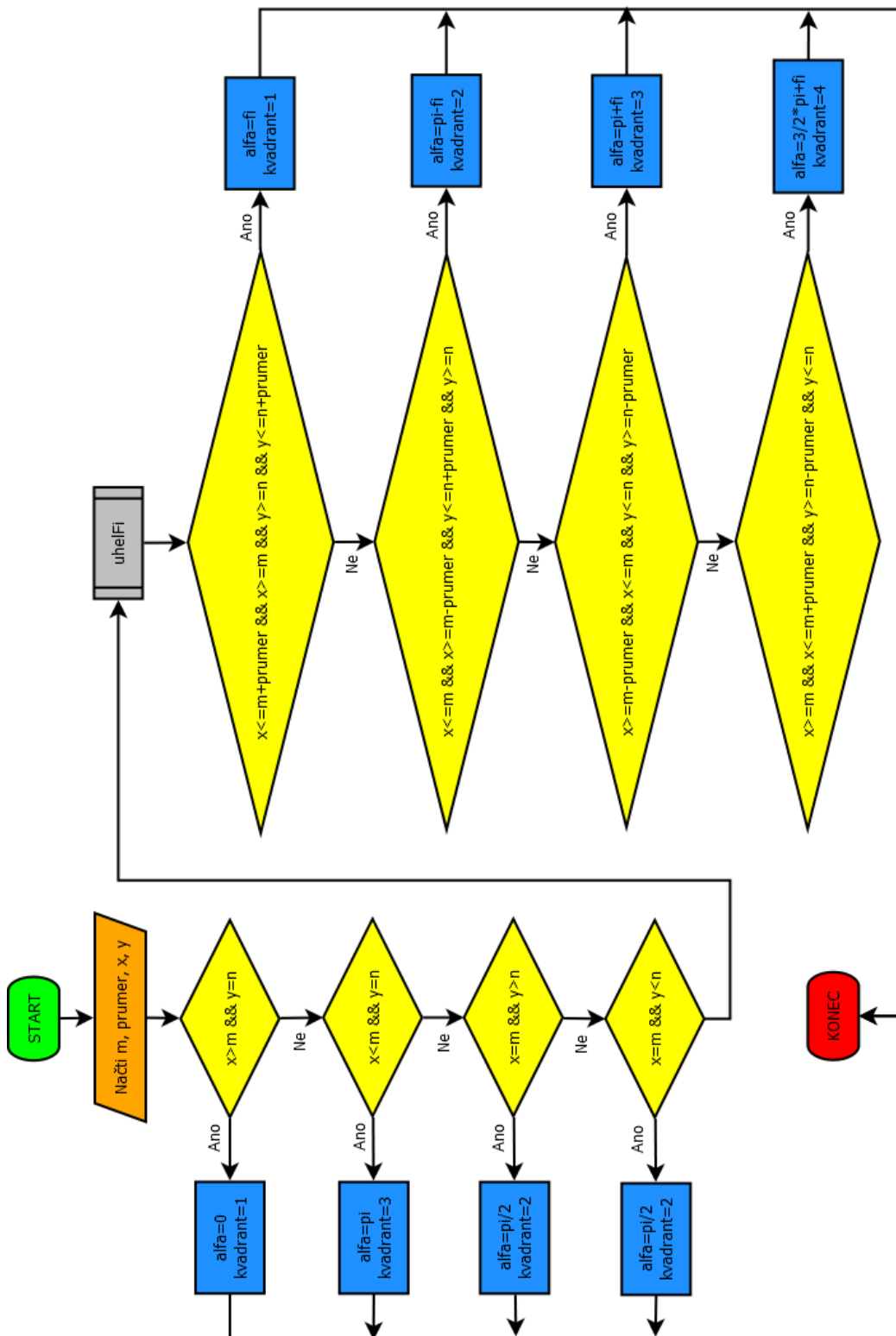
**Příloha XIV – analyzacniCyklus\_3D nalezeny znaky "C" – použití definice konce kruhové interpolace**



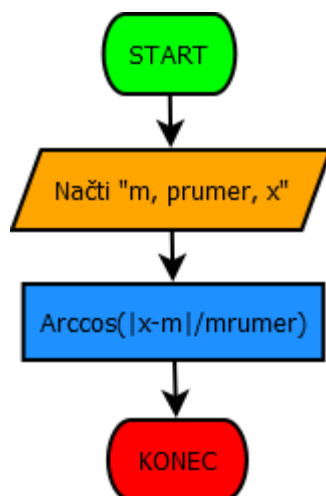
**Příloha XV – Funkce pro vykreslení kruhových interpolací**



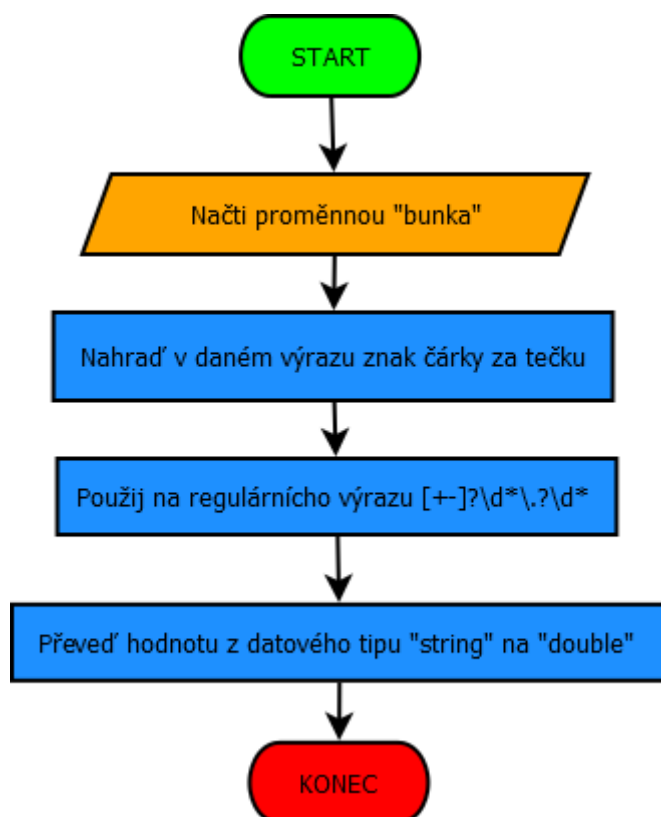
**Příloha XVI – Funkce „zjistíKvadrant“ pro zjištění kvadrantu, ve kterém začíná nebo ve kterém končí kruhová interpolace**



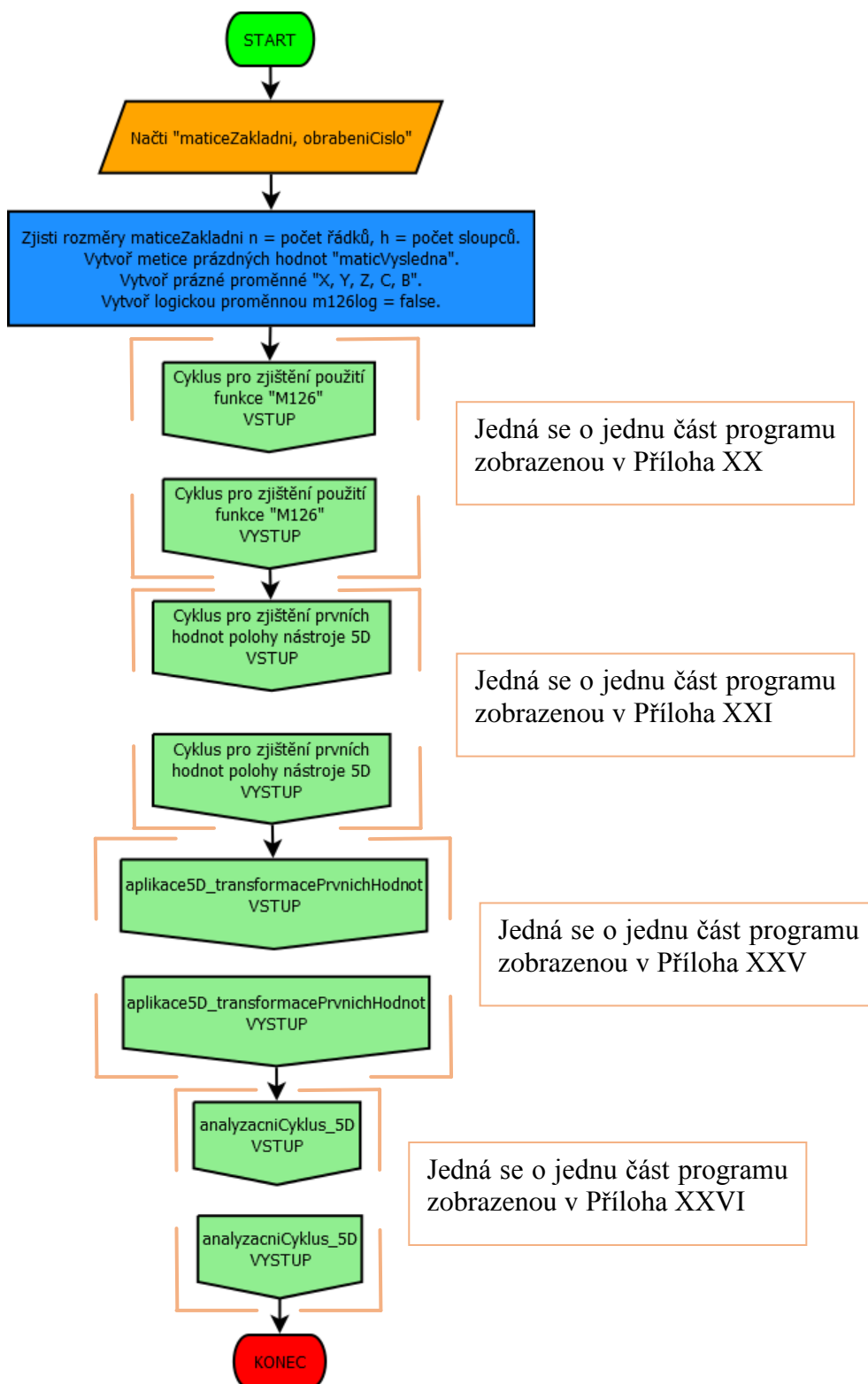
### Příloha XVII – Funkce „uhelFi“ pro určení úhlu



### Příloha XVIII – Funkce „nahradCokoli“ pro úpravu nalezených hodnot z textů na čísla

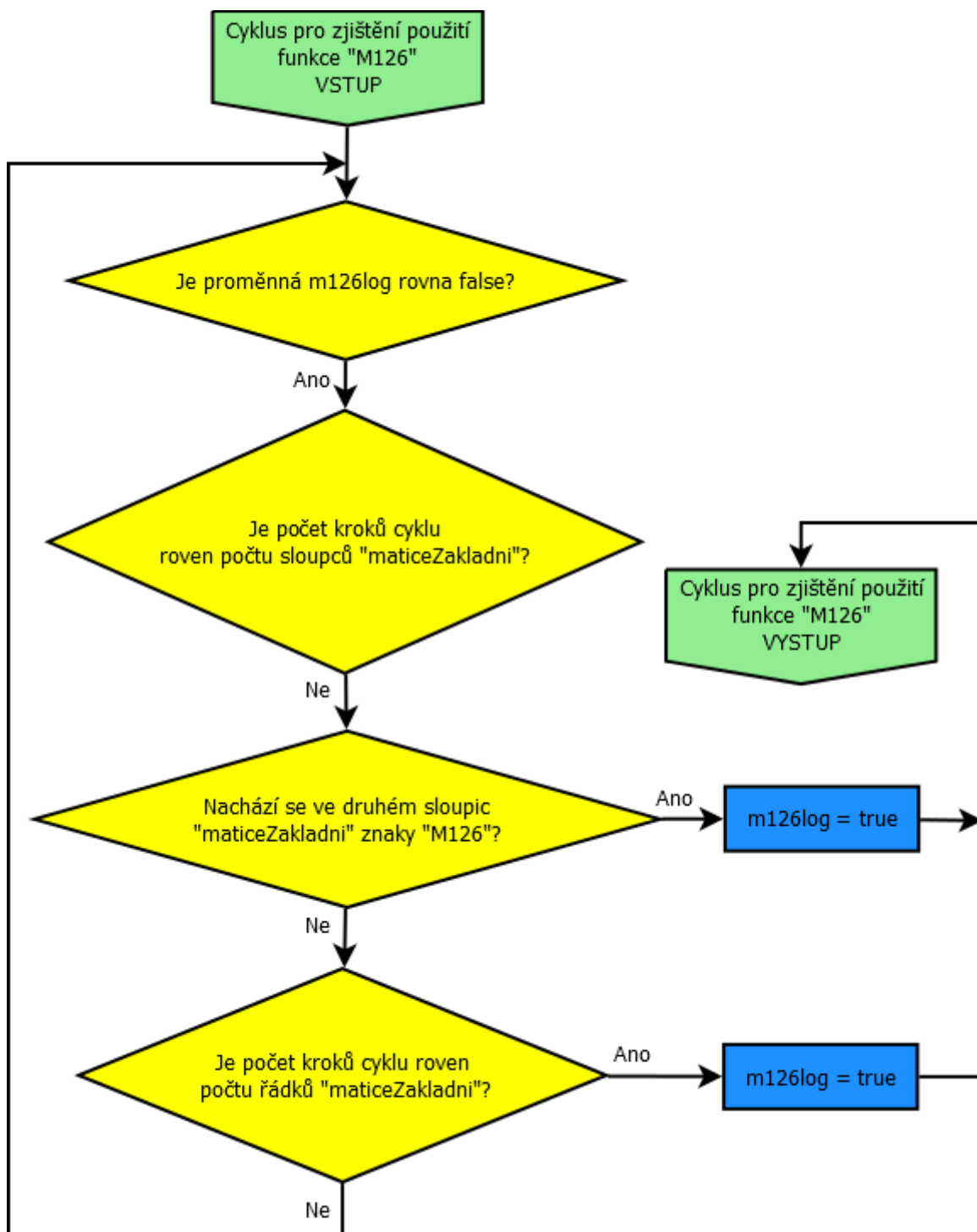


## Příloha XIX – Skript pro víceosé obrábění

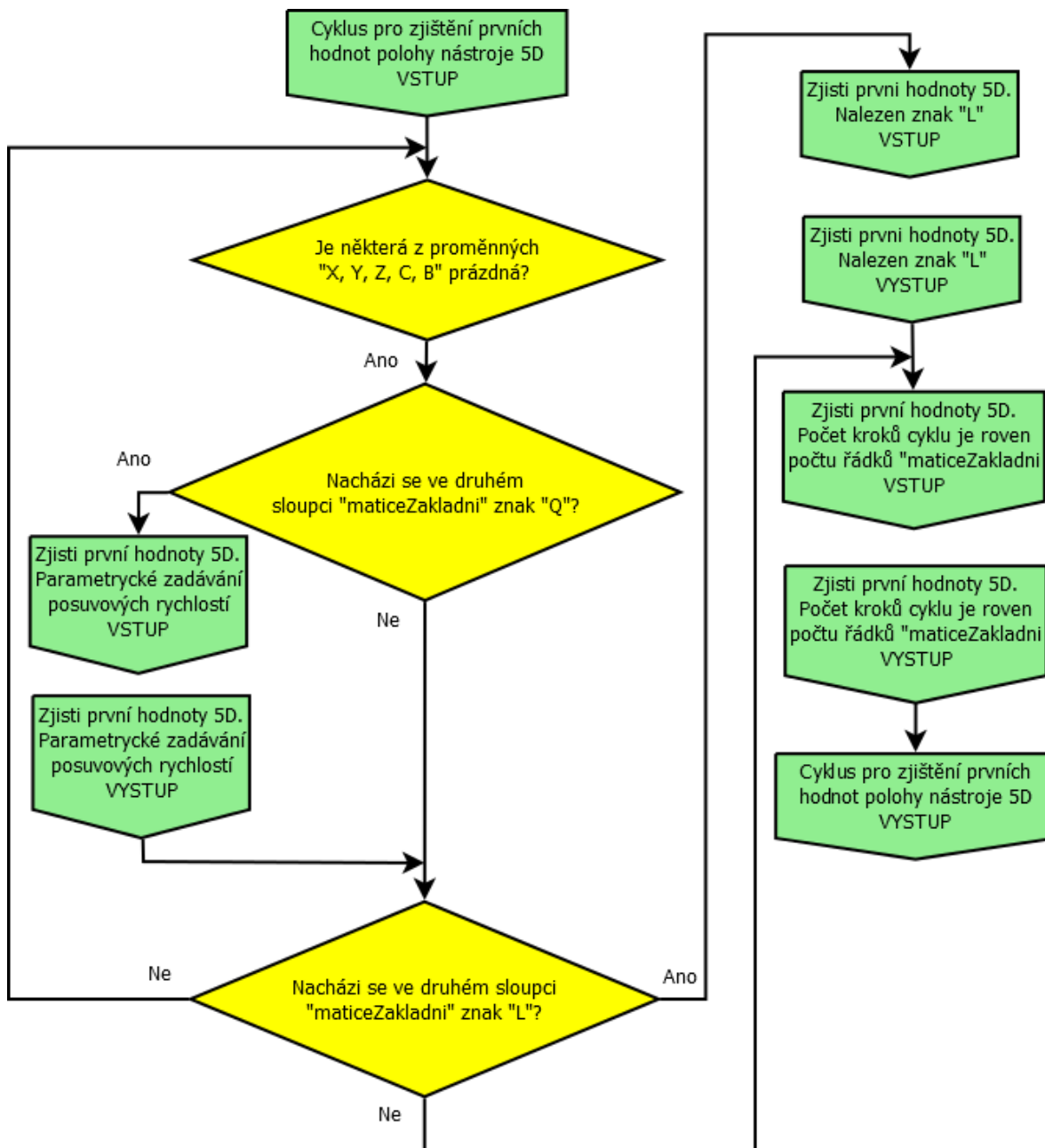




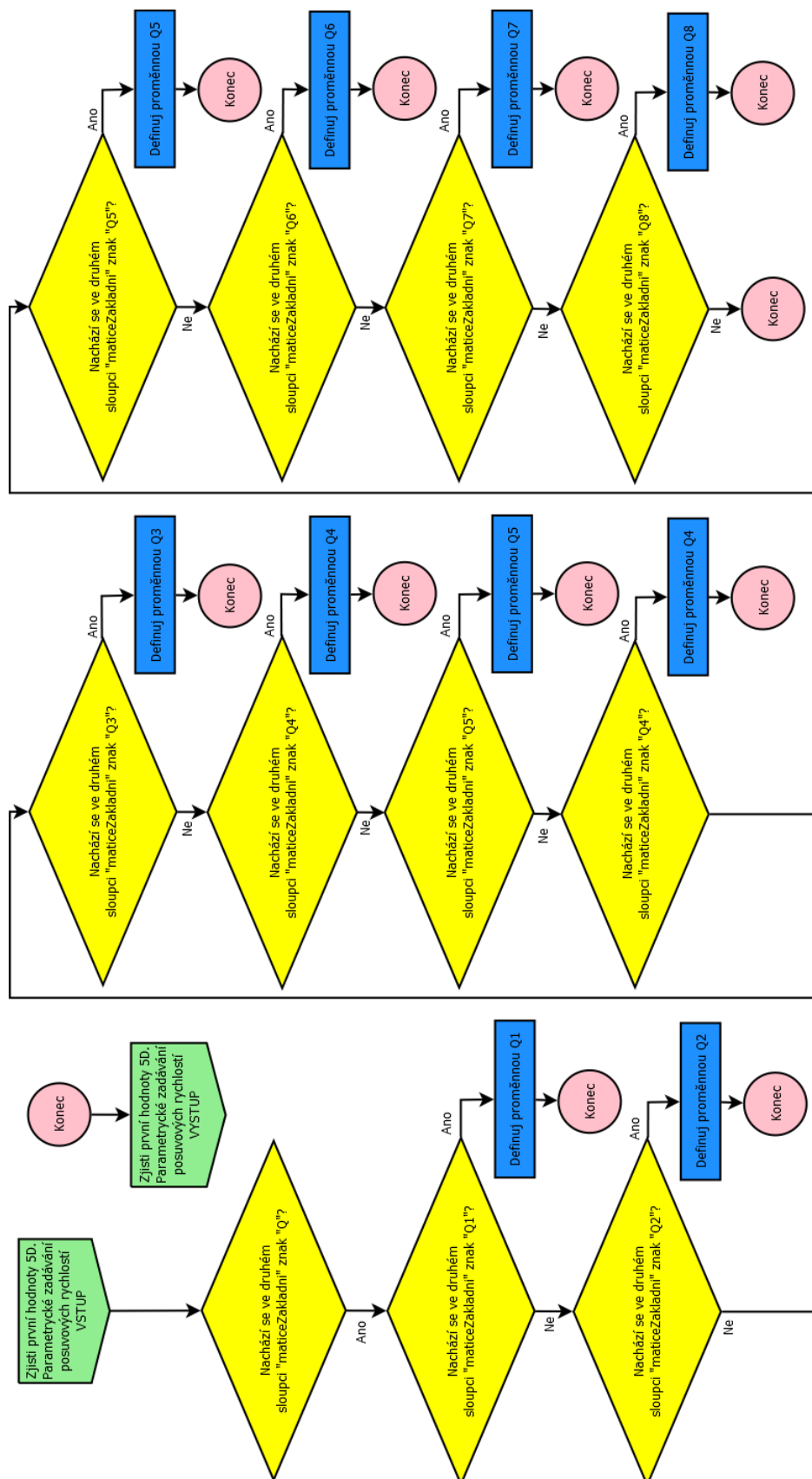
## Příloha XX – Cyklus pro zjištění použití funkce M126



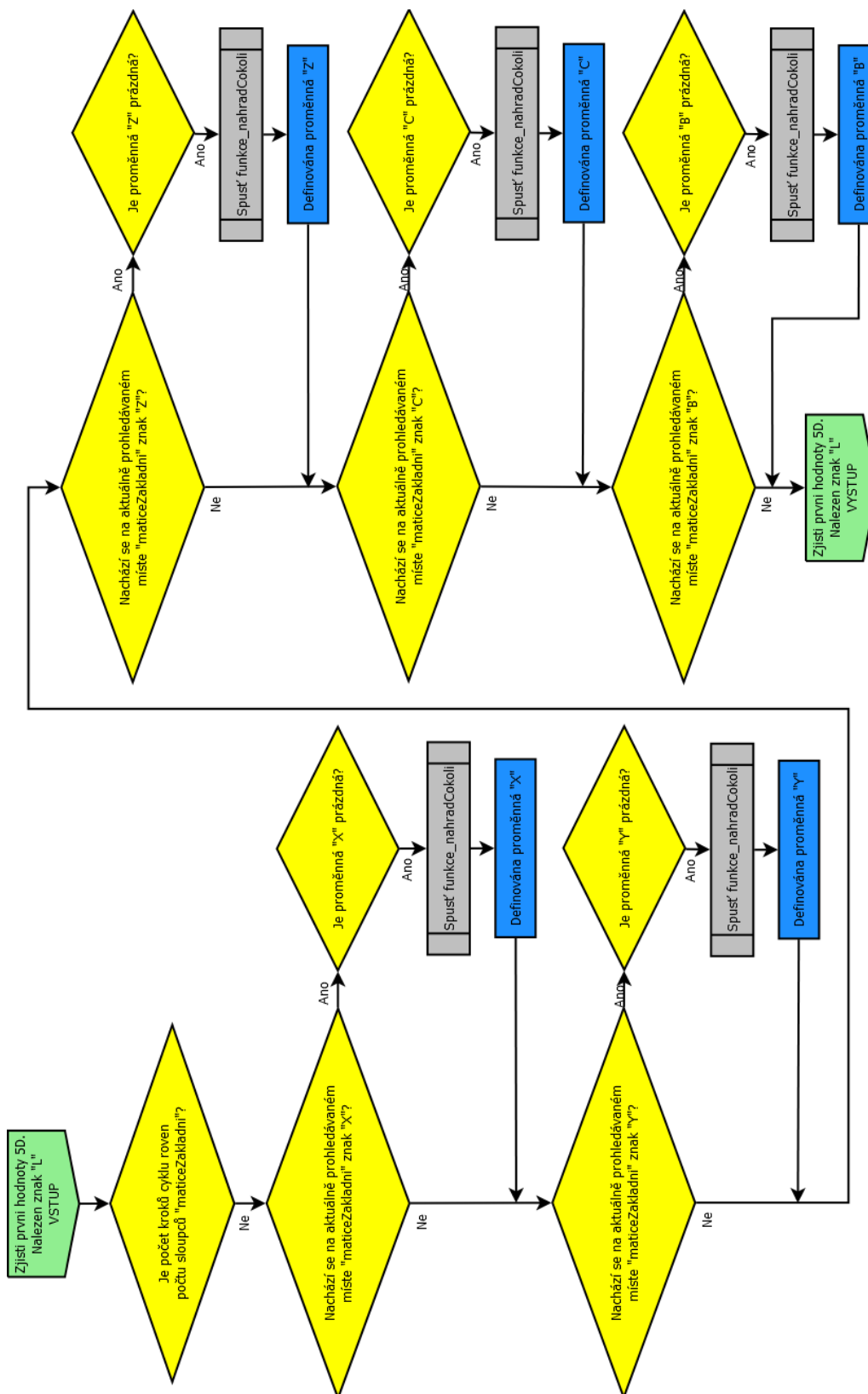
**Příloha XXI – Cyklus pro zjištění prvních hodnot polohy nástroje pro víceosé obrábění**



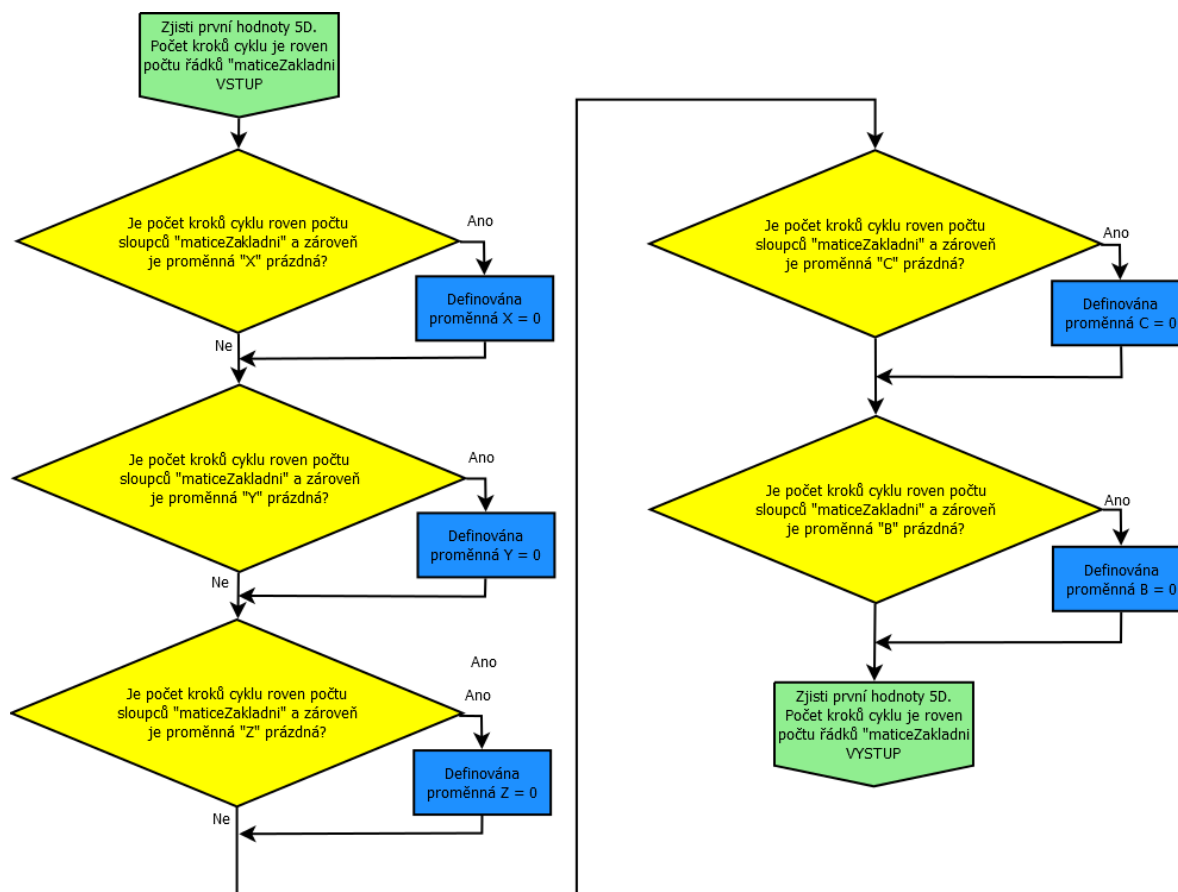
**Příloha XXII – Zjištění parametricky zadaných posuvových rychlostí**



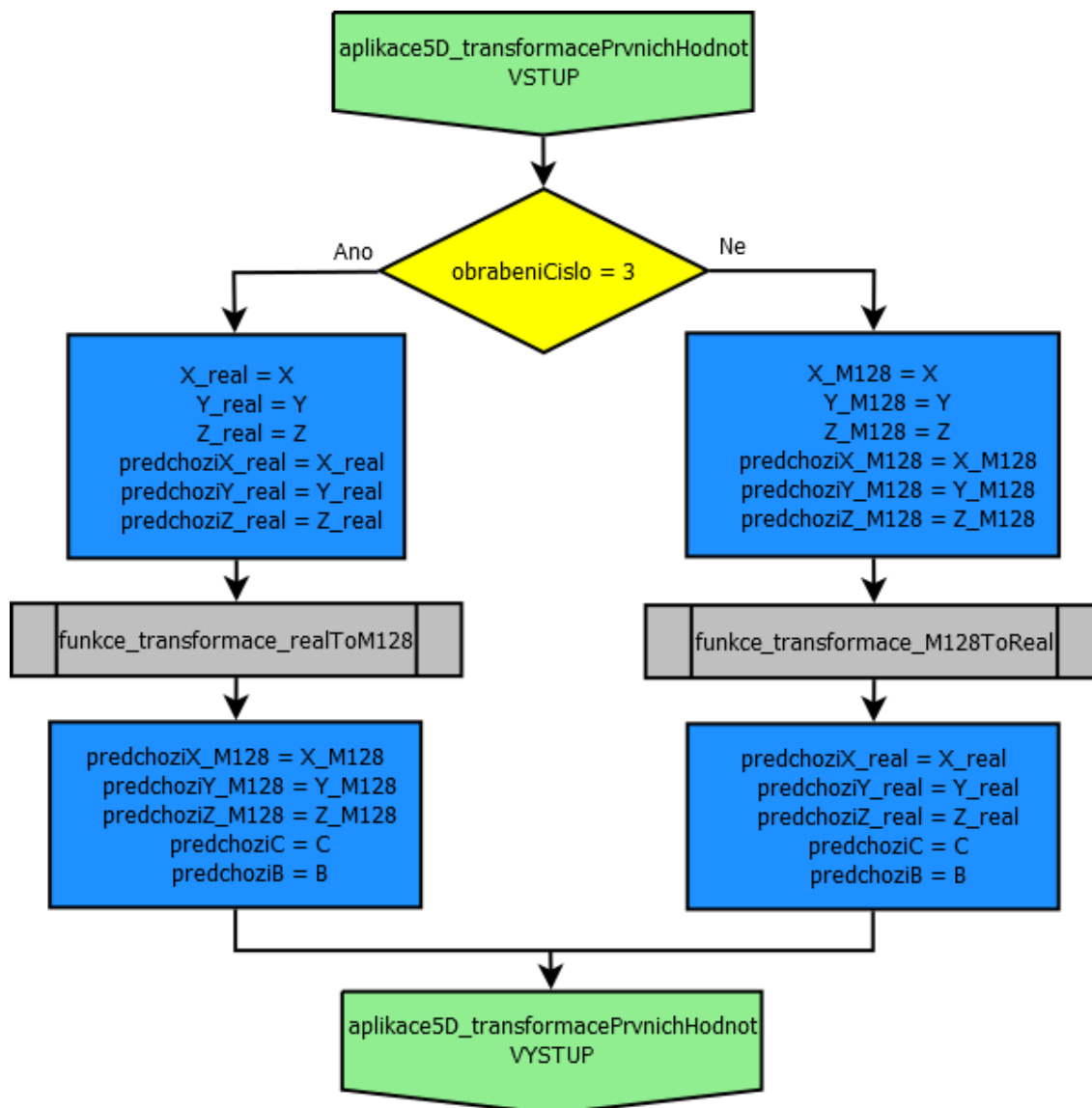
**Příloha XXIII – Zjištění prvních hodnot polohy nástroje, nalezen znak „L“**



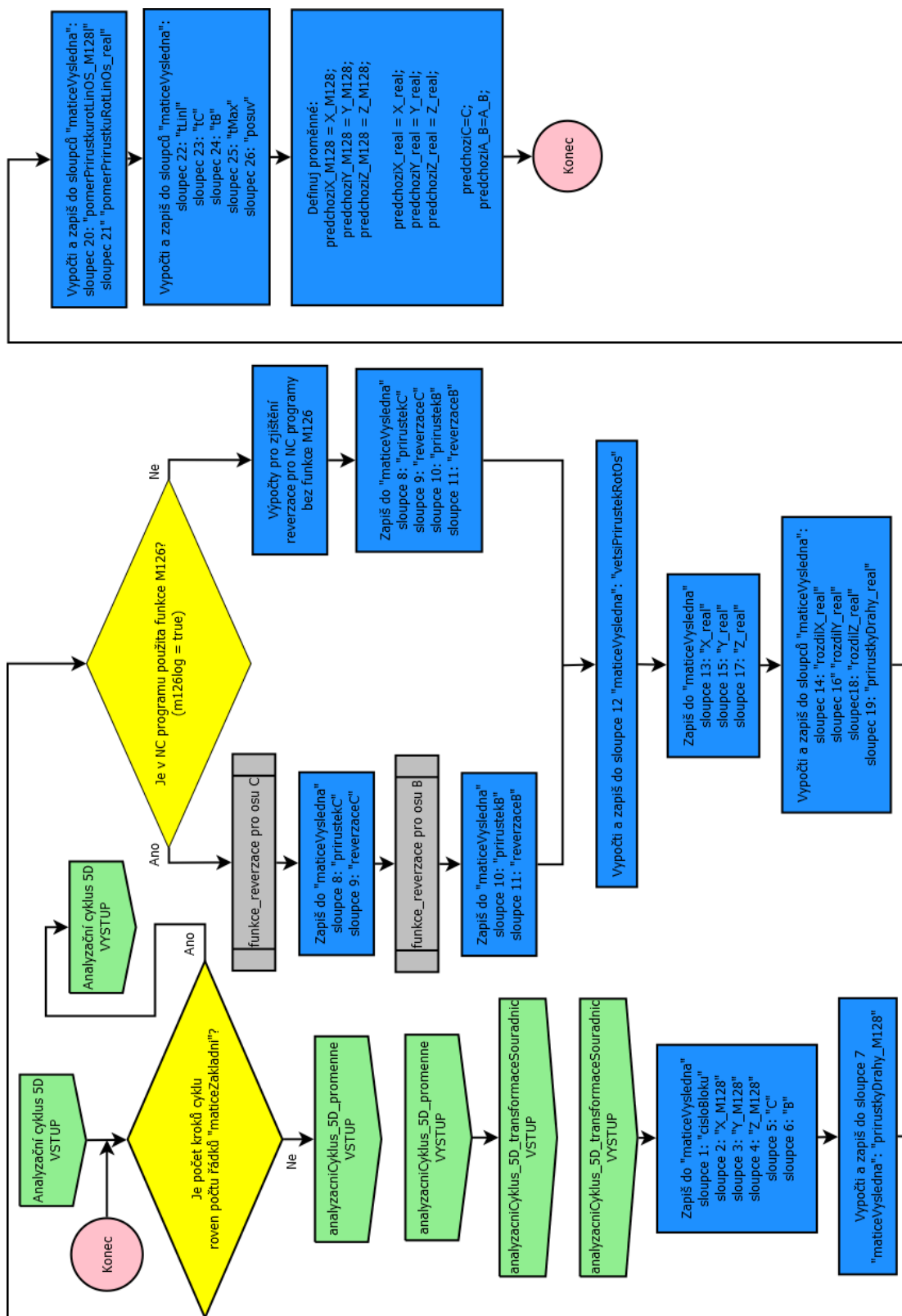
### Příloha XXIV – Zjištění prvních hodnot polohy nástroje, některá ze souřadnic se v NC programu nevyskytuje



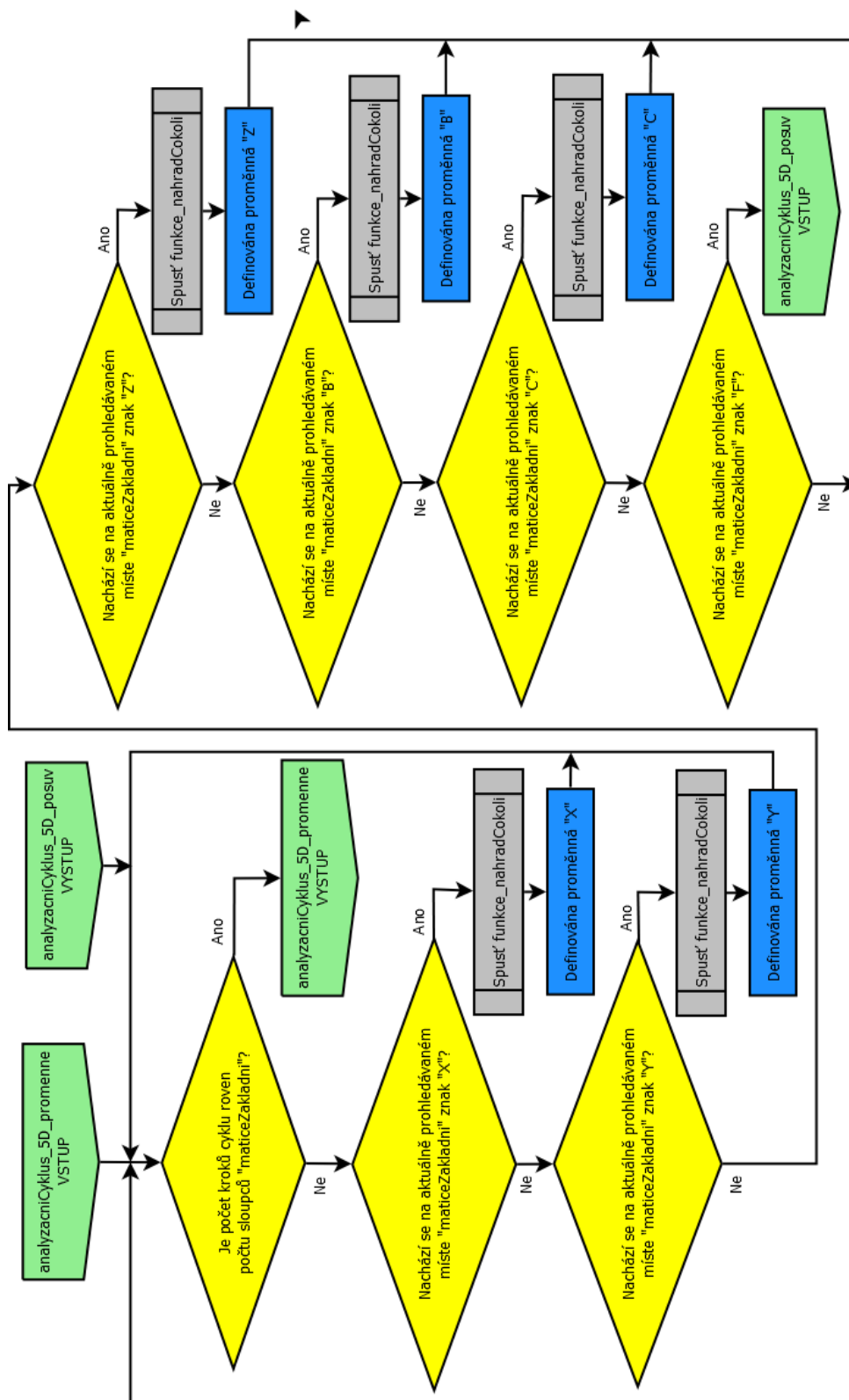
Příloha XXV – Transformace prvotních zjištěných souřadnic



## Příloha XXVI – Analyzační cyklus pro víceosé obrábění (výpočty parametrů)

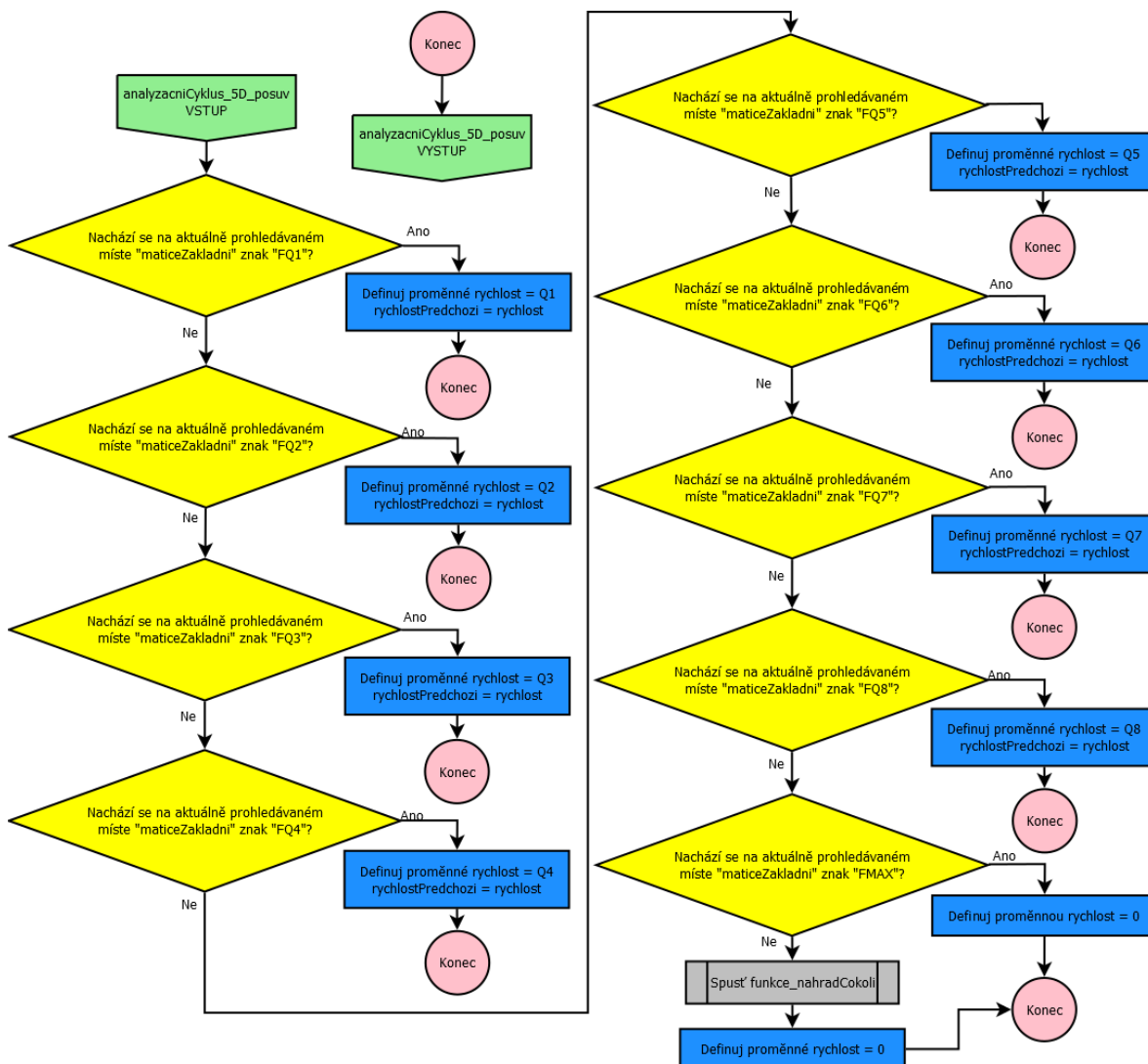


## Příloha XXVII – Analyzační cyklus pro vícesosé obrábění – načítání souřadnic polohy nástroje

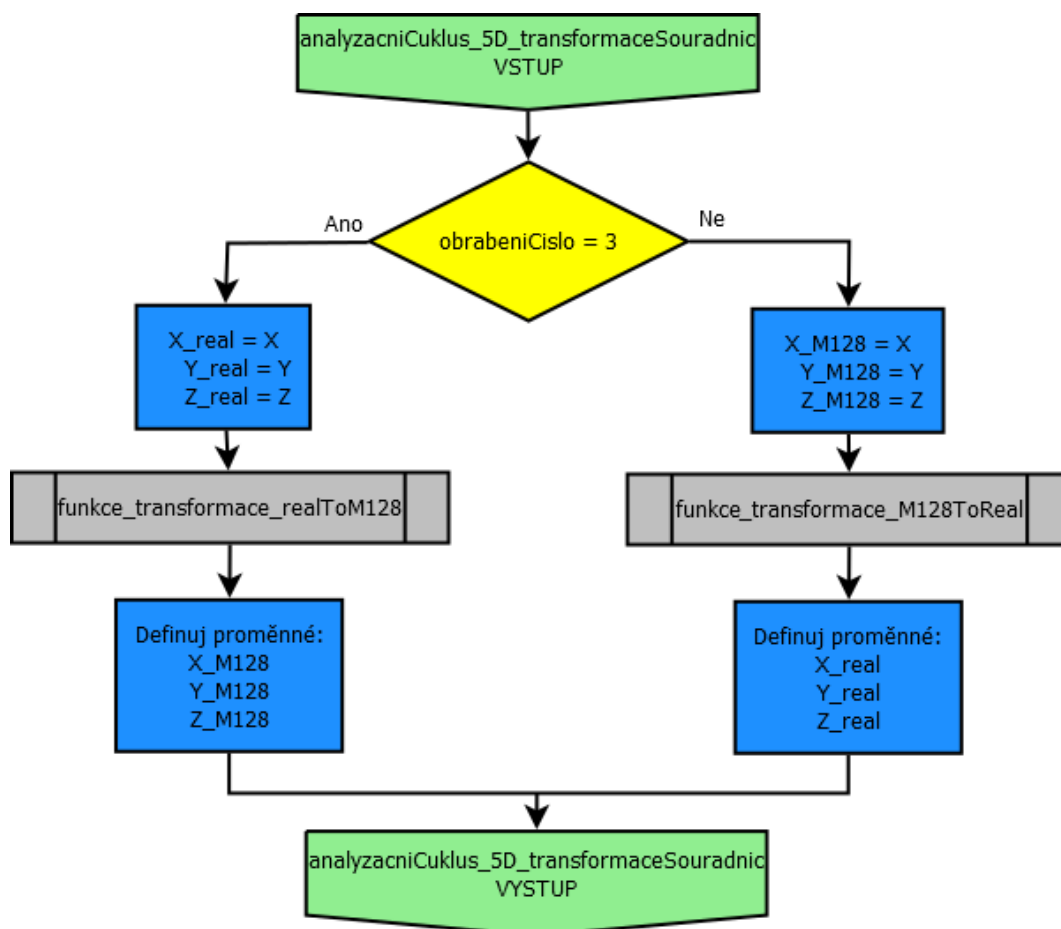




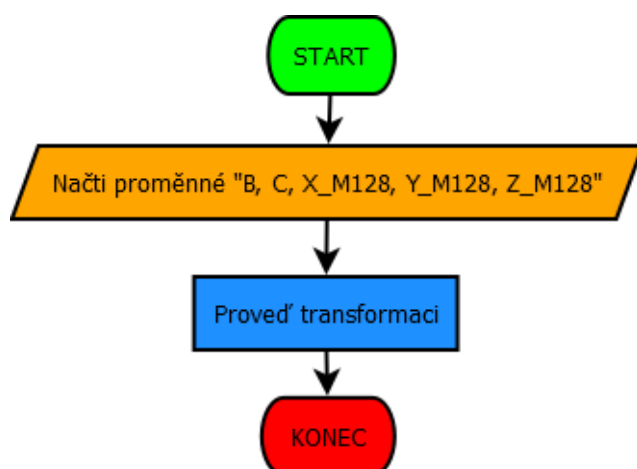
## Příloha XXVIII – Analyzační cyklus pro víceosé obrábění – načítání souřadnic polohy nástroje



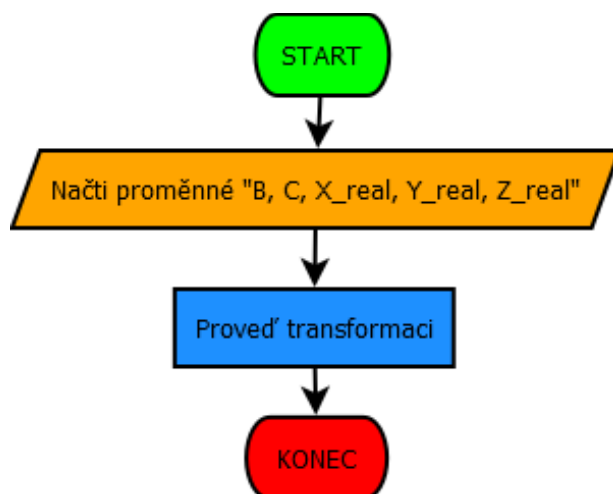
### Příloha XXIX – Analyzační cyklus pro víceosé obrábění – transformace souřadnic



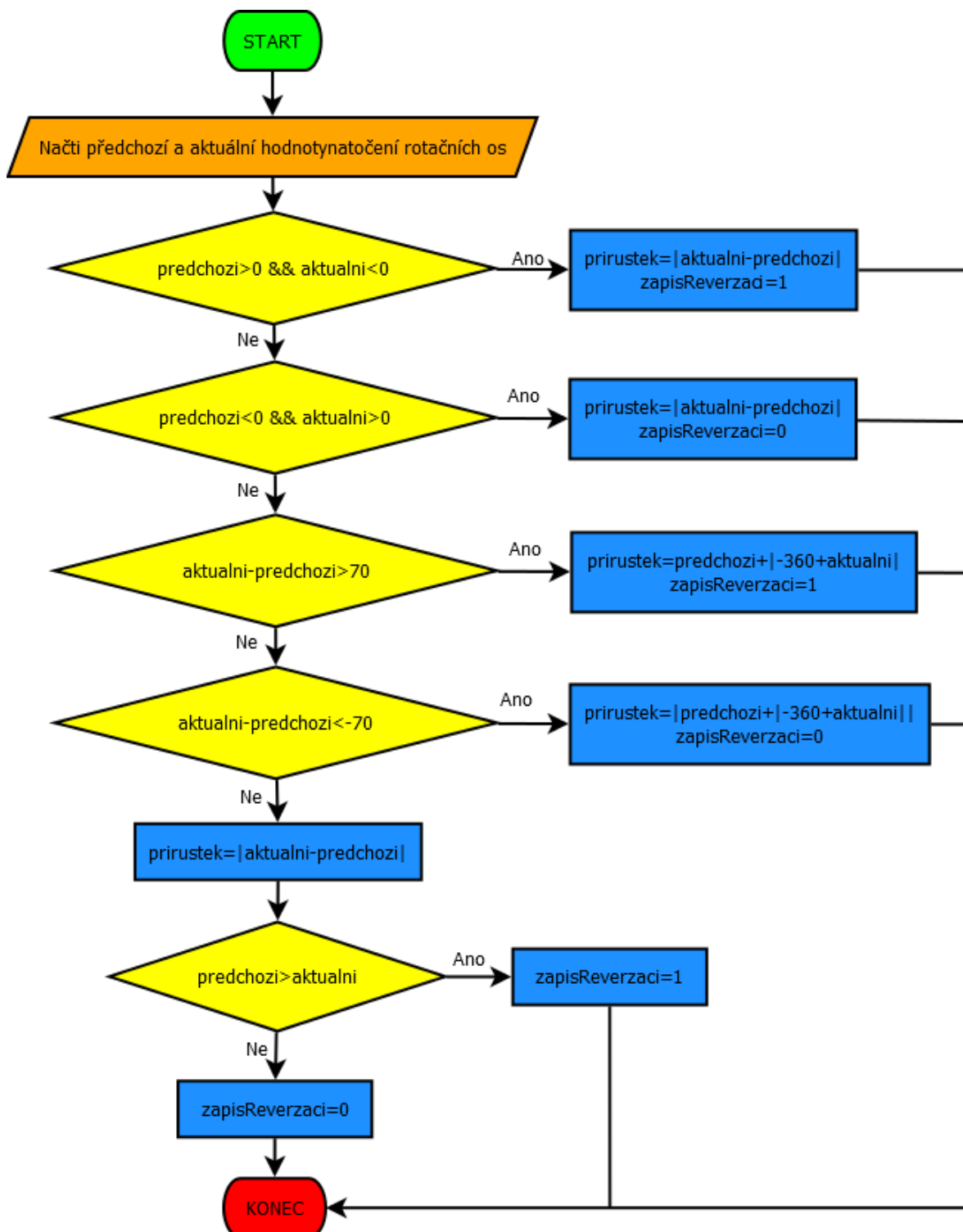
**Příloha XXXI – Transformace souřadnic ze souřadného systému  
obrobku na souřadnice souřadného systému stroje**



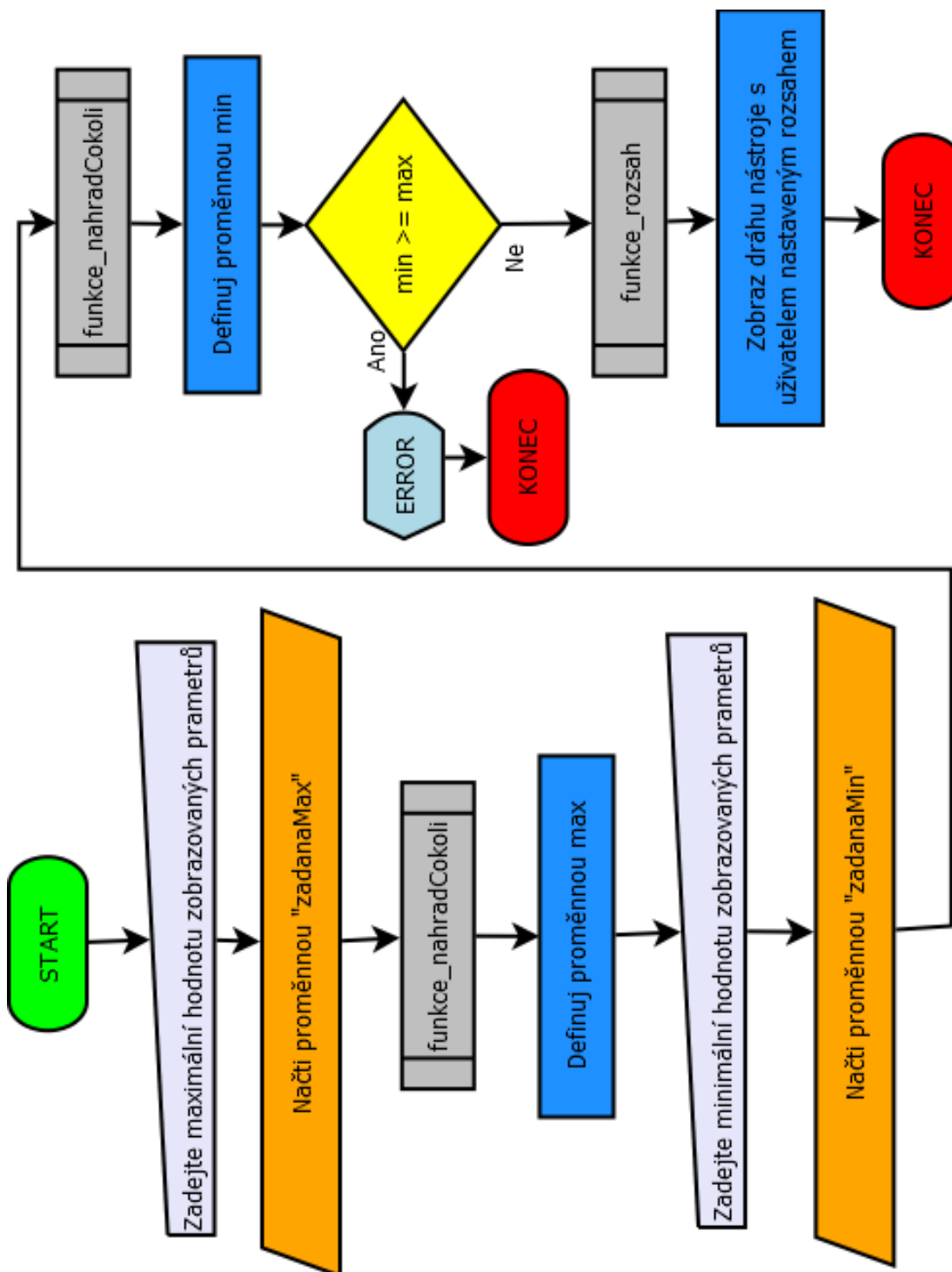
**Příloha XXX – Transformace souřadnic ze souřadného systému  
obrobku na souřadnice souřadného systému stroje**



**Příloha XXXII – Funkce pro zjištění reverzace rotačních os**



### Příloha XXXIII – Funkce pro změnu rozsahu zobrazovaných hodnot



**Příloha XXXIV – Funkce „rozsah“ – výpočetní část zajišťující určení rozsahu**

