

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA STROJNÍ

Ústav výrobních strojů a zařízení



# Bakalářská práce

**Postprocesor a simulační model pro obráběcí stroj Tajmac H630**

2022

Jan Svárovský

## I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Svárovský** Jméno: **Jan** Osobní číslo: **484043**  
Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**  
Zadávající katedra/ústav: **Ústav výrobních strojů a zařízení**  
Studijní program: **Strojírenství**  
Studijní obor: **Konstruování podporované počítačem**

## II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

**Postprocessor a simulační model pro obráběcí stroj Tajmac H630**

Název bakalářské práce anglicky:

**Postprocessor and simulation model for Tajmac H630 machine tool**

Pokyny pro vypracování:

Popis tématu: Student bude pracovat na vytvoření postprocesoru a simulačního modelu pro obráběcí stroj Tajmac H630 v laboratoři CIIRC. Postprocessor a simulační model bude vytvořen pro CAM systém Siemens NX.; Osnova práce: Popis stroje Tajmac H630 umístěného v laboratoři CIIRC. Programování CNC strojů. Rešerše funkcí řídicího systému Sinumerik 840 pro frézování včetně funkcí pro ovlivnění dráhy nástroje. Specifické funkce stroje Tajmac H630. Rešerše tematiky tvorby postprocesorů a simulačních modelů pro frézovací stroje v NX CAM. Návrh variant řešení postprocesoru pro NX CAM. Tvorba postprocesoru pro stroj Tajmac H630 s ř.s. Sinumerik 840D pro NX CAM. Tvorba simulačního modelu stroje Tajmac H630. Příprava testovacího dílce a drah nástrojů v Siemens NX a vizualizace obrábění s využitím simulačního modelu stroje. Testování postprocesoru a simulačního modelu ověřením NC programů na stroji Tajmac H630. Rozsah textové části: 40 - 60 stran; Rozsah grafické části: Návodka obrábění zvoleného testovacího dílce.

Seznam doporučené literatury:

[1] Machine Tool Control. SIEMENS [online]. [cit. 2017-01-14]. Dostupné z: <https://www.plm.automation.siemens.com/en/products/nx/for-manufacturing/machine-tool-controllers/>; [2] SINUMERIK 810D/840D Manual, Tool and Mold Making. ([https://support.industry.siemens.com/cs/document/28787329/sinumerik-840d-840di-810d-802d-sl%3A-tool-and-mold-making\(3-axes\)?dti=0&lc=en-US](https://support.industry.siemens.com/cs/document/28787329/sinumerik-840d-840di-810d-802d-sl%3A-tool-and-mold-making(3-axes)?dti=0&lc=en-US));

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. Matěj Pešice ústav výrobních strojů a zařízení FS**

Datum zadání bakalářské práce: **29.03.2022** Termín odevzdání bakalářské práce: **25.07.2022**

Platnost zadání bakalářské práce: **30.09.2022**

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

Ing. Matěj Sulitka, Ph.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.

\_\_\_\_\_  
Datum převzetí zadání

\_\_\_\_\_  
Podpis studenta

## Prohlášení

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

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

V Praze dne 20.7.2022

.....

podpis

## **Poděkování**

Rád bych poděkoval vedoucímu mé práce Ing. Petru Vavruškovi, Ph.D. a konzultantovi Ing. Matěji Pešice, za veškeré rady, opravy a četné konzultace ohledně veškeré problematiky k této práci.

Dále bych rád poděkoval rodině a přítelkyni za psychickou podporu během studia.

# Anotace

Autor:	Jan Svárovský
Název BP:	Postprocesor a simulační model pro stroj Tajmac H630
Rozsah práce:	61 stran, 51 obrázků, 4 tabulky
Akad. Rok vyhotovení	2021/2022
Škola:	ČVUT v Praze – Fakulta strojní
Ústav:	Ú12135, Ústav výrobních strojů a zařízení
Vedoucí BP	Ing. Petr Vavruška, Ph.D.
Zadavatel tématu:	ČVUT FS, Ú12135
Využití:	Generování a simulace NC kódu pro stroj Tajmac H630
Klíčová slova:	Postprocesor, Simulační model, NX CAM, NC program, Tajmac, Obráběcí stroj
Anotace:	Bakalářská práce se zabývá tvorbou simulačního modelu a postprocesoru pro program Siemens NX. Postprocesor byl vytvořen pomocí nástroje Post Configurator a následně upraven dle přídavných funkcí stroje. Výsledkem je simulační model s postprocesorem, fungující v programu Siemens NX 1992.

# Abstract

Autor: Jan Svárovský

Title: Postproces and simulation model for Tajmac H630 machine tool

Extend: 61 pages, 51 figures, 4 tables

Academic year 2021/2022

University: CTU in Prague – Faculty of mechanical engineering

Department: Ú12135, Research Centre of Manufacturing Technology

Supervisor Ing. Petr Vavruška, Ph.D.

Submitter of the theme: CTU – FMI, RCMT

Application: Generating and simulating NC code for Tajmac H630

Key words: Postprocessor, Machining simulation, NX CAM, NC code, Tajmac, Machine Tool

Abstract: This bachelor's thesis deals with creating of simulation model and postprocessor for Siemens NX software. Post Configurator was used to generate basic layer which was modified to fit requirements of machine. The result is a simulation model and postprocessor working in Siemens NX 1992.

# Obsah

1	Úvod a cíle práce.....	10
2	Stroj Tajmac-ZPS H630.....	11
2.1	Výrobce .....	13
2.2	Parametry a možnosti stroje H630 .....	13
2.2.1	Parametry stroje.....	15
2.3	Charakteristika víceosých frézovacích center .....	16
2.3.1	CNC stroje .....	16
2.4	Řídicí systém.....	18
3	Programování CNC strojů .....	20
3.1	Struktura programu.....	21
3.1.1	Nejpoužívanější adresy.....	22
3.1.2	Podprogramy – Cykly.....	22
3.2	ISO kód .....	23
3.2.1	G funkce.....	24
3.2.2	M funkce .....	24
3.3	Způsoby programování.....	25
3.3.1	Ruční programování .....	25
3.3.2	Dílenské programování .....	25
3.3.3	Strojní programování .....	26
3.4	Specifické funkce stroje H630 .....	27
3.4.1	Chlazení.....	27
3.4.2	Měření.....	28
3.4.3	Transformace souřadného systému.....	28
3.4.4	Posuvová rychlost, přesnost, jakost.....	29
3.4.5	Výměna obrobku.....	30
4	Siemens NX CAM.....	31

4.1	Charakteristika CAM.....	31
4.2	Tok dat .....	32
4.3	Prostředí NX CAM.....	33
4.4	Charakteristika postprocesoru.....	33
4.5	User Defined Event .....	35
4.6	Post Builder .....	35
4.7	Post Configurator.....	37
4.8	Verifikace NC programu .....	39
4.8.1	Simulační model stroje.....	40
4.9	Zhodnocení řešerše.....	40
5	Návrh variant řešení postprocesoru.....	41
6	Vlastní tvorba simulačního modelu.....	42
6.1	Úprava 3D modelu.....	42
6.2	Nastavení kinematiky stroje.....	44
6.3	Úprava emulátoru řídicího systému .....	46
6.4	Tvorba postprocesoru.....	47
6.4.1	Struktura .....	47
6.4.2	Nepodmíněný stop.....	49
6.4.3	Nástroj .....	49
6.4.4	Transformace souřadnic .....	50
6.4.5	Chlazení.....	51
6.4.6	Pevné cykly.....	52
6.5	Verifikace simulačního modelu a postprocesoru .....	52
6.5.1	Návrh testovacího dílce .....	52
6.5.2	Verifikace postprocesoru .....	53
6.5.3	Verifikace simulačního modelu .....	53
7	Závěr .....	57





---

Seznamy.....	58
Seznam použité literatury.....	58
Seznam obrázků .....	59
Seznam tabulek .....	60
Seznam Příloh .....	61
Grafické přílohy: .....	61
Elektronické přílohy: .....	61
Přílohy na CD: .....	61

## Seznam Zkratek

2D – Two-dimensional (Dvoudimenzionální)

3D – Three-dimensional (Třídimezcionální)

4D – Four-dimensional (Čtyřdimenzionální)

CAD – Computer Aided Documentation (Počítačová podpora dokumentace)

CAM – Computer Aided Manufacturing (Počítačová podpora výroby)

CNC – Computer Numerical Control (Počítačové numerické řízení)

ISO – International Organisation for Standardization (Mezinárodní organizace pro normalizaci)

NC – Numerical Control (Numerické řízení)

PLM – Produkt Lifecycle Management (Řízení výrobního cyklu výrobku)

UDE – User Defined Event (Uživatелеm definovaná událost)

# 1 Úvod a cíle práce

Téma bakalářské práce vzniklo na základě nutnosti spolehlivého generování NC kódu pro stroj Tajmac H630. Jedná se o nově nainstalovaný stroj v laboratořích Českého institutu informatiky, robotiky a kybernetiky. Stroj zvládá komplexní obrábění složitých dílců, kvůli tomu je NC kód těchto dílců velmi složitý a je nutné ho vytvořit pomocí CAD/CAM systému a následně postprocesoru, specifického pro konkrétní stroj a řídicí systém.

Vytvořený postprocesor musí zohledňovat specifické funkce stroje dané například jeho konfigurací a periferiemi. Samotný postprocesor funguje jako překladač CL dat z CAM programu na NC kód. Je nutné ho upravit na míru dle možností stroje (přídavná chladicí jednotka, výměna palety a nástrojová sonda), aby bylo možné generovaný NC kód odbavit na stroji.

Často se také v dnešní době využívá simulace obrábění s modelem stroje již v CAM systému. Simulační model by měl umožňovat vizualizaci a verifikaci generovaného NC programu odbavením pomocí emulátoru řídicího systému, aby simulace odpovídala realitě. Simulační model tedy slouží ke kontrole jednotlivých pohybů nástroje v rámci pracovního prostoru stroje, a tím umožňuje včas odhalit případné chyby.

Mezi dva hlavní cíle této bakalářské práce proto patří vytvoření simulačního modelu a postprocesoru stroje Tajmac H630 s řídicím systémem Siemens Sinumerik 840D sl v programu Siemens NX.

V rámci rešeršní části by měly být vyhledány a zpracovány možnosti tvorby jak postprocesoru, tak simulačního modelu pro program Siemens NX 1992.

V praktické části bude nejvíce vyhovující možnost realizována, výsledný simulační model a postprocesor bude otestován a odladěn na reálném stroji Tajmac H630 nacházejícím se v laboratořích fakulty strojní v budově Českého institutu informatiky, robotiky a kybernetiky (CIIRK).

## 2 Stroj Tajmac-ZPS H630

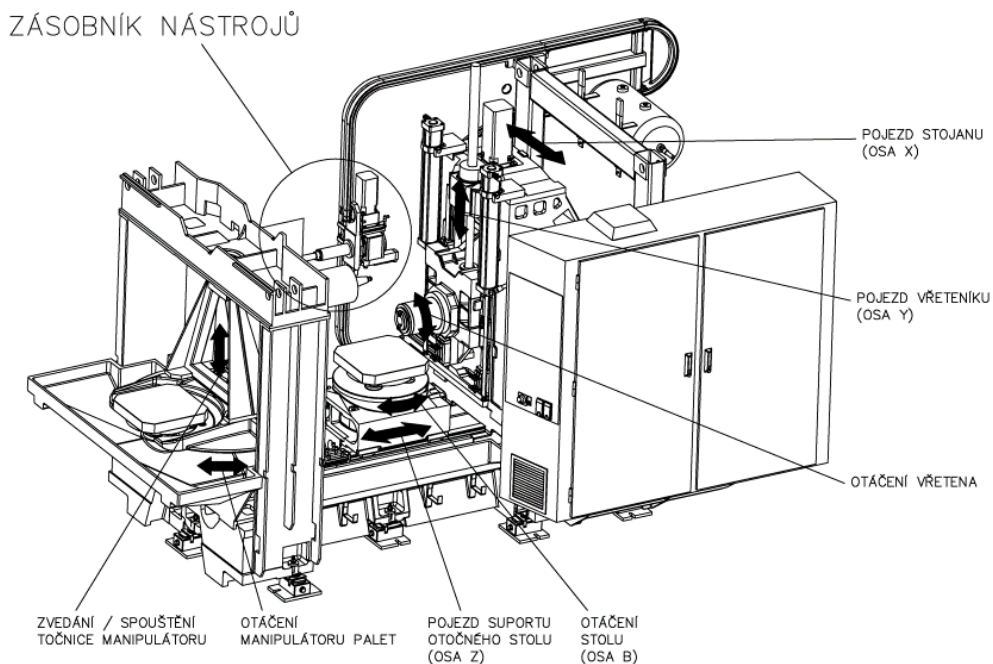
Stroj H630 (Obr. 2.1) je čtyřosé horizontální frézovací centrum od českého výrobce Tajmac-ZPS a.s., vybavené výměníkem palet se dvěma paletami a zásobníkem nástrojů s automatickou výměnou nástrojů. Stroj je určen pro produktivní komplexní obrábění forem, zápusťek a součástí plochého nebo skříňového tvaru z oceli, šedé litiny a slitin lehkých kovů upnutých na pracovní paletě.



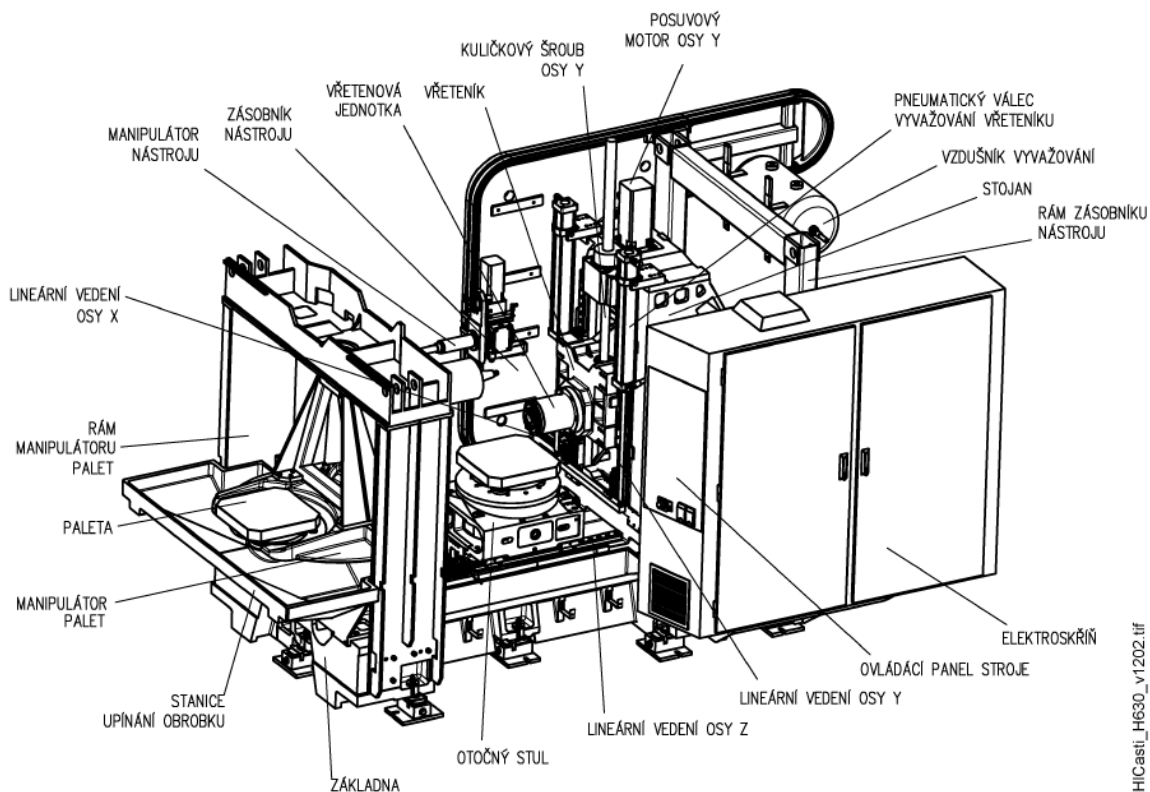
Obr. 2.1 Tajmac-ZPS H630

Stroj umožňuje provádět frézovací operace ve třech na sebe kolmých souřadnicových osách X, Y, Z. Otočný stůl (osa B) umožňuje obrábění obrobku z více stran na jedno upnutí (schéma stroje patrné na Obr. 2.2).[1]

Dále pro lepší představu jsou na Obr. 2.3 znázorněny a pojmenovány jednotlivé konstrukční celky stroje. Stroj je řízen pomocí řídicího systému Siemens Sinumerik 840D sl, který umožňuje obrábění prostorově složitých tvarů, kdy nástroj sleduje dráhu vzniklou jako výstup z 3D CAD programu. [2]



Obr. 2.2 Schéma H630[12]



HICasti\_H630\_v1202.tif

Obr. 2.3 Sestava H630 [12]

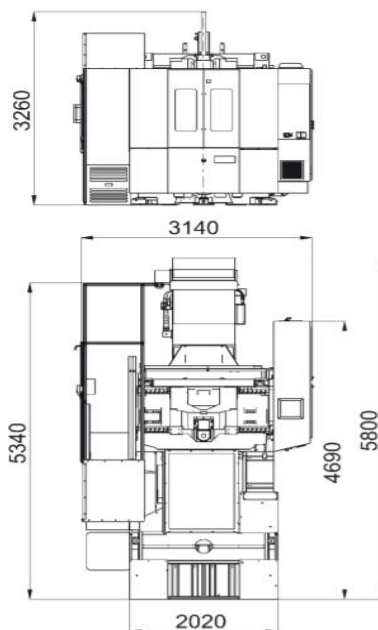
## 2.1 Výrobce

Firma Tajmac – ZPS byla roku 1903 založena pouze jako strojnická dílna ve firmě Baťa, postupně se rozrůstala a v roce 1936 se vznikem dceřiné společnosti MAS začala vyrábět první kovoobráběcí stroje. S rokem 1950, po znárodnění firmy Baťa, dochází k odtržení od mateřské společnosti a vznik samostatného podniku Závody přesného strojírenství, odtud tedy zkratka ZPS a logo firmy (Obr. 2.4).[1]



Obr. 2.4 Logo Tajmac-ZPS a.s. [1]

## 2.2 Parametry a možnosti stroje H630



Obr. 2.5 Rozměry H630[12]

Tajmac H630 je středně velký stroj (viz Obr. 2.5) určený pro velmi přesné obrábění, a to včetně tvrdých materiálů. Ostatně to už prozrazuje jeho primární určení, kde formy i zápustky jsou přinejmenším kaleny a velmi na jejich rozměrech (i površích) záleží. Obecně mezi tyto operace patří frézování, vrtání, avšak pomocí přídatné osy otočného stolu je zde kromě jiného možné nahradit i základní soustružnické operace. Samotné

soustružení není zcela realizovatelné, hlavním důvodem jsou nízké maximální otáčky osy B a rovněž absence brzdy frézovacího vřetene. Nástroje by musely být brzděny pouze pomocí polohové vazby, a tím jsou značně omezeny technologické podmínky pro případné použití soustružnických operací.

Řídicí systém umožňuje řídit pohyby stroje hned několika způsoby, od těchto druhů řízení se odvíjí jak technologické možnosti stroje, tak následná složitost tvořeného postprocesoru v této bakalářské práci.

Technologické možnosti stroje ve vazbě na jeho řízení:

- Frézování
  - 4D (4 osy souvisle)
  - 3,5D (3 osy souvisle a jedna stavitelná, resp. polohování)
  - 3D (3 osy souvisle)
  - Gravírování (2 osy souvisle a 1-2 stavitelné)
  - Frézování závitů (spirálová interpolace)
  - Vysokorychlostní obrábění
- Osové operace (polohování v prostoru, řezný pohyb v ose Z, pomocí osových cyklů)
  - Vrtání, navrtávání středících důlků
  - Čelní zahlubování, vystružování, vyhrubování
  - Hluboké vrtání
  - Řezání závitů (dle možnosti synchronizace vřetena s osou Z)
    - S vyrovnávací hlavičkou (posuv vřetena v ose Z není spřažen s jeho otáčkami)
    - Bez vyrovnávací hlavičky (posuv vřetena je spřažen s otáčkami)
- Vyvrtávání
- Výroba ozubení (spřažení polohy osy B s vřetenem)
  - Odvalování
  - Obrázení
  - Dělení
- Měřicí funkce (pohyb až ve 4 osách za využití speciálních měřicích funkcí jednotlivých sond)
  - Střed a radius kruhu
  - Stanovení polohy v prostoru
  - Kalibrace
    - Sonda (odměřování obrobku)
    - Nástroj (fréza, vrták, nůž) [odměřování opotřeбенí nástrojů]

Stroj v základním provedení disponuje vřetenem s planetární převodovkou a upínacím kuželem SK 50, s tím souvisí chladicí agregát se systémem chlazení nástroje a automatické ofukování držáku nástroje. Automatický výměník palet (dvě palety) s rozměry 630x630 mm, dále automatický řetězový zásobník, do kterého se vejde až 56 nástrojů. Pohon rotačního stolu (osa B) je obvykle tvořen rotačním motorem a šnekovým převodem. Tento specifický stroj nainstalovaný v laboratořích CIIRK je vybaven řadou volitelného vybavení oproti základnímu provedení. Kromě dále uvedeného lze ostatní specifikace nalézt v uživatelském návodu stroje [12]. K vybavení tohoto stroje patří:

- Elektrovřeteno KESSLER (umožňuje zvýšení otáček z 8000/min. na 18000/min., rovněž je méně náchylné na změnu teploty)
- Upínací rozhraní pro kužel HSK-A63 (vhodné pro vyšší otáčky elektrovřetene)
- U osy B je šnekový převod nahrazen torque motorem (možnost plynulého pohybu osy B o rychlosti 60 ot/min)
- Osové chlazení kapalinou, olejovou mlhou, vzduchem, CO<sub>2</sub>
- Filtrační stanicí (ChipBLASTER JV40)
- Sonda pro měření obrobku
- Sonda pro měření nástroje (laserová závora)

## 2.2.1 Parametry stroje

Tab. 2-1 Základní parametry

<b>Pracovní pojezd</b>	
osa X, Y, Z	750x700x770 mm
osa B	360°
<b>Pracovní stůl (paleta)</b>	
rozměr palety	630x630 mm
zatížení palety	800 kg
max. rozměry dílce	Ø750x800 mm
<b>Posuvy</b>	
prac. posuv/ rychlopusuv	50/50 m/min
zrychlení	5 m/s <sup>2</sup>
<b>Vřeteno</b>	
upínání nástroje	HSK-A63
max. otáčky	18000 rpm
typ	elektrovřeteno
výkon S1/S6-40 %	25/31 kW



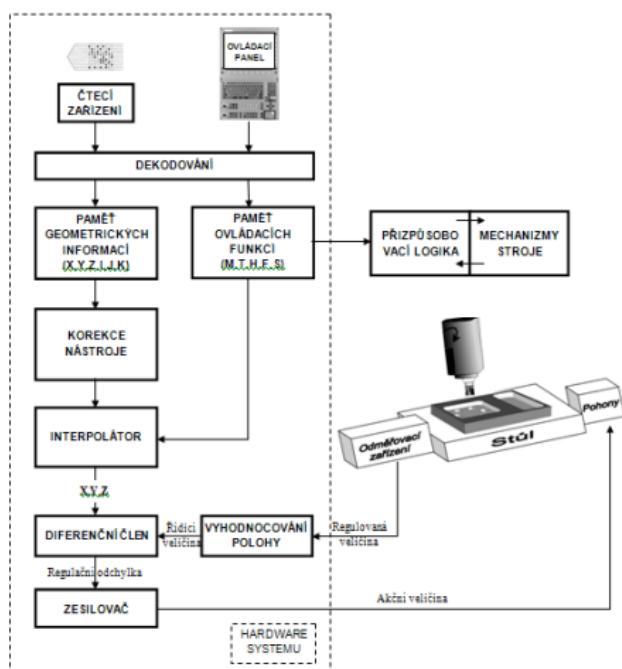
Přehled základních parametrů stroje, viz Tab. 2-1, kompletní parametry lze nalézt v uživatelském návodu [12]

## 2.3 Charakteristika víceosých frézovacích center

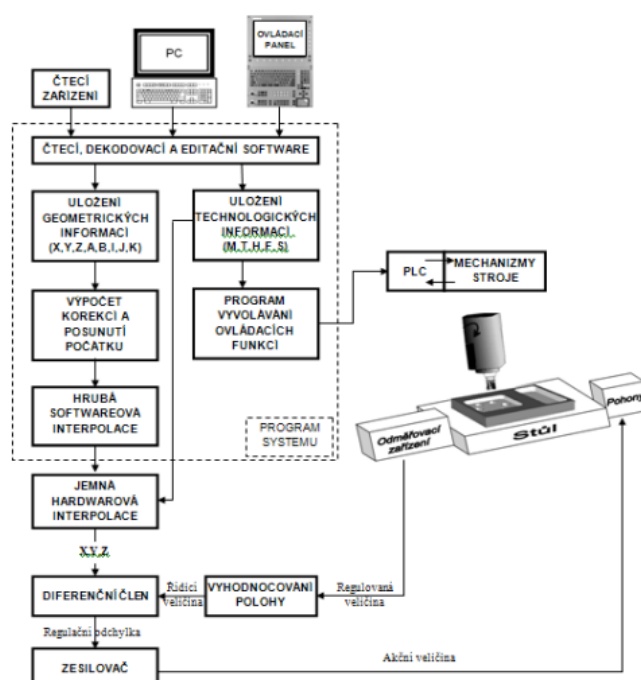
Obráběcí centra jsou CNC obráběcí stroje, na kterých je možné provést několik různých operací na jedno upnutí obráběného dílce, obecně se jedná o stroje s jednou či více přídavnými osami. Disponují automatickou výměnou nástrojů, dalším rozdílem oproti standardnímu frézovacímu CNC stroji je existence různých druhů zásobníků, do kterých je možné upnout i technologické hlavice pro jiné než frézovací operace.

### 2.3.1 CNC stroje

Předchůdcem CNC strojů jsou NC stroje, NC (z anglického Numeric Control) česky jako číslíkové řízení, nebo řízení pomocí čísel, NC stroje jsou tedy řízeny jednoznačně daným programem (ten je složen z číselných kódů), který udává veškeré pohyby nástroje a obrodku. Řídicí systém nemá vlastní paměť a program je do něj vkládán například na děrném štítku (Obr. 2.6), nebo pásce, z toho důvodu nelze kód nijak jednoduše upravovat.



Obr. 2.6 Blokové schéma NC stroje [3]

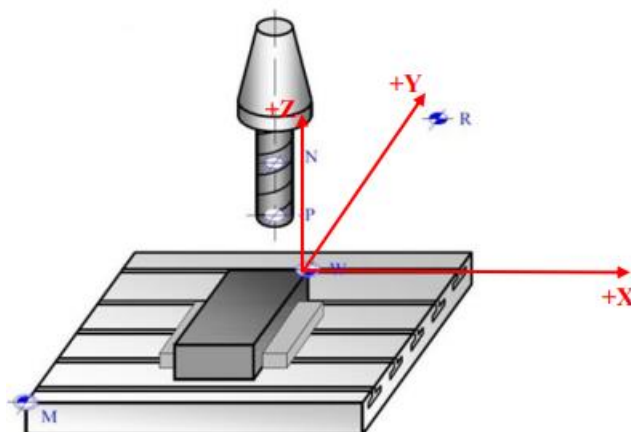


Obr. 2.7 Blokové schéma CNC stroje [3]

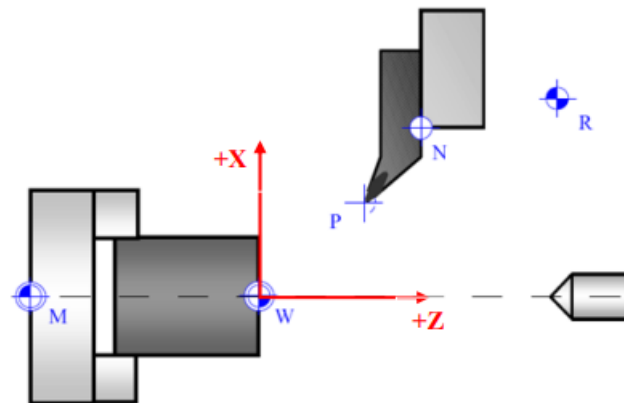
CNC stroje neboli Číslicově řízené stroje pomocí počítače (Computer Numerical Control), v sobě mají zabudovaný průmyslový počítač s vlastní pamětí a řídicím systémem. Zde jsou uloženy tabulky nástrojů, posunutí souřadného systému, korekce a NC programy pro jednotlivé obrobky, (viz schéma Obr. 2.7). Kódy těchto programů už není nutné razit do děrných štítků, ale je možné je vytvořit přímo v editoru řídicího programu (přes ovládací rozhraní stroje), nebo externě pomocí vhodného softwaru. Zrovna tak lze vniklé programy velmi jednoduše upravovat a doplňovat. Díky přítomnosti počítače je oproti NC strojům uskutečnitelné i zpětnovazební řízení stroje. Jedná se o odměřování pomocí speciálních pravítek umístěných na osách stroje, či snímače polohy na zásobníku nástrojů, stroj pak ví, kde se v pracovním prostoru přesně nachází a reaguje na průběh vykonávání programu, to mu umožňuje reagovat i například v případě kolize či havárie.

Číslicově řízené stroje obecně vycházejí z konvenčních obráběcích strojů a můžeme je rozdělovat například na:

- Frézovací
  - Tříosé (Obr. 2.8)
  - Víceosé (čtyřosé, pětiosé)
- Soustružnické
  - Dvousé (Obr. 2.9)
  - Dvousé s Y-osou
  - Dvousé s C-osou (případně i Y-osou)
- Soustružnicko-frézovací
- Brusky
- Laserové stroje
- Vrtačky
- Pily
- Lisy
- Ohýbačky apod.



Obr. 2.8 Kinematika frézky [7]



Obr. 2.9 Kinematika soustruhu [7]

## 2.4 Řídicí systém

Jak již bylo řečeno průmyslový počítač uvnitř CNC stroje má v sobě nainstalovaný řídicí systém speciálně určený pro daný stroj. ŘS je pomyslný mozek CNC stroje a jeho komplexnost a složitost se stejně jako u NC programu odvíjí od počtu os stroje. To samé platí i pro postprocessor, který musí odpovídat funkcím a možnostem řídicího systému. Dále můžeme ŘS rozdělit podle druhu řízení jednotlivých os [7]:

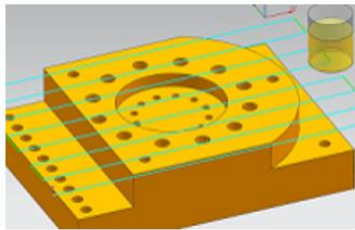
- Přetržité řízení
  - Systémy stavění souřadnic – nejstarší druh řízení, absence jakékoliv interpolace umožňuje vždy realizovat pohyb rychloposuvem pouze v jedné ose až do naprogramovaného bodu, v podstatě jde pouze o pozicování a samotné obrábění probíhá jako na konvenčním stroji
  - Pravoúhlé řízení – nástroj se může pohybovat pouze v jedné ose, proto lze obrábět jen na sebe kolmé, nebo válcové plochy

- Souvislé řízení

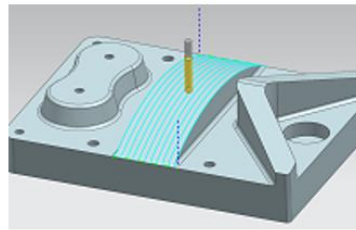
Složitější systémy, které umožňují dopočtení geometrie i korekce nástroje, jsou dále děleny podle počtu souvisle řízených os (Obr. 2.10)

- Jednoosé obrábění (1D) – pohyb pouze jedné osy, využití například u vrtaček
- Dvouosé obrábění (2D) – řízení dvou os souvisle, obvykle u soustruhů
- Dvou a půl osé obrábění (2,5D) – na frézce umožňuje kruhovou interpolaci vždy v jedné rovině, v ose vřetena najede na hloubku a poté ve dvou zbývajících obrábí

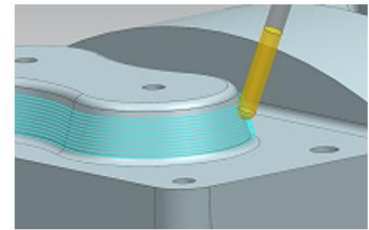
- Tříosé (3D) – umožňuje obrábění ve třech osách souvisle, interpolátor je zde nenahraditelný, stroj pomocí něj dopočítává pohyb ve dvou osách v závislosti na třetí
- Čtyřosé a víceosé obrábění (4-5D) – umožňuje nejen pohyb všech třech os, ale i rotaci kolem jedné (i více) z nich, využití na obráběcích centrech



2,5D



3D



5D

Obr. 2.10 Druhy souvislého řízení [9]

Existují desítky výrobců ŘS (Fanuc, Heidenhain, Siemens, Mazak, ...) a každý se snaží být něčím unikátní, s tím souvisí jak uživatelské rozhraní, tak vestavěné funkce ŘS, i počet souvisle řízených os stroje, tím pádem i samotný NC program. Proto je nutné, aby byl každý postprocesor vytvořen, jak přímo pro kinematiku daného stroje, tak i jeho řídicí systém.

Každý produkt má své výhody a nevýhody, a z pravidla záleží na preferenci zákazníka. Stroj H630, který je předmětem této práce je řízen systémem Sinumerik 840D sl (Obr. 2.11), verze OPERATE 4.94 od firmy Siemens, ten je zcela opodstatněně považován za standard u profesionálních CNC strojů, a to především jeho flexibilitě a otevřenosti. Jeho hlavní předností je doplnění řadou funkcí pro integraci do IT prostředí (kompatibilita s PLM rodinou programů siemens). [2]



Obr. 2.11 Ovládací panel Sinumerik [13]

### 3 Programování CNC strojů

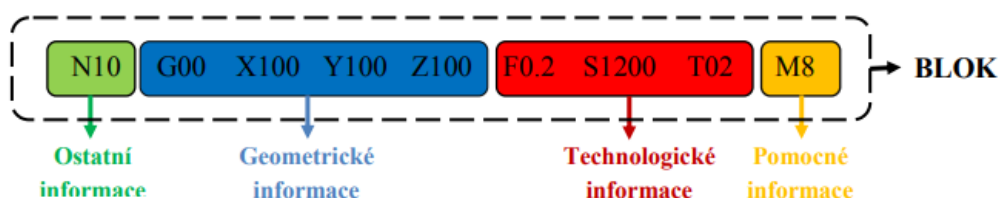
NC program, je soubor číselně vyjádřených informací (pokynů) dopodrobna popisujících veškerou činnost stroje (například číslo nástroje, jeho pozice, smysl otáčení vřetene, poloha v pracovním prostoru) a stroj následováním těchto pokynů vytvoří požadovaný obrobek. Informace zachovávají jednoduchou skladbu příkazů pomocí jen omezených znaků, jejich řetězec pak tvoří výsledný strojový kód. Zásady tvorby tohoto kódu jsou dány normou ISO 6983, odtud pojmenování ISO kód, nebo také G kód (jelikož norma definuje funkce G a M). A proto je základ tohoto programovacího jazyka stejný pro všechny CNC stroje.

Informace nacházející se v programu můžeme dělit na:

- Geometrické – popisují jednotlivé dráhy nástroje, ty se odvíjejí od požadovaného tvaru obrobku (záleží na druhu pohybu: oblouk, přímka)
- Technologické – určují technologii samotného obrábění s ohledem na optimální řezné podmínky (jedná se o otáčky, posuv, řeznou rychlost)
- Pomocné – zde jsou obsaženy ostatní informace nutné pro výrobu dané součásti (M funkce), odvíjejí se podle dané technologie (smysl otáček, chladicí kapalina, konec nebo pozastavení programu)
- Ostatní – zde jsou informace nutné pro jednodušší orientaci v programu (čísla bloků, poznámky a popisky) [3]

### 3.1 Struktura programu

Program se skládá z vět neboli bloků (Obr. 3.1), nebo řádků, blok se skládá z jednotlivých slov (Obr. 3.2) neboli příkazů a každý příkaz obsahuje adresnou část a významovou část. [3]



Obr. 3.1 Blok [3]



Obr. 3.2 Slovo [3]

Adresná část udává druh informace (G, M, T), zatímco významová část udává její hodnotu (číslo funkce, počet otáček, číslo nástroje...). Adresy jsou značeny velkými latinskými písmeny a jejich základní značení se opět odvíjí od ISO normy.

Samotný blok lze zapsat ve dvou formátech (Obr. 3.3):

- S konstantní délkou – slova v bloku mají jasně danou posloupnost, a to i v případě že se v jednotlivých blocích opakují
- S proměnou délkou – zde vynecháváme slova, která se opakují z předchozího řádku, nebo se zde vůbec nevyskytují

S tím souvisí i pojem modální funkce. Jedná se o funkci, která platí i v následujících blocích, dokud není přepsána jinou modální funkcí. Modální funkce jsou například: G0, G1, G2, G3, F, ...

1. N10 G00 X20 Y100 Z2 F10  
N20 G00 X25 Y100 Y2 F10
2. N10 G00 X20 Y100 Z2 F10  
N20 X25

*Obr. 3.3 Formáty bloku [3]*

### 3.1.1 Nejpoužívanější adresy

Norma je brána pouze jako doporučení, a proto se jí výrobci řídí jen do určité míry a dochází u mnoha významových a adresových částí k odlišnostem, významově jsou však mezi jednotlivými výrobci velmi podobné, ne-li stejné. V následující tabulce (Tab. 3-1) jsou vypsány ty nejčastěji používané adresy.

*Tab. 3-1 Nejčastější adresy*

<b>Písmeno</b>	<b>Význam</b>
X, Y, Z	Základní osy souřadného systému
A, B, C	Rotace kolem základních os
I, J, K	Parametry kruhové interpolace ve směru jednotlivých základní os
T	Nástroj
G	Přípravná (geometrická) funkce
M	Pomocná (přídavná) funkce
N	Číslo bloku
F	Posuv
S	Otáčky vřetene, konstantní řezná rychlost
L	Volání podprogramu

### 3.1.2 Podprogramy – Cykly

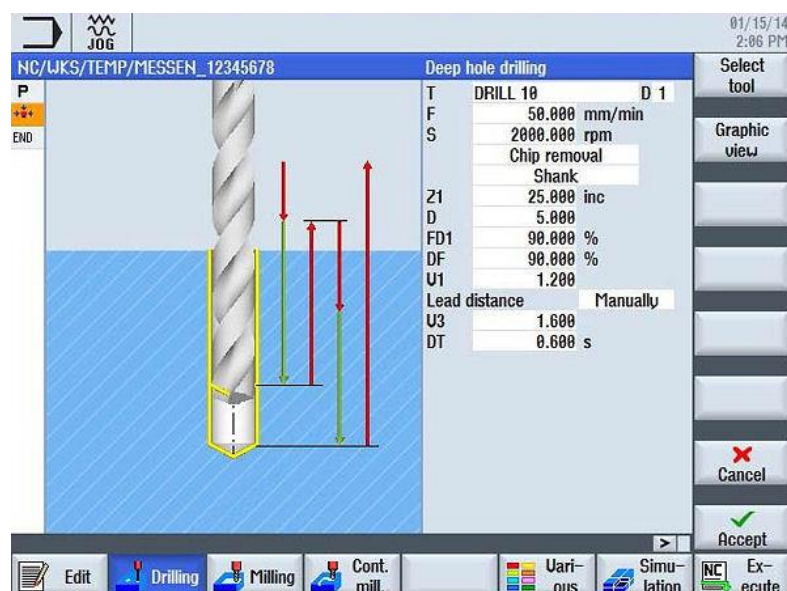
Nesamostatně spustitelný program, který je v rámci hlavního programu pouze vyvolán a použit, má stejnou strukturu jako hlavní program a obecně se může v programu i několikrát opakovat.[4]

Mezi typické představitele podprogramů patří Cykly (příklad Obr. 3.4), zde se jedná o podprogramy pevně určené výrobcem řídicího systému. Jejich úkolem je nahradit opakující se bloky při jednotlivých operacích, a tím značně zjednodušit samotný program. Existuje několik druhů cyklů, avšak nejdůležitější pro tvorbu postprocesoru

jsou cykly osově, jde o skupinu poměrně jednoduchých cyklů (vrtání, závitování, zahlubování). Složitější cykly není potřeba implementovat (viz 3.3.3) už jen z podstaty strojního programování. Každý výrobce si tyto cykly volí podle možností a určení stroje na který bude daný operační systém nainstalován.

Mezi hlavní zástupce cyklů patří například:

- Hrubování (podélné/příčné)
- Zapichování
- Vrtání
- Tvorba kapes
- Tvorba drážek
- Řezání závitů
- Natáčení (cyklus 800)



Obr. 3.4 Příklad vrtacího cyklu [13]

## 3.2 ISO kód

Norma ČSN ISO 6983 definuje funkce v rozmezí G00 – G99 (přípravné funkce) a M00 – M99 (pomocné funkce), ty by měly být pro výrobce ŘS závazné, ovšem ne všechny pozice v těchto dvou intervalech jsou obsazené, a právě v těchto místech mají výrobci prostor pro úpravy, či naprogramování, vlastních funkcí podle zaměření stroje. Není vůbec neobvyklé, že jedna funkce má u různých výrobců různé významy.



### 3.2.1 G funkce

*Tab. 3-2 G funkce*

<b>Písmeno</b>	<b>Název funkce</b>	<b>Význam</b>
G00	Lineární	Rychloposuv
G01	interpolace	Pracovní posuv
G02	Kruhová	Ve směru hodinových ručiček
G03	interpolace	Proti směru hodinových ručiček
G17	Pracovní rovina	Určení roviny, v níž se bude provádět daná operace
G18		
G19		
G40	Vypnutí korekcí	Střed nástroje na kontuře
G41	Zapnutí korekcí	Ekvidistanta, nástroj vlevo od kontury
G42	rádiusů	Ekvidistanta, nástroj vpravo od kontury
G53	Programování v souřadném systému stroje	
G90	Absolutní	Programování v souřadnicové soustavě
G91	Přírůstkové	Programování vzhledem k minulému bodu
G96	Konstantní řezná rychlost	
G10	Polární souřadnice	

Jak již bylo řečeno, tak některé G (Go) funkce nejsou standardní a liší se výrobce od výrobce, dle zaměření stroje, zde je uveden výběr těch nejpoužívanějších (Tab. 3-2)

### 3.2.2 M funkce

*Tab. 3-3 M funkce*

<b>Písmeno</b>	<b>Název funkce</b>	<b>Význam</b>
M00	Zastavení stroje	Stroj čeká na pokyn k pokračování v programu
M03	Otáčky vřetene	Ve směru hodinových ručiček
M04		Proti směru hodinových ručiček
M05	Zastavení vřetene	Při ručním ovládní stroje
M06	Výměna nástroje	V použití společně s odkazem na nástroj (T)
M17	Konec podprogramu	Vrací do hlavního programu
M30	Konec programu	Návrat na začátek hlavního programu

Hodnoty M (Machine) funkcí jsou uloženy v PLC (programovatelný logický automat), většina M funkcí může být konfigurovatelná a jsou velmi často upravovány výrobcem stroje podle požadavků zákazníka. [6] V Tab. 3-3 je uveden výčet nejpoužívanějších M funkcí.

### 3.3 Způsoby programování

Obecně lze programovat CNC stroj třemi způsoby, a to ručně, dílensky, nebo strojně. Všechny způsoby mají své výhody i nevýhody a neustále dochází k jejich vyvíjení a odlaďování. Moderní stroje standardně zvládají všechny způsoby programování, případně se vychází z potřeb koncových uživatelů stroje.

#### 3.3.1 Ruční programování

Jedná se o nejstarší druh programování, kdy je celý kód psaný ručně například v textovém editoru. Je zde velké riziko vzniku chyb v NC kódu, hlavním důvodem je, že programátor získá zpětnou vazbu až při ladění programu na stroji. Tento způsob je vhodný pro programování velmi jednoduchých dílců.

#### 3.3.2 Dílenské programování

Dílenské programování (Obr. 3.5), je programování přímo na obráběcím stroji, kdy obsluha/programátor zapisuje ISO kód přímo do řídicího systému. I přes snahy zjednodušit přípravu programu na stroji zde může vzniknout riziko chyby.



Obr. 3.5 Dílenské programování [5]

Jeden způsob ověření správnosti programu je pustit ho takzvaně na prázdno (do stroje není vložen obrobek, nebo je posunut souřadný systém), a druhým je využití simulace na panelu stroje.

Rovněž zde není možnost naprogramovat složitější tvary, nebo jde o velkou časovou náročnost (a mnohem větší riziko chyby). Další podstatnou nevýhodou je, že obsluha po dobu tvorby programu nevěnuje stoprocentní pozornost činnosti stroje, tím je značně snížena možnost odhalení chyby v odbavovaném programu. Výhodou je, že k samotnému stroji a jeho příslušenství koncový uživatel nepotřebuje žádné další periferie s drahým softwarem.

Samotné dílenské programování je důsledkem vývoje ručního programování. Dochází k velkému zjednodušení tvorby samotného programu, jelikož řídicí systémy různých výrobců obsahují přímo integrované editory. Tvorba programu je tak daleko intuitivnější a rychlejší za použití přednastavených funkcí/cyklů a jeho úprava či změna je daleko rychlejší.

### **3.3.3 Strojní programování**

V případě strojního programování je samotný program tvořen na externím počítači za pomoci CAM (Computer Aided Manufacturing – výroba podporovaná počítačem) softwaru. Výsledný NC program je poté přenesen (po síti nebo flashdiskem) do stroje. Velkou výhodou toho postupu je možnost tvorby složitých tvarů, jako jsou 3D kontury. Dále pak zvýšená produktivita, kdy CNC stroj může pracovat na jiném programu a programátor může na osobním počítači generovat jeden program za druhým. Další nespornou výhodou je simulace a částečné odzkoušení v samotném CAM programu, samozřejmě i zde je velké riziko chyby a vždy musí následovat ruční ladění přímo na stroji. Na druhou stranu velká nevýhoda je cena těchto softwarů a jejich složitost.

Dalším podstatným rozdílem oproti ručnímu programování je absence velké většiny cyklů, toto je způsobeno samotným principem CAM programování, například kapsovací, nebo drážkovací cykly, u kterých nemá počítač problém veškeré dráhy nástroje dopočítat, kdy se v samotném programu pak místo příslušné funkce vyskytují jednotlivé dráhy. Programy se složitějšími tvary se pak stávají opravdu nepřehledné a mimo CAM je prakticky není možné vytvářet, ani jakkoliv složitěji upravovat.

## 3.4 Specifické funkce stroje H630

V návaznosti na standardním i přídatným vybavení má stroj přístup hned k několika funkcím, pomocí kterých je možné tyto periferie ovládat. Kompletní seznam funkcí je uveden v uživatelském návodu [12]. V této kapitole je uvedeno několik nejdůležitějších zástupců.

### 3.4.1 Chlazení

U tohoto stroje máme na výběr z mnoha způsobů chlazení, a to jak vnitřně, tak zvenčí. Každou z těchto možností je možné řídit programově její příslušnou funkcí viz Tab. 3-4. Při chlazení zvenčí je možno použít stlačený vzduch, chladicí kapalinu, nebo olejovou mlhu. Při vnitřním chlazení (chlazení středem nástroje) je navíc ještě možné použít v kombinaci CO<sub>2</sub> (kryogenní) chlazení. U vysokotlakého chlazení lze použít tlak 100 barů, ale v případě použití CO<sub>2</sub> je nutné tlak snížit na 60 barů, z důvodů možného poškození kapiláry procházející osou vřetene, proto je vždy nutné zkontrolovat, zda je tato kapilára na stroji namontována či ne. Z těchto důvodů má filtrační stanice možnost přepínat mezi čtyřmi přednastavenými tlaky. Samotné vnitřní a vnější funkce nelze v programu vyvolat najednou, vždy může být aktivní pouze jeden druh chlazení.

Tab. 3-4 Funkce pro chlazení

<b>Písmeno</b>	<b>Druh chlazení</b>	<b>Význam</b>
M8	Vnější	Chlazení kapalinou
M07=1	Vnitřní	Chlazení kapalinou, čtyři přednastavené tlaky
M07=2		
M07=3		
M07=4		
M28	Vnější	Chlazení vzduchem
M27	Vnitřní	
M46	Vnější	Chlazení olejovou mlhou
M47	Vnitřní	
M16=1	Vnitřní	Chlazení pomocí CO <sub>2</sub> , tři přednastavené programy
M16=2		
M16=3		

### 3.4.2 Měření

Na tomto stroji je k dispozici sonda na měření obrobku, ta je ovládána jak pomocí cyklů, tak v ručním režimu. V případě, že sonda není používána stává se neaktivní, zpětná aktivace je provedena výměnou sondy do vřetena nebo funkcí M55, přičemž deaktivace je provedena funkcí M59, nebo uplynutí zadaného času.

Další možností je sonda pro měření nástroje, zde máme na výběr z několika dalších funkcí, jako třeba: ofuk nástroje (M73, M74), anebo kontrola zlomení nástroje (M79, M80).

### 3.4.3 Transformace souřadného systému

Cyklus 800 je používán na transformaci souřadného systému, jedná se však spíše o polohování na požadovanou plochu obrobku. Na Obr. 3.6 je vidět příklad cyklu 800, pozice B\_ONLY odkazuje na konfigurační soubor cyklu, specifického pro daný stroj, pozice s číslem 57 určuje pořadí natočení os (v tomto případě ABC). Pozice s čísly -180,-60,2024,-180 určují úhel pootočení jednotlivých os.

Při provedené transformace pomocí cyklu 800 si stroj udrží v paměti původní souřadný systém. Tento cyklus je s velkou výhodou používán například u pevných cyklu, kdy je otvor umístěn na šikmé rovině.

```
N320 CYCLE800(0,"B_ONLY",0,57,0,0,0,-180,-60.2024,-180,0,0,0,1,0)
```

Obr. 3.6 Cyklus 800

Funkce Traori je používána pro transformaci dráhy ze souřadného systému obrobku, do souřadného systému stroje, stroji tedy stačí souřadnice bodů dráhy z CAM programu a sám si je přepočítá do souřadnic pro strojní osy. V případě že stroj nemá možnost využít této funkce, je nutné, aby byly dráhy převedeny do souřadného systému stroje přímo postprocesorem.

Pro samotnou transformaci jsou použity transformační matice základních pohybů. CL data určují pozici souřadného systému obrobku a řídicí systém (nebo postprocesor) musí pomocí transformačních vztahů transformovat souřadnice bodů dráhy nástroje

ze souřadného systému obrobku do souřadného systému stroje. Základní transformační matice jsou:

Posunutí v ose x, y, z:

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

Rotace kolem osy x o úhel  $\varphi_x$ :

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

Rotace kolem osy y o úhel  $\varphi_y$ :

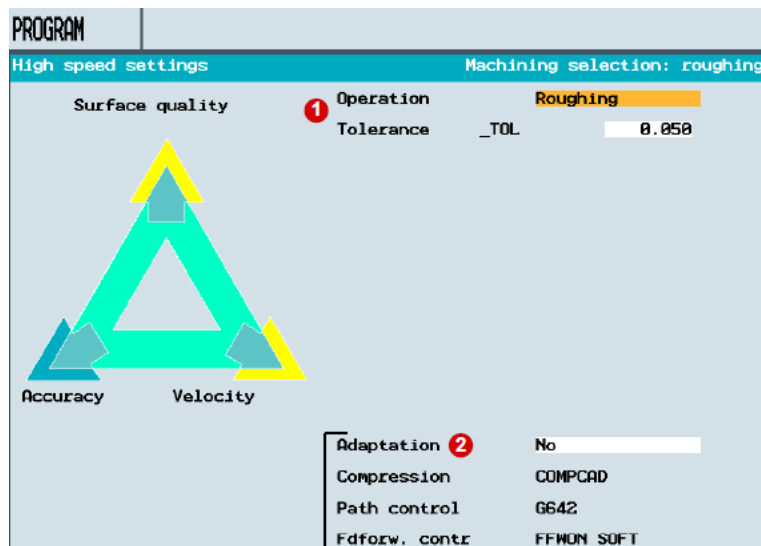
$$R_y(\varphi_y) = \begin{bmatrix} \cos \varphi_y & 0 & \sin \varphi_y & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ -\sin \varphi_y & 0 & \cos \varphi_y & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (3)$$

Rotace kolem osy z o úhel  $\varphi_z$ :

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

### 3.4.4 Posuvová rychlost, přesnost, jakost

Každá obráběcí operace je nastavena z hlediska požadavků na přesnost, jakost povrchu a rychlost, resp. čas. Co se upravuje, je prioritou těchto parametrů, například při hrubovacím frézování není prioritou ani povrch, ani přesnost, ale čas. U finišovacích operací je tomu však přesně naopak. Použitím cyklu 832 (Obr. 3.7) lze nastavit základní parametry pro provedení interpolace, nebo poměrně jednoduše přepínat mezi jednotlivými funkcemi (top speed, top surface) podle technologem volených parametrů. Cyklus pracuje například s nastavením tolerance dráhy nástroje, která souvisí s hodnotou tolerance dráhy nastavené v CAM systému.



Obr. 3.7 Cyklus 832 [15]

### 3.4.5 Výměna obrobku

Stroj H630 je vybaven rotačním dvojstolem, celá paleta (pracovní stůl) je vyměněna za další paletu připravenou na druhé straně dvojstolu. Paleta je vyměněna pomocí funkce M60, otočení na specifickou paletu je prováděno pomocí funkce M61 (paleta 1) a M62 (paleta 2).

Z podstaty věci je jasné, že ne všechny funkce jsou vždy potřeba pro každý obrobek, například u kusové výroby nebude potřeba měnit paletu tak často jako u sériové. Z toho důvodu bude tato funkce v postprocesoru vytvořena pomocí uživatelské funkce CAM systému, tzv. User Defined Eventu. To zaručí, že nebude spuštění automatické, ale bude možné si zvolit výměnu pouze když bude potřeba. viz kapitola User Defined Event.

## 4 Siemens NX CAM

NX CAM je pouze jedním z mnoha modulů systému Siemens PLM NX, jedná se o celou rodinu softwarů (například CAD, CAM, CAE...) a jeho účelem je tvorba NC kódu pro CNC stroj a následně pak i jeho simulaci a ladění. A jako každý CAM potřebuje umět vytvořit každému stroji na míru postprocesor, v novějších verzích NX je integrována funkce Post configurator, u starších verzí se vyskytuje samostatný program Post Builder.

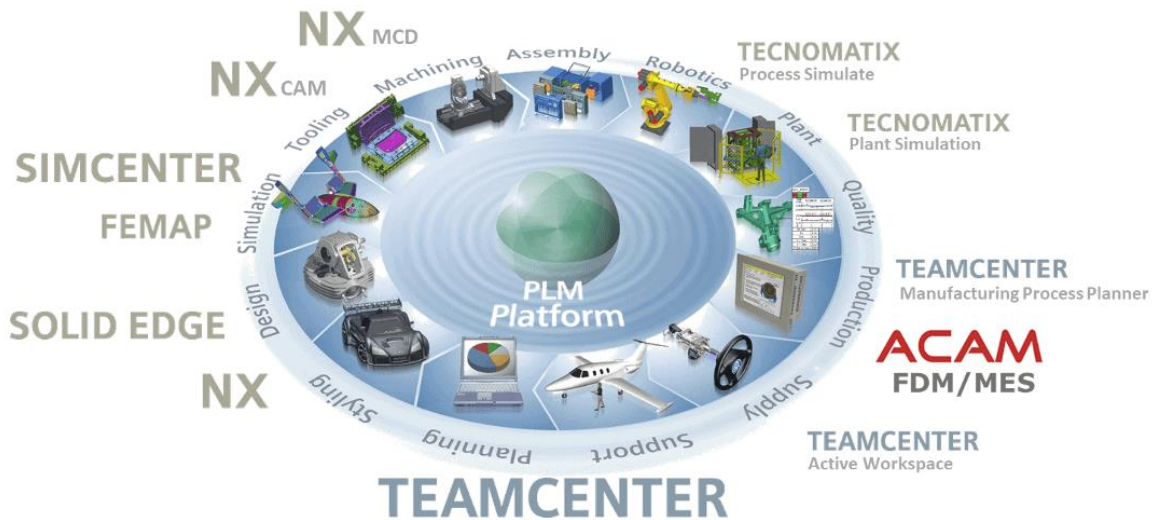
Výhodou systému NX je jeho komplexnost, každý z jeho modulů obsahuje daleko více funkcí oproti standardu CAM, to umožňuje programátorovi realizovat mnoho typů úloh v jediném systému. Nejlepším příkladem je integrovaná simulace obráběcího stroje, kdy je simulace místo obecných údajů o dráze, řízena přímo generovaným kódem z postprocesoru.[9] Postprocesorem vygenerovaný program je přes emulátor daného obráběcího stroje pouštěn v simulaci a jsou tudíž vidět přímo pohyby jaké by vykonával stroj opravdový. Jedná se o nespornou výhodu v ověřování vytvořených programů.

### 4.1 Charakteristika CAM

CAM neboli Computer Aided Manufacturing (výroba podporovaná počítačem), je software, který má usnadnit tvorbu NC kódu pro prakticky jakýkoliv CNC stroj a jakoukoliv technologickou operaci, například frézování, soustružení, řezání, vrtání, nebo aditivní technologie. Také umožňuje naprogramovat daleko složitější tvary, značně snižuje samotný čas vytváření programu, stejně tak i výsledný odpad a energii potřebnou pro samotnou výrobu (například efektivnějšími dráhami nástroje, či řeznými podmínkami)

V drtivé většině je CAM spojen s CAD softwarem neboli Computer Aided Design (konstruování podporované počítačem), ten má za úkol vytvoření 3D modelu a technickou dokumentaci dílce. Tímto spojením vzniká CAD/CAM. Mezi jeho hlavní výhody patří provázanost obou programů, tím je zajištěna kompatibilita a možnost velmi jednoduše upravovat vytvořená data, celkově je tak daleko efektivnější design a výrobní automatizace.



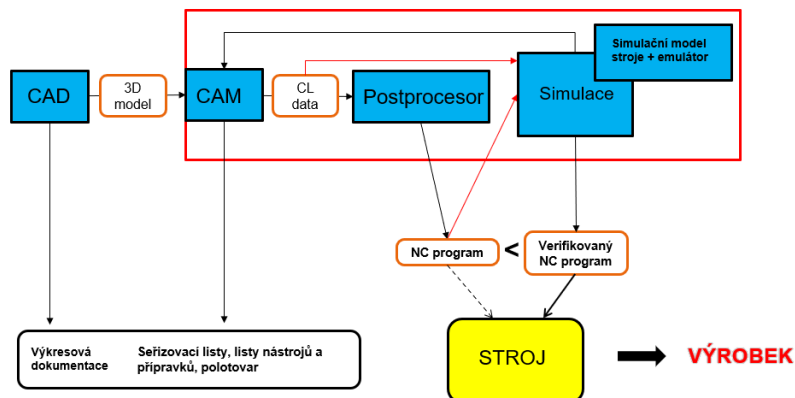


Obr. 4.1 Team center [10]

Všechny tyto programy nutné pro vývoj, výrobu, nebo prodej dílce můžeme označit jako PLM (Obr. 4.1) systém neboli Produkt Lifecycle Management (řízení životního cyklu produktu)

## 4.2 Tok dat

Zde se uplatňují výhody plynoucí z CAD/CAM softwarů kdy je možné plynule pracovat s daty v rámci jednoho programu. Samotný proces je stabilnější a rychlejší, protože není nutné jednotlivé soubory exportovat do obecných formátů.



Obr. 4.2 Schéma toku dat

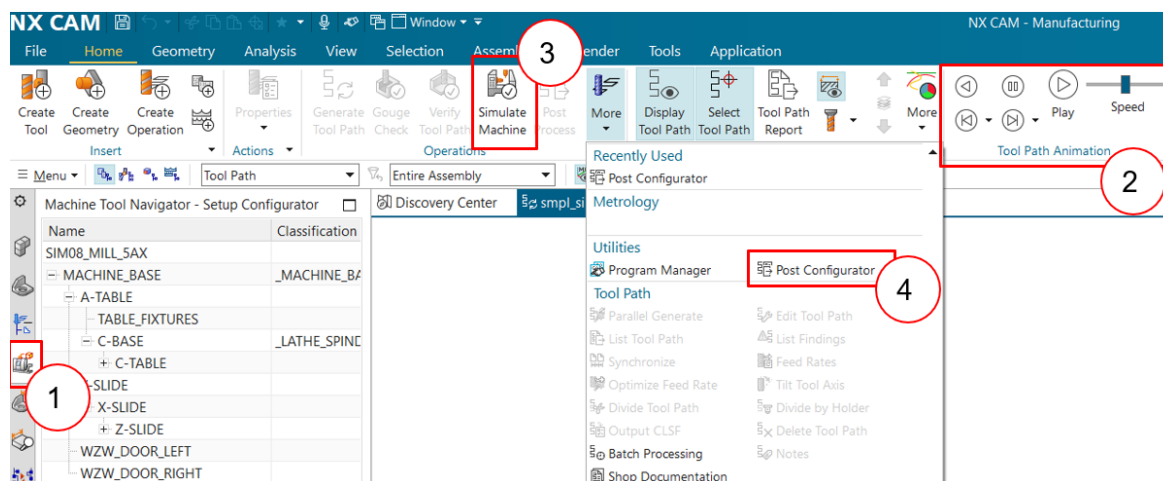
Jak je vidět ze schématu (Obr. 4.2), vše začíná v CAD programu, kde je vytvořen 3D model obrobku společně s výkresovou dokumentací. Následně jsou data poslána do CAM programu, kde je stanovena technologie výroby a dle ní vytvořeny operace

potřebné pro výrobu dílce. Zde je definován nástroj, řezné podmínky, dráhy nástroje a polotovary. Výsledkem jsou CL data (jednotlivé dráhy nástroje), nástrojové a seřizovací listy. CL data jdou do postprocesoru, kde jsou přeložena na NC kód. U tohoto kódu však nemáme nijak ověřenou jeho správnost, a proto je tu možnost simulace. K simulaci lze použít CL data, či NC program viz kapitola Verifikace NC programu. Červený rámeček tedy znázorňuje oblast, ve které se pohybuje obsah této bakalářské práce.

### 4.3 Prostředí NX CAM

Na Obr. 4.3 se nachází uživatelské prostředí programu Siemens NX CAM, jsou zde vyznačeny nejdůležitější funkce pro tvorbu v rámci cílů této bakalářské práce:

1. Machine Tool navigator – prostředí pro vytváření kinematiky stroje
2. Tool path Animation – panel umožňující simulování drah nástroje (CL dat)
3. Simulate Machine – spuštění simulace stroje, je možno vybrat mezi simulací pomocí CL dat, vygenerovaného NC programu, nebo externího programu
4. Post Configurator – výběr již vytvořeného, či tvorba nového postprocesoru



Obr. 4.3 NX CAM UI

### 4.4 Charakteristika postprocesoru

Postprocesor je ve své podstatě překladač (převodník) dat, na jedné straně vložíme CL data z CAM systému a na druhé dostaneme NC kód, viz Obr. 4.4. Univerzální

překladač neexistuje, každý postprocesor je specifický a musí odpovídat nainstalovanému řídicímu systému a technologickým možnostem stroje.

GOTO /	54.22413,	5.97688,	-15.00000		
GOTO /	12.07107,	6.00000,	-15.00000		
INDIRV/	-1.00000,	0.00000,	0.00000		
TLON, GOFWD/	(CIRCLE/	12.07107,	25.00000,	-15.00000,	\$
	19.00000), ON, (LINE/	12.07107,	25.00000,	-15.00000,	\$
		-1.36396,	11.56497,	-15.00000)	
GOTO /	-9.89949,	20.10051,	-15.00000		
RAPID					
GOTO /	-9.89949,	20.10051,	15.20000		
RAPID					
GOTO /	100.00000,	4.00000,	15.20000		
RAPID					

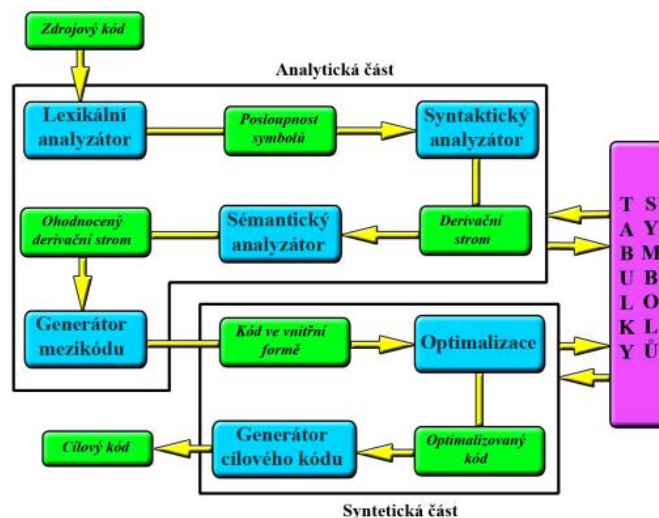
  

N500	G1	X54.224	Y5.977		
N510	X12.071	Y6			
N520	G2	X-1.364	Y11.565	I0	J19
N530	G1	X-9.899	Y20.101		
N540	G0	Z15.2			
N550	G0	X100	Y4		

Obr. 4.4 Příklad překladač CL dat do NC kódu [11]

Stejně tak neexistuje univerzální způsob tvorby postprocesoru, každý CAD/CAM má trochu odlišný formát, tudíž ve většině případech nejsou postprocesory navzájem kompatibilní a jak již bylo řečeno, je nutné postprocesor vytvářet nejen pro daný stroj a řídicí systém, ale také i CAD/CAM.

Pokud bude postprocesor obecně vytvářen jako překladač ve formě externí aplikace, je potřeba v daném programovacím jazyce napsat zdrojový kód postprocesoru, který CL data přeloží externě a následně generuje NC kód. Kód samotného překladače se opět odvíjí od vybraného jazyka, je nutné vygenerovat potřebné analyzátoři viz Obr. 4.5 , tento balíček je poté přeložen potřebným překladačem (například Dev-C++), výsledkem je samostatná aplikace schopná překládat CL data, podrobnější popis viz [11]

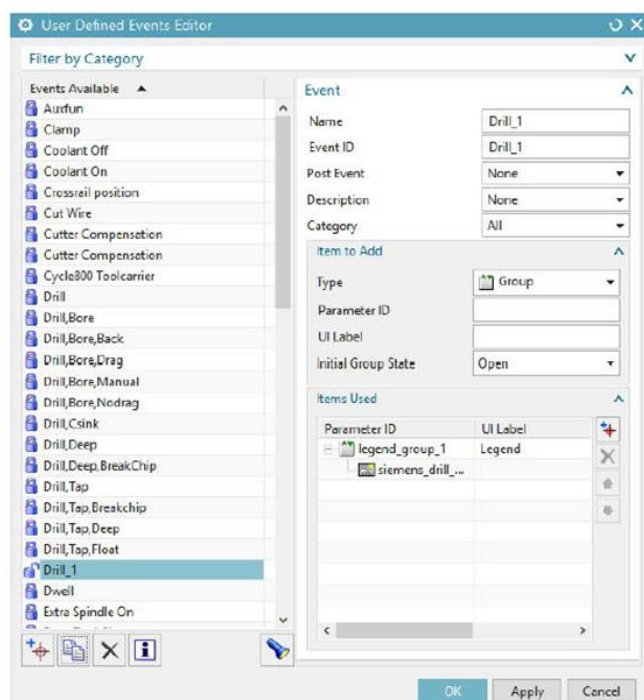


Obr. 4.5 Vnitřní struktura postprocesoru [11]

## 4.5 User Defined Event

Ne každá funkce v CAM systému může být zpracována postprocesorem automaticky. Mnoho funkcí musí zadefinovat technolog manuálně a určit, kdy s nimi má postprocesor pracovat. Proto jsou v postprocesoru definovány tzv. User Defined Eventy (UDE). Jedná se především o osové cykly (různé druhy vrtání, závitování, ...), specifické funkce stroje jako chlazení (mlhou, kryogenní, různé tlaky), nebo také výměna obrobku (palety).

Na Obr. 4.6 je ukázka UDE v prostředí Post configurator, ve kterém je vytvořen event pomocí jednotlivých parametrů, přiřazen typ, popisek a event který by měl následovat.



Obr. 4.6 User defined event [15]

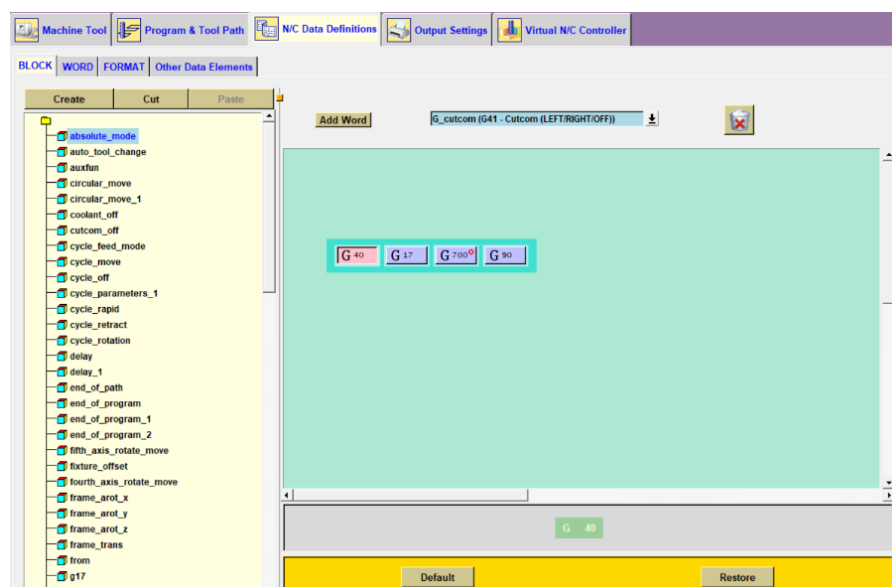
## 4.6 Post Builder

Post builder je původní program pro tvorbu postprocesorů pro Siemens NX, samotný program je již zastaralý a již nebude dále vyvíjen, výrobce ho však nadále podporuje, pouze už nebude dál rozšiřován.

Celý program je postaven na blokových schématech, kdy nejdříve vybereme druh stroje a počet os se kterými budeme pracovat a nastavíme okrajové podmínky stroje.

Dále jsou zde sekce:

- Program & Tool Path, kde jsou CL data analyzována, probíhá definice jednotlivých G a M kódů. Vytvářen je přehled jednotlivých slov a jejich pořadí v bloku NC kódu. Jsou určeny sekvence, které stanovují, co se bude dít na začátku a konci programu, či funkce. A v neposlední řadě je nutné nastavit parametry spojené s nástrojem, například: chlazení, změna posuvu, druhy posuvů, přepnutí mezi jednotkami, nebo pevné cykly
- N/C Data definitions (Obr. 4.7), kde je definován vzhled výsledného kódu. Jsou zde zavedeny definice bloků a jejich slov, společně s hodnotami, kterých můžou nabývat



Obr. 4.7 definice NC dat

Kromě tohoto grafického prostředí je zde i prostředí programovací. Pomocí programovacího jazyka TCL (Tool Command Language) jsou zde nastaveny jednotlivé funkce.

Samotný jazyk TCL je univerzální jazyk používaný v mnoha systémech, jeho veliká univerzálnost však přináší i jistá omezení ve formě nemožnosti použití složitějších matematických funkcí. Ne zřídka se tak stává, že základní kód psaný v TCL je rozšířen

o knihovny obsahující tyto složité funkce psané například v jazyce C++ a samotný TCL program je pouze jakýmsi zprostředkovatelem.

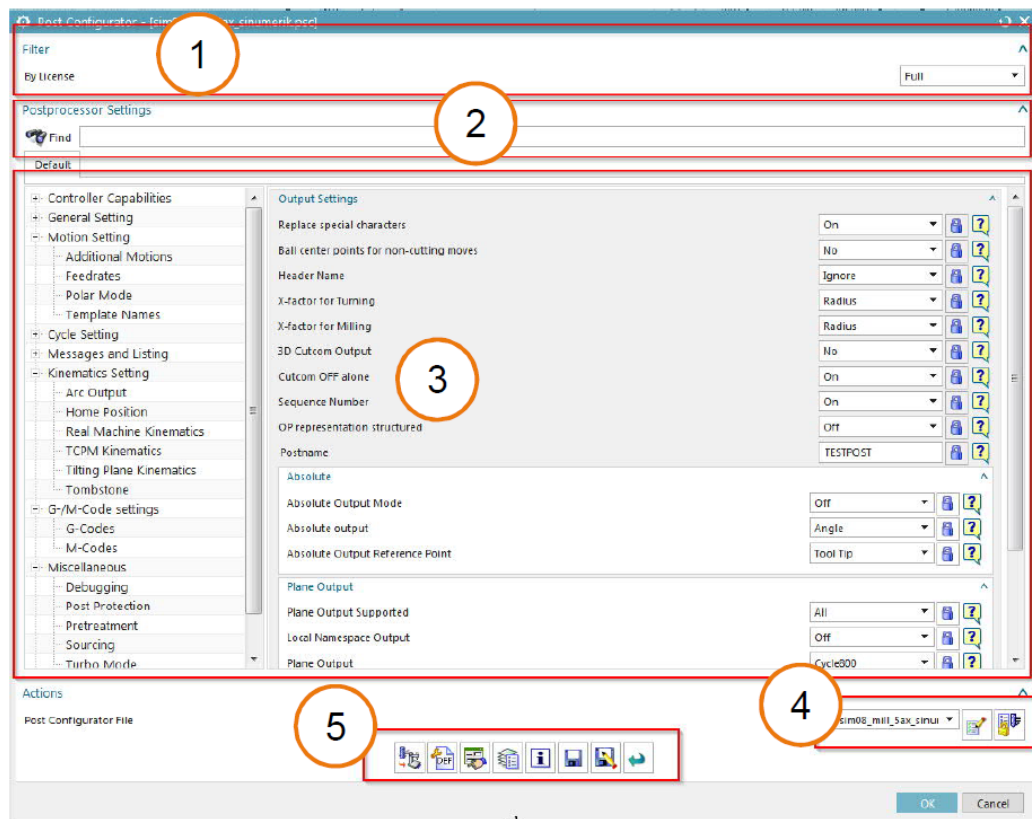
V prostředí Post Builder je vytvořen překladač, který jde upravovat pouze jako celek, kvůli tomu je velmi obtížné, či nemožné, postprocesor převzít pro jiný stroj, byť bude podobný. Je výhodnější vytvořit postprocesor nový, přímo pro daný stroj.

## 4.7 Post Configurator

Post configurator je nejnovější nástroj pro tvorbu postprocesorů od společnosti Siemens, je vyvíjen od verze NX11.0.2. Velkou novinkou je práce s vrstvami, pomocí nichž může být jeden postprocesor, se správně nastavenými vrstvami, použit na generování kódu pro více CNC strojů. Hlavní myšlenkou Post Configuratoru je znovu používání a recyklování dat. Toto je hlavní rozdíl od jeho předchůdce, kde bylo jednodušší vytvořit zcela nový postprocesor. Dále v budoucnu bude snaha předělat všechny postprocesory do tohoto nového formátu.

Samotný post configurator je integrován přímo v NX CAM, to samo o sobě zlepšuje přehlednost a manipulaci s vytvořenými postprocesory, ty tak mohou být rovnou použity a zkoušeny v CAM simulaci. Vytváření postprocesoru probíhá pomocí předpřipravených oken, dále je tu editor uživatelský funkcí, pro tvorbu a úpravu nových, nebo přednastavených eventů, slov či šablon viz Obr. 4.8.

Post Configurator v principu disponuje stejnými funkcemi jako Post Builder. Obsahuje funkce pro analyzování CL dat, stanovení M, G funkcí a definici jednotlivých sekvencí při začátku a na konci programu, či funkce. Ve finále jsou opět pomocí blokových schémat stanovena pořadí jednotlivých funkcí v blocích. Jednotlivé funkce jsou opět nastavovány pomocí jazyka TCL, a to se stejnými výhodami i omezeními (nutnost přidání knihoven). Samotná CL data je možné vygenerovat do externího souboru a ten pak překládat samostatně, viz kapitola: Charakteristika postprocesoru.



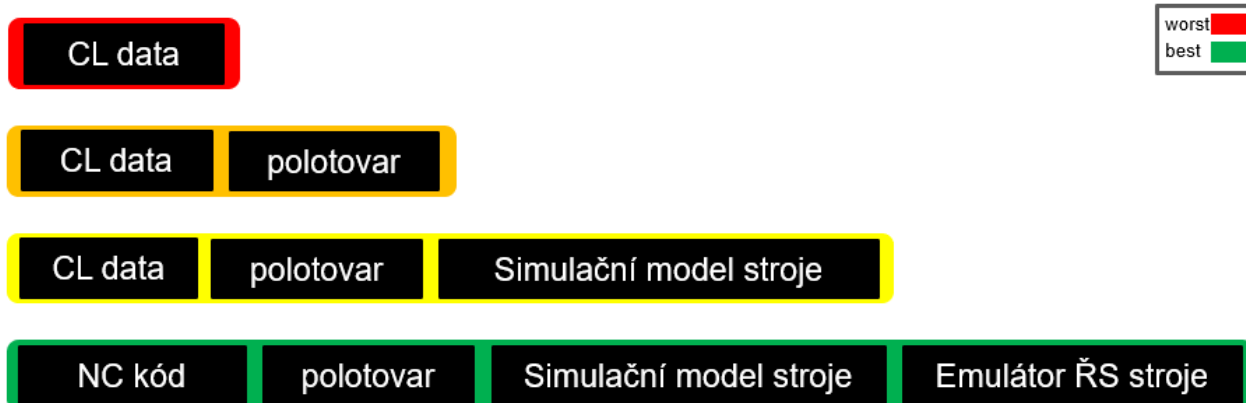
Obr. 4.8 Post Configurator UI [15]

Vysvětlivky pro Obr. 4.8 :

1. Filtr podle licence (různé úrovně licencí mají různé pravomoci při úpravě postprocesoru)
2. Vyhledávač nastavení postprocesoru
3. Jednotlivá nastavení NC výstupu
4. Integrovaný TCL editor a šifrovač
5. Akce
  - a. Dočasný postprocessing
  - b. DEF editor
  - c. UDE editor
  - d. Manažer vrstev
  - e. Protokol změn
  - f. Uložit/ uložit jako
  - g. Reset

## 4.8 Verifikace NC programu

V NX CAM může být program verifikován hned několika způsoby s různými stupni odladění viz Obr. 4.9.



Obr. 4.9 Stupně simulace v Siemens NX CAM

Stupně simulace v Siemens NX CAM jsou:

1. Nejjednodušší a nejméně průkazný způsob simulace, použitím vygenerovaných CL dat přímo z CAMu. Na obrobku lze znázornit pohyb nástrojů.
2. Zde je k CL datům (pohybu nástroje) přidán polotovar obrobku, je tedy možné sledovat "obrábění" dílce, tím poté doladit možné kolize s nástroji a upínači.
3. Společně s CL daty a obrobkem je do simulace nahrán i simulační model celého stroje, to nám umožní sledovat nejen kolize nástroje s obrobkem, ale i strojem
4. Nejspolehlivější způsob simulace, místo CL dat je použit přímo NC kód generovaný postprocesorem. Přímé ladění NC kódu, který následně vstupuje do stroje je velkou výhodou a velmi se zvyšuje šance odhalení chyb a celkově nedokonalostí, než se vůbec NC program dostane na stroj. Nevýhodou ovšem je nutnost přidání emulátoru řídicího systému stroje, aby bylo možné kód přečíst tak jak by ho četl reálný stroj



### 4.8.1 Simulační model stroje

Existuje několik typů, nebo spíše úrovní simulačních modelů stroje, nás však zajímá model z hlediska pozice nástroje v pracovního prostoru stroje. Je tedy možné zbavit všeho co nesouvisí s pracovním prostorem. K vytvoření požadovaného modelu jsou potřeba tyto věci:

1. 3D model stroje – přesněji řečeno zjednodušená sestava stroje, kde je zaměření především na pohyblivé části jako jsou pojezdové části os, vřetena, dveře a zásobníky nástrojů zasahující do pracovního prostoru stroje
2. Kinematika stroje – pohyblivým částem je určen rozsah pohybů, poloha dané osy, dílců ovlivněných pohybem po této ose a okrajové podmínky
3. Postprocessor – vytvoření již zmíněného postprocesoru pomocí Post Builderu, či Post Configuratoru
4. Emulátor řídicího systému stroje – pomocí programu Machine Configurator je vytvořena imitace reálného řídicího systému, s níž simulační model dokáže přeložit NC kód zpět na jednotlivé dráhy nástroje a odsimulovat je na modelu stroje

### 4.9 Zhodnocení rešerše

Stroj Tajmac – ZPS H630 je vybaven hned několika perifériemi, které je nutné zohlednit při tvorbě postprocesoru i simulačního modelu, aby byla zajištěna jejich správná funkce. Jedná se zejména o výměnu palet, měření pomocí sond (nástrojová, obrobková) a osově chlazení kapalinou, olejovou mlhou, vzduchem, nebo CO<sub>2</sub>.

Simulační model bude vytvořen na základě sestavy stroje Tajmac-ZPS H630 dodané výrobcem a doplněné o model sondy pro měření nástroje.

Z rešerše vyplývá, že tvorba postprocesoru může probíhat třemi způsoby, konkrétně: externí aplikace, Post builder a Post Configurator. Všechny tyto způsoby jsou pro tvorbu postprocesoru pro stroj Tajmac H630 vhodné. V následující kapitole proto bude provedeno zhodnocení výhod a nevýhod využití těchto způsobů tvorby postprocesoru při návrhu variant řešení a na základě toho proběhne výběr výsledné varianty.

## 5 Návrh variant řešení postprocesoru

Z rešerše vyplývají celkem tři možnosti tvorby postprocesoru pro Siemens NX:

**Externí aplikace:** velkou výhodou toto řešení je volně přístupný zdrojový kód nutný k vygenerování jednotlivých analyzátorů, dle námi zvoleného jazyka. Na straně nevýhod je však náročnost a zdlouhavost celého procesu vytváření takového překladače. Další nevýhodou je, že nelze přímo navázat na simulační model a bylo by tedy možné používat pouze simulaci na základě externího NC programu. Výsledkem je samostatně spustitelná aplikace .exe, která nám umožní překládání externě generovaná CL data z NX CAM.

**Post Builder:** výhodou toho řešení je volně přístupný zdrojový kód postprocesoru. Další výhodou je přímé navázání na simulační model a tedy funkční oba dva typy simulací na bázi NC programu. Nevýhodou však je zastaralost prostředí tohoto externího programu, s tím souvisí ukončení jakéhokoliv dalšího vývoje, kdy je nutné veškeré další funkce dodělat do postprocesoru ručně. Výsledkem je postprocesor skládající se ze tří souborů -.pui, .tcl a .def.

**Post Configurator:** nejnovější program integrovaný přímo do NX CAM, největší výhodou tohoto řešení je možnost práce se šablonami, které je možné pomocí nastavitelných vrstev upravit přesně v místě kde je potřeba a není nutné začínat celý postprocesor od znova. Další výhodou je opět přímé navázání na simulační model, a tedy funkční oba dva typy simulací na bázi NC programu. Jednotlivé úpravy postprocesoru jsou tedy rychlé a přímo provázané s generováním a simulováním NC kódu. Výsledkem je postprocesor skládající se ze tří souborů -.pou, .tcl, a .def.

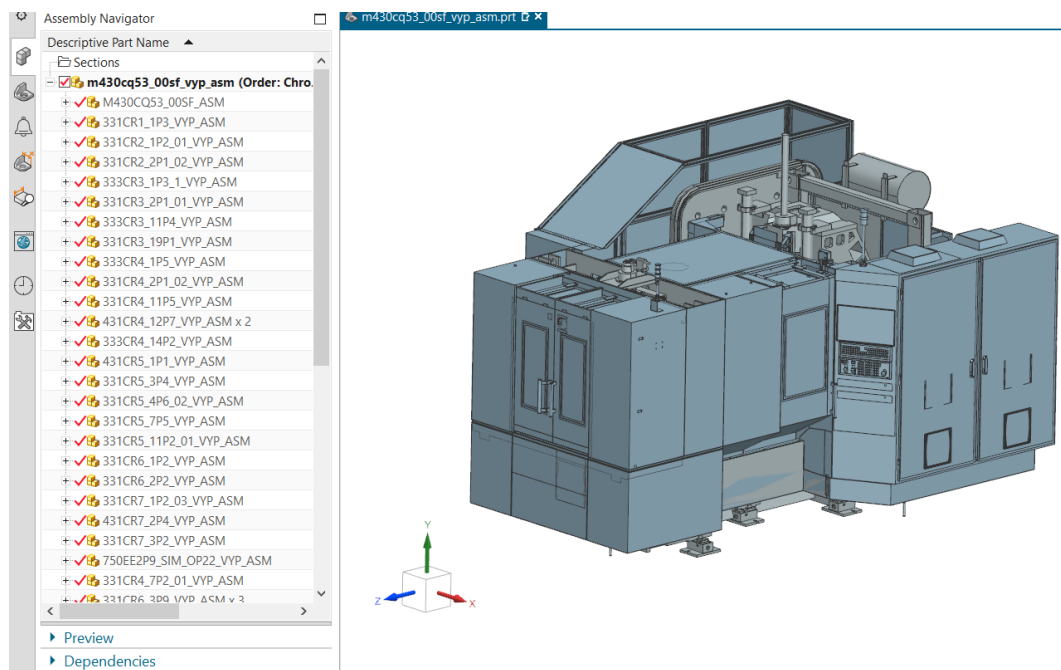
Jako nejvhodnější varianta jak z hlediska času, tak přehlednosti byl zvolen Post Configurator, tato varianta bude následně realizována.

## 6 Vlastní tvorba simulačního modelu

Jako šablona pro tvorbu tohoto simulačního modelu byl použit ukázkový model čtyřosého stroje Sim03, jedná se o simulační model stroje z knihovny Siemens NX. Je potřeba dodržet stejnou strukturu souborů, aby byl vytvářený simulační model použitelný jako šablona pro Siemens NX.

### 6.1 Úprava 3D modelu

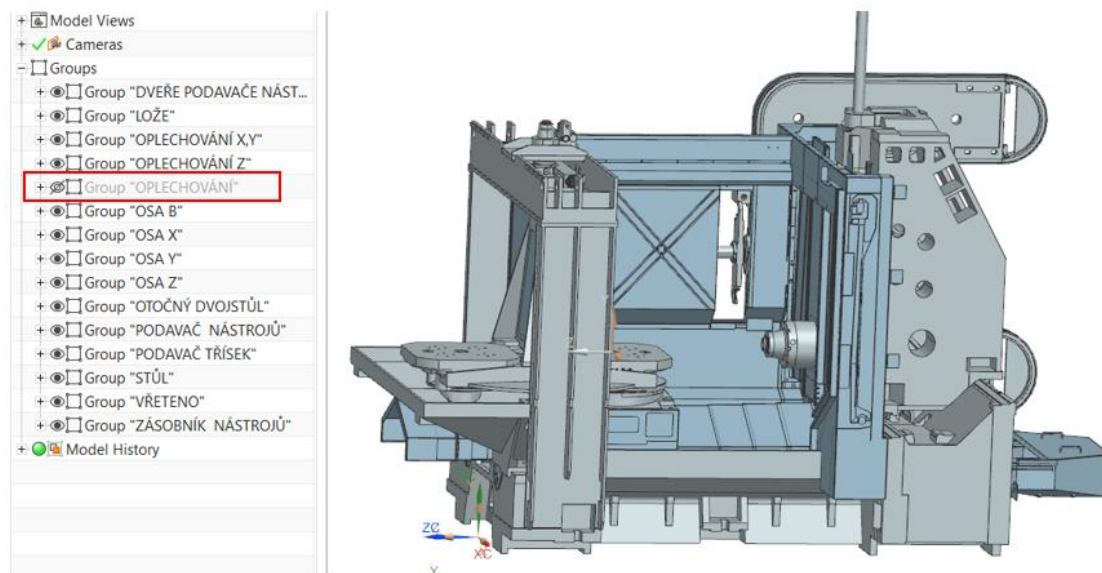
Model stroje byl dodán přímo výrobcem stroje ve formátu STEP. Po převedení do NX CAM proto ztratil naprostou většinu svých referencí, to zapříčinilo rozpad na stovky malých sestav, podsestav a dílů na Obr. 6.1 je možné vidět nepřehledný strom s obecným a nepřehledným pojmenováním dílů.



Obr. 6.1 Sestava ze STEP

Rovněž došlo k několika menším posunům komponent, bylo tedy nutné jednotlivé uzly/části projít a smazat vše přebytečné. Pro simulační model je nezbytný především obráběcí prostor stroje, ostatní struktury bylo proto možné co nejvíce zjednodušit. Zbylé části stroje byly rozděleny do jednotlivých skupin (Obr. 6.2), jako: oplechování stroje, lože, vřeteno atd. jsou pak následně sloučeny do samostatných dílů, cílem bylo co nejvíce usnadnit práci s 3D modelem, umožnit jednoduché přepínání zobrazení

(nyní je celá skupina oplechování zneviditelněna) jednotlivých skupin pro snazší simulaci a kontrolu kolizí při odbavování vygenerovaného programu.



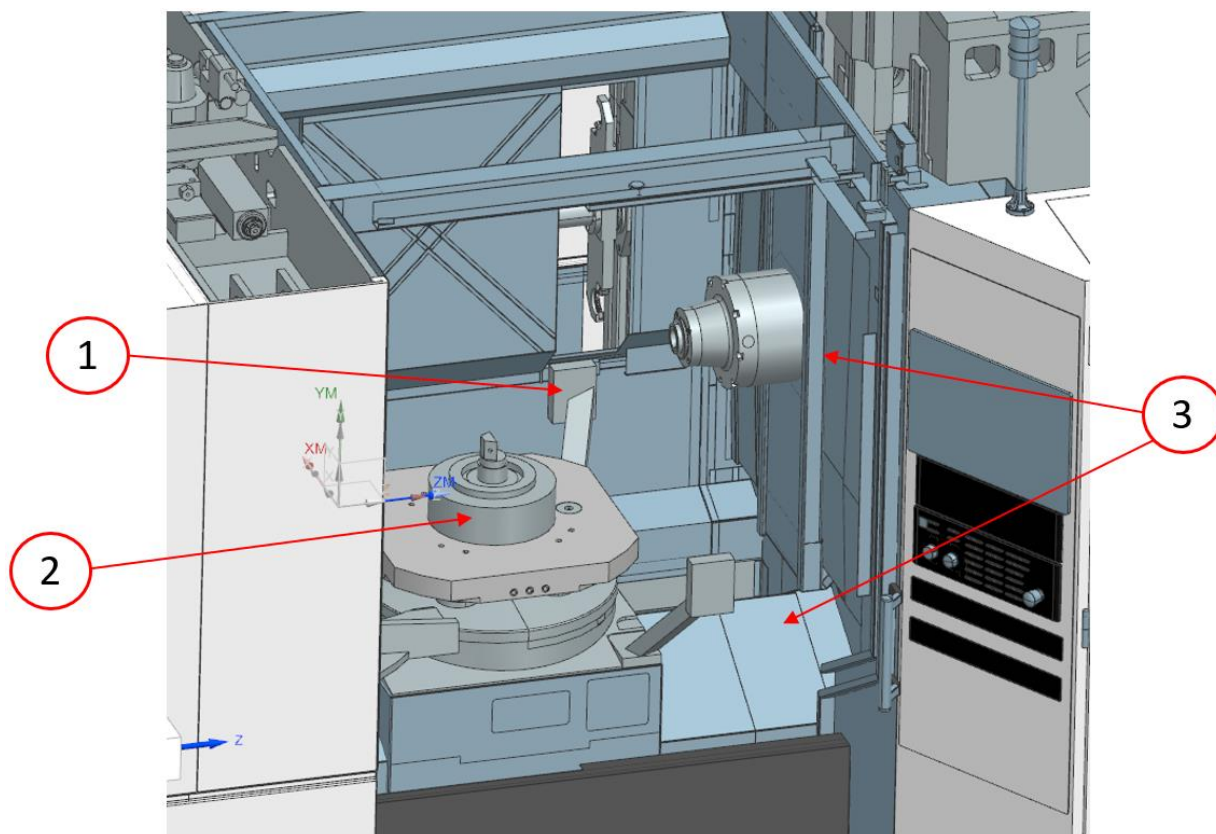
Obr. 6.2 Upravený model

Samotný pohyb oplechování stroje nelze v NX CAM realizovat jako na opravdovém stroji, je proto nutné ho upravit tak, aby i při následných pohybech v simulaci nevznikala v pracovním prostoru "prázdná místa". Oplechování tedy bylo nutné zjednodušit a domodelovat, aby prázdná místa nevznikla.

Dále bylo potřeba počítat s přídavnou nástrojovou sondou a upínacím příslušenstvím pro obrobek (sklíčidlo a upínky), nachází se totiž v pracovním prostoru a je nutné s ním počítat vzhledem k možné kolizi s vřetenem, rozměry nebylo možné zjistit od výrobce, proto byly oměřeny přímo na pracovišti a s drobným přídavkem vymodelovány v CAD. Výsledný model pracovního prostoru stroje je možné vidět na Obr. 6.3.

Popis položek na Obr. 6.3:

1. Nástrojová sonda
2. Orotovaný profil vřetene s upínkami
3. Oplechování stroje pohybující se zároveň s vřetenem

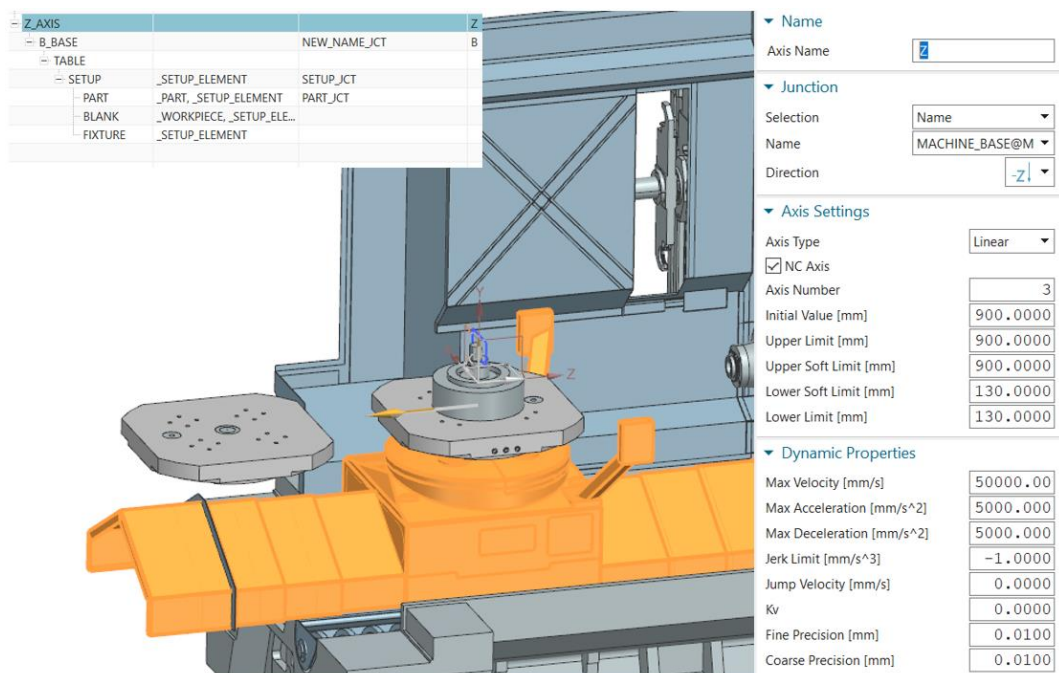


Obr. 6.3 Obráběcí prostor stroje

## 6.2 Nastavení kinematiky stroje

Nastavení kinematiky je opět provedeno na základě modelu Sim 03, vzhledem k předchozímu zjednodušení 3D modelu je nyní možné vybrat pohyblivé struktury které se v simulaci budou pohybovat společně s jednotlivými osami.

Dále je nutné každé ose nastavit orientaci, současnou, počáteční a koncovou polohu, včetně její maximální rychlosti a zrychlení. Na Obr. 6.4 je jako příklad označena osa Z, kde kromě samotného těla stolu bylo nutné vybrat i její oplechování a přídatná nástrojová sonda. Na této ose je dále zavazbená osa B, která si dále nese vazbu s pracovním stolem. Pracovní stůl si zase nese informace o pozici obrobku (part), jeho polotovaru (blank) i jeho upnutí (fixture).



Obr. 6.4 Nastavení strojních os

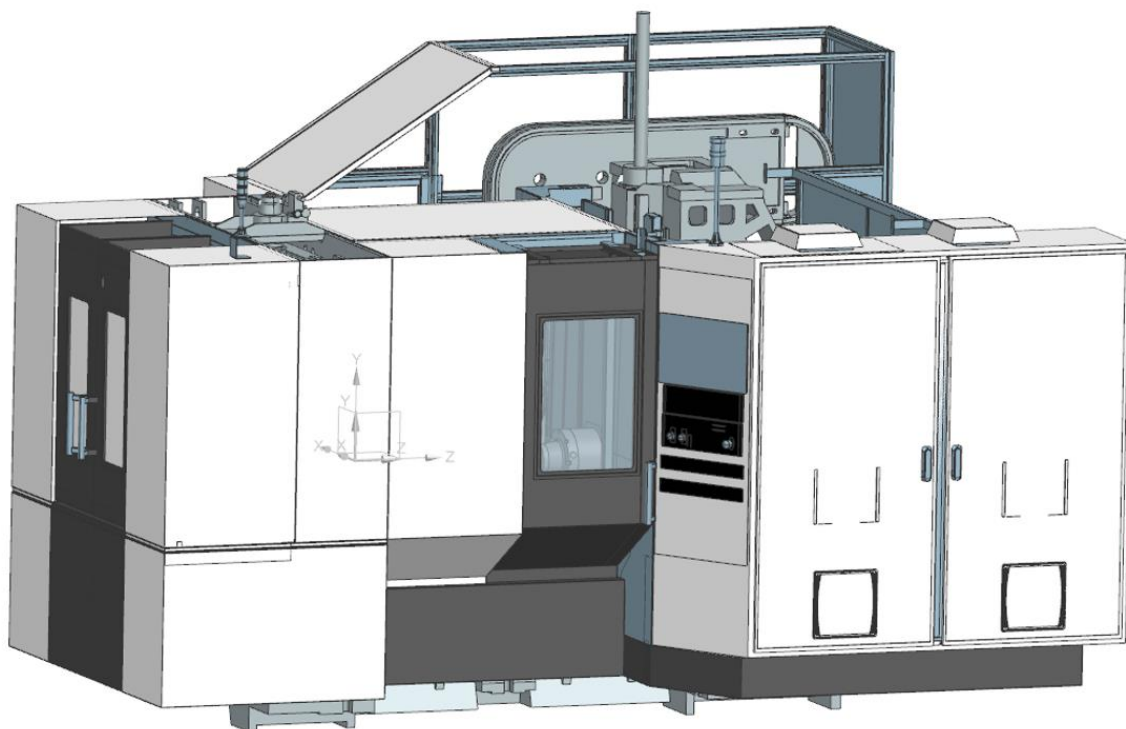
Celou kinematiku stroje poté můžeme vidět na Obr. 6.5. Kromě již zmíněné osy Z a B můžeme vidět osu X a Y zavazbenou obdobným způsobem, a to včetně vřetene, na kterém je zadefinována tzv. kapsa (pocket\_01) v níž se v rámci simulace generuje upnutý nástroj.

Name	Classification	Junctions	Axis...	Initia...	N...	Chains
TAJMAC_H630						
[-] MACHINE_BASE	_MACHINE_BASE	MACHINE_ZERO_JUNCTION*				
[-] X_AXIS			X	0	✓	Y-Z-X-B
[-] Y_AXIS			Y	50	✓	Y-Z-X-B
[-] SPINDLE	_DEVICE	S*	S	0		
[-] POCKET_01	_DYNAMIC HOLDER	T1				Y-Z-X-B
[-] Z_AXIS			Z	900	✓	Y-Z-X-B
[-] B_BASE		NEW_NAME_JCT	B	0	✓	Y-Z-X-B
[-] TABLE						
[-] SETUP	_SETUP_ELEMENT	SETUP_JCT				Y-Z-X-B
PART	_PART, _SETUP_ELEMENT					
BLANK	_WORKPIECE, _SETUP_ELE...					
FIXTURE	_SETUP_ELEMENT					

Obr. 6.5 Kinematika stroje H630

Aby emulátor řídicího systému věděl, kam která osa patří, je nutné stanovit kinematický řetězec (Chains), ten stanoví pořadí jednotlivých os, jejich účel (například rotační osa/vřetenno).

Výsledný vzhled simulačního modelu (Obr. 6.6) byl zvolen dle jeho reálné předlohy.



*Obr. 6.6 Simulační model H630*

### **6.3 Úprava emulátoru řídicího systému**

Emulátor byl převzat z již zmíněného ukázkového stroje z NX CAM. Pro práci na stroji je však použití cyklu 800, který značně usnadní práci se souřadným systémem, zejména při upnutí dílce mimo střed palety, což je velmi častý stav při obrábění. S tím však předloha nepočítala, Sim03 totiž je totiž nastaven, aby postprocesorem přepočítával veškeré souřadnice ze souřadnic obrobku do souřadnic stroje sám, tudíž cyklus 800 nepotřebuje. Bylo tedy nutné dodělat chybějící konfigurační soubor TC\_CARR (Obr. 6.7), který obsahuje veškeré parametry (například jednotkové vektory pootočení) tohoto cyklu.

```
TC_CARR6[1]=-100.012
TC_CARR7[1]=-1          ;;x component of rotary axis v1
TC_CARR8[1]=0           ;;y component of rotary axis v1
TC_CARR9[1]=0           ;;z component of rotary axis v1
TC_CARR10[1]=0          ;;x component of rotary axis v2
TC_CARR11[1]=0          ;;y component of rotary axis v2
TC_CARR12[1]=-1         ;;z component of rotary axis v2
TC_CARR13[1]=0
TC_CARR14[1]=0
TC_CARR15[1]=0
TC_CARR16[1]=-225
TC_CARR17[1]=-480
TC_CARR18[1]=-625.583
TC_CARR19[1]=700.675
TC_CARR20[1]=0
TC_CARR21[1]=(X)
TC_CARR22[1]=(X)
TC_CARR23[1]="P"        ;;Kinematic type T M P
TC_CARR24[1]=0          ;;Offset of rotary axis v1
TC_CARR25[1]=0          ;;Offset of rotary axis v2
TC_CARR26[1]=0
TC_CARR27[1]=0
TC_CARR28[1]=0
TC_CARR29[1]=0
TC_CARR30[1]=-115       ;;Minimum position of rotary axis v
TC_CARR31[1]=-9999      ;;Minimum position of rotary axis v
TC_CARR32[1]=115        ;;Maximum position of rotary axis v
TC_CARR33[1]=9999       ;;Maximum position of rotary axis v
TC_CARR34[1]="R_DATA"   ;;Toolholder name
TC_CARR35[1]="A"        ;;Axis name 1
TC_CARR36[1]="C"        ;;Axis name 2
TC_CARR37[1]=201003003 ;;Identifier
```

Obr. 6.7 Ukázka formátu TC\_CARR[2]

Konfigurace samotného cyklu byly vykopírovány výrobcem stroje přímo z řídicího systému stroje. Poté bylo potřeba tento soubor upravit tak, aby simulace v CAM odpovídala reálnému chování stroje, formát TC\_CARR totiž v základu počítá s pětiosou konfigurací stroje, bylo tedy nutné obejít absenci páté osy použitím virtuální. Nakonec se naší virtuální osou stala osa vřetene, kde bylo pomocí převrácení jednotkových vektorů zamezeno jejímu pohybu. Takto dovybavený emulátor je nyní možné použít pro simulaci NC kódu používajícího cyklus 800.

## 6.4 Tvorba postprocesoru

Post configurator již v základu obsahuje šablonu pro tvorbu postprocesoru pro řídicí systém Sinumerik, avšak program je generován nepřehledně a velmi obecně, a tak je pro obsluhu je velmi obtížné ověřit jeho správnost. Proto bylo nutné provést vlastní úpravy nejen z hlediska přehlednosti, ale i samotných periférií a specifikací stroje.

### 6.4.1 Struktura

Je nutné, aby byl program přehledný a rozeznatelný, proto je potřeba, aby byl vždy označen začátek i konec jednotlivých operací ať už obráběcích, či pomocných, jako je například výměna nástroje, či stanovení jednotlivých parametrů. Stejně jsou označeny



i jednotlivé události během programu, jako například: výměna nástroje, zapnutí UDE, definování parametrů atd... Příklad značení jsou vidět na Obr. 6.8. Zde je možné vidět příklad kódu který vypisuje jméno operace při jejím začátku, nejprve je do bufferu se začátkem operace vloženo jméno funkce zacatek\_operace, tato funkce má potom za úkol vyhledat jméno operace. Pokud jméno najde, tak ho vypíše, jak je uvedeno v červeném rámečku na samotném obrázku Obr. 6.8.

```
#Oddělení operací-začátek
proc MOM_initial_move_LIB_ENTRY {arg} {
#-----
    switch -- $arg {
        "start" {
            zacatek_operace
        }
    }
}
#-----
proc zacatek_operace {} {

    global mom_operation_name

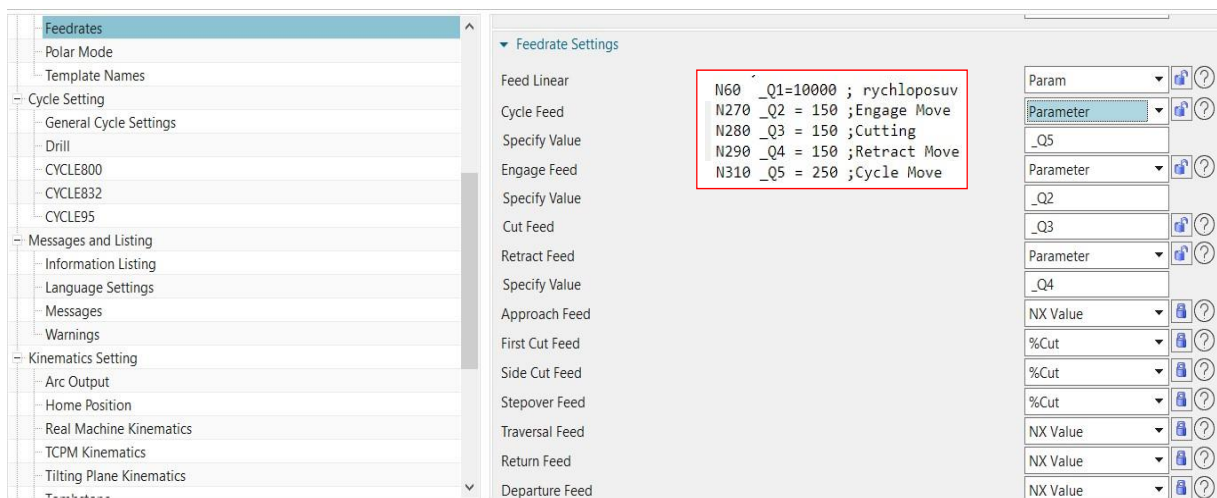
    if {[info exists mom_operation_name] == 1} { LIB_GE_message "===== > ZÁČÁTEK $mom_operation_name <=====
```

Vypsání v NC kódu

N330 ;===== > ZÁČÁTEK FLOOR\_FACING\_1 <=====

Obr. 6.8 Strukturalizace programu

Dále bylo nutné parametizovat posuvové rychlosti jednotlivých operací, pomocí těchto parametrů je možné přesně korigovat celý proces výroby, aniž by bylo nutné přepisovat každý jeden příkaz a program se ještě více zpřehlednil (není nutné vyhledávat jednotlivé posuvy zvlášť v programu).



Obr. 6.9 Parametry posuvové rychlosti

Veškerý rychloposuv byl nahrazen lineární interpolací a pracovním posuvem o vysoké hodnotě, tím je zajištěna přesná přímková dráha pohybu vřetene a sníženo riziko kolize s obrobkem, upínkou, atd.. Samotný posuv během jednotlivých operací byl rozdělen na : posuv příjezdu, posuv řezu, posuv odjezdu a posuv pro cykly (Obr. 6.9).

### 6.4.2 Nepodmíněný stop

Klíčové události jsou od sebe odděleny funkcí M0, ta pozastaví program a umožní obsluze kontrolu správnosti programu, například zdali je zvolen správný nástroj, či správně nastavena posuvová rychlost pro danou operaci. Nepodmíněné zastavení bylo implementováno u výměny nástroje a u operací se speciálním druhem chlazení viz Obr. 6.10 (zde je velké riziko při nesplnění požadavků pro daný druh chlazení).

```

;===== > CHLAZENÍ <=====
N300 ; !!!!!!!!!!!!!!! POZOR !!!!!!!!!!!!!!!
N310 ; !!! Vymout kapiláru umožňující chlazení pomocí CO2, nebo použít tlak o maximální hodnotě 60 bar. !!!
N320 M0
N330 M16=2

```

Obr. 6.10 Nepodmíněný stop chlazení

### 6.4.3 Nástroj

Je velmi důležité, aby byl ve vřeteni vždy správný nástroj, avšak podle samotného jména není možné poznat, zda tomu tak je. Proto byl na začátku programu vytvořen seznam všech použitých nástrojů Obr. 6.11, kde je zároveň uveden i zdrojový kód této funkce.

```

#-----Tool list-----
LIB_GE_command_buffer_edit_append NOM_start_of_program_LIB PROGRAMSTART {
    global format mom_cutter_info
    set format "<15< <12< <30<"
    LIB_GE_message ""
    LIB_GE_message "===== SEZNAM NÁSTROJŮ <===== "
    set tool_name_list [lsort -dictionary -unique $::lib_pretreatment(tool_name_list)]
    MOM_ask_cutter_info tool_name_list
    foreach tool_name $tool_name_list {
        if {[info exist mom_cutter_info($tool_name,cutter_description)]} {set mom_cutter_info($tool_name,cutter_description) " --- "}
        LIB_GE_message "[LIB_DC_format_string $format [list " $tool_name" "T-Nr.: $mom_cutter_info($tool_name,tool_number)" "Descr.: $mom_cutter_info($tool_name,cutter_description)"]]"
    }
} _CUSTOM_TOOL_LIST

```

Vypsání v NC kódu

N120 ;===== > SEZNAM NÁSTROJŮ <=====			
N130 ; DURAL_D10	T-Nr.: 1	Descr.:	freza 10mm
N140 ; KULOVKA_D12	T-Nr.: 2	Descr.:	kulova freza 12mm
N150 ; STD_DRILL	T-Nr.: 3	Descr.:	---
N160 ; THREAD_MILL	T-Nr.: 4	Descr.:	---

Obr. 6.11 Seznam nástrojů

Dále při každé výměně vygenerována tabulka s nejdůležitějšími rozměry nástroje, pro jeho snadnou identifikaci (Obr. 6.12).

```
N190 ;===== > VÝMĚNA NÁSTROJE <=====
N200 ;--> Nástroj: KULOVKA_D12
N210 ;--> Průměr: 12.0000
N220 ;--> Délka: 60.0000
N230 ;--> Radius: 6.0000
N240 M0
N250 T="KULOVKA_D12"
N260 M6
```

Obr. 6.12 Popis nástroje

Dále bylo nutné zajistit správnou funkci délkové korekce nástroje. Při zapnutí funkce G41/G42 je nutné, aby byl vygenerován i odkaz na adresář korekce nástroje D na stejný řádek.

#### 6.4.4 Transformace souřadnic

Transformace souřadnic je zajištěna podle typu obráběcí operace buďto cyklem 800, nebo funkcí Traori (rozdíl mezi nimi a jejich použití viz podkapitola 3.4.3).

Po zprovoznění emulátoru stroje je cyklus 800 plně připraven k použití (viz Obr. 6.13). Postprocesor Sim 03 obsahuje přidáný kód kvůli kterému postprocesor sám přepočítává souřadnice a zabraňuje generování Cyklu 800. Po odstranění kódu bylo nutné nastavit už jen pořadí transformace os (57) a odkaz na TC\_CARR (B\_ONLY).

```
N300 G54
N310 CYCLE800(0,"B_ONLY",0,57,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,1,0)
N320 ;===== > ZAČÁTEK ADAPTIVE_MILLING <=====
N330 O2=300 : příjezd
```

Obr. 6.13 Cyklus 800

Funkce Traori se u všech nových postprocesorů stává standardem a je zrovna tak obsažena v základní šabloně post configuratoru a není jí nutno upravovat, tato funkce je automaticky vyvolána postprocesorem, pokud je potřeba čtyř(a více)-osé frézování (Obr. 6.14).

```

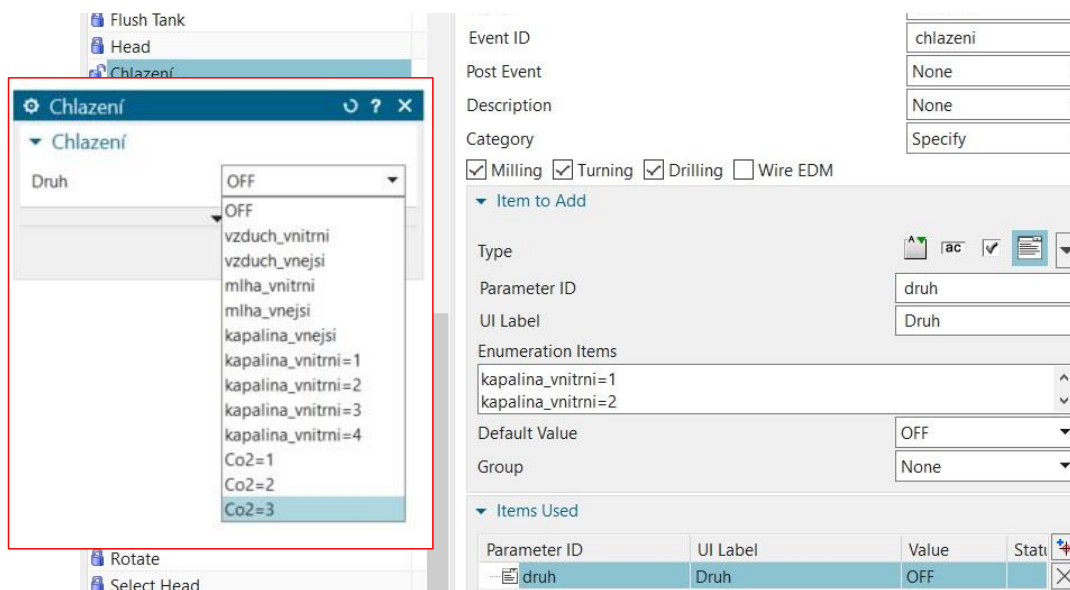
N310 TRAORI
N320 ;===== > ZAČÁTEK VARIABLE_STREAMLINE <=====
N330 _Q2=300 ; příjezd
N340 _Q3=250 ; řez
N350 _Q4=300 ; odjezd
N360 _Q5=250 ; posuv cyklu
N370 M0
N380 G17 G1 X46.56 Y-50. Z-5.996 B90. S9500 D1 M3 F=_Q1
N390 X39.326
N400 G94 G90 X38.468 Z-5.858 F=_Q2
N410 X37.687 Z-5.476
N420 X37.032 Z-4.902
N430 X36.519 Z-4.198
N440 X36.136 Z-3.415
N450 X35.861 Z-2.587
N460 X35.674 Z-1.735
N470 X35.558 Z-0.871
N480 X35.5 70.

```

Obr. 6.14 Příklad Traori

### 6.4.5 Chlazení

Vzhledem velkému výběru z hlediska chlazení bylo nutné vytvořit vlastní UDE umožňující ovládání všech druhů chlazení pomocí jednoho výběrového menu (Obr. 6.15). Dále bylo nutné zajistit kontrolu okrajových podmínek pro zapnutí daného druhu chlazení. Proto je nutné, aby kromě zastavení programu byl vypsán i komentář upozorňující obsluhu na kontrolu vyjmutí kapiláry pro chlazení pomocí CO<sub>2</sub> nebo snížení tlaku na max. 60 bar (k vidění v podkapitole nepodmíněný stop Obr. 6.10). Jednotlivé položky byly zvoleny dle seznamu v Tab. 3-4.



Obr. 6.15 UDE Chlazení

### 6.4.6 Pevné cykly

Co se týče pevných cyklů jako je vrtání, či závitování, nebylo nutné nic upravovat, základní šablona zajišťuje správné generování pro použitý typ řídicího systému, nyní postprocesor podporuje cykly uvedené v kapitole 2.2. Osové operace na Obr. 6.16 je uveden příklad vrtacího cyklu

```

N360 ;===== > ZAČÁTEK DRILLING <=====
N370 G94 S100 M3
N380 G1 X-1.533 Y-25. Z47.5 D1 F=_Q1
N390 F=_Q5
N400 MCALL CYCLE81(47.5,26.4675,3,14.064)
N410 X-1.533 Y-25.
N420 MCALL
N430 ;===== > KONEC DRILLING <=====

```

Obr. 6.16 Vrtání

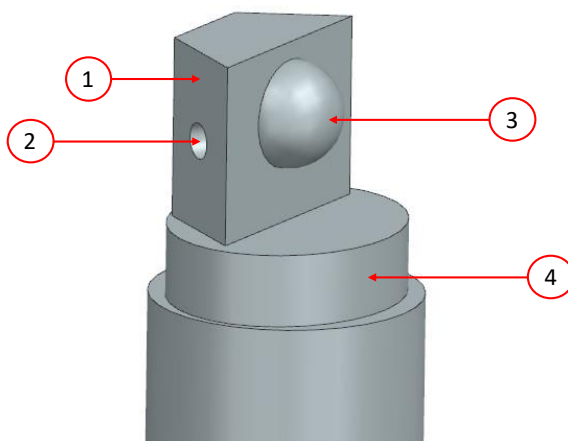
## 6.5 Verifikace simulačního modelu a postprocesoru

Samotná verifikace simulačního modelu jako celku společně s postprocesorem probíhala postupně na několika úrovních, výsledkem celého testování bylo vyrobená testovací dílce přímo na stroji.

### 6.5.1 Návrh testovacího dílce

Bylo nutné vytvořit atypický dílec umožňující otestovat co nejvíce druhů řízení os na stroji, různé druhy operací stejně tak možnosti např. vrtacích či závitovacích cyklů stroje. Proto byl navržen a následně vymodelován dílec, viz Obr. 6.17. Geometrie testovacího dílce se skládá z:

1. Zkosené plochy – umožní otestovat cyklus 800
2. Otvor – možnost otestování vrtacích a závitovacích cyklů
3. Polokoule – tříosé řízení, kontrola kvadrantových chyb pohonů
4. Elipsa – čtyřosé řízení, otestování funkce Traori

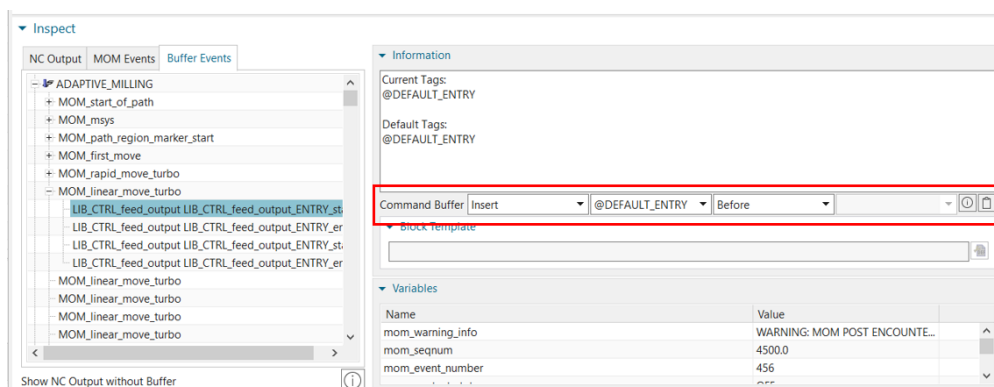


Obr. 6.17 Testovací dílec

## 6.5.2 Verifikace postprocesoru

Následovala simulace kódu generovaného postprocesorem za pomoci samotného Siemens NX. Proběhla kontrola správnosti vypisování jednotlivých příkazů a cyklů. V návaznosti na testovací dílec bylo nutné ověřit správné generování kódu při různém pořadí obráběcích operací, či celého programu. Společně s touto verifikací byly realizovány drobné úpravy postprocesoru (například vypisování otáček na vlastní řádek)

Pomocí funkce inspect tool (Obr. 6.18) v Post configuratoru bylo možné dohledat MOM eventy generující kód. Po nalezení správných eventů bylo jednoduše možno buď upravit jeho chování, či doplnit o další kód přímo v souboru postprocesoru.

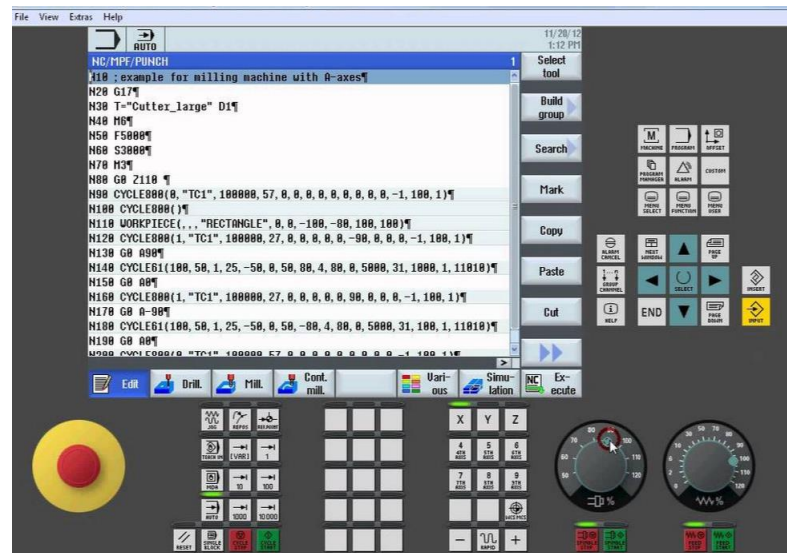


Obr. 6.18 Inspect tool

## 6.5.3 Verifikace simulačního modelu

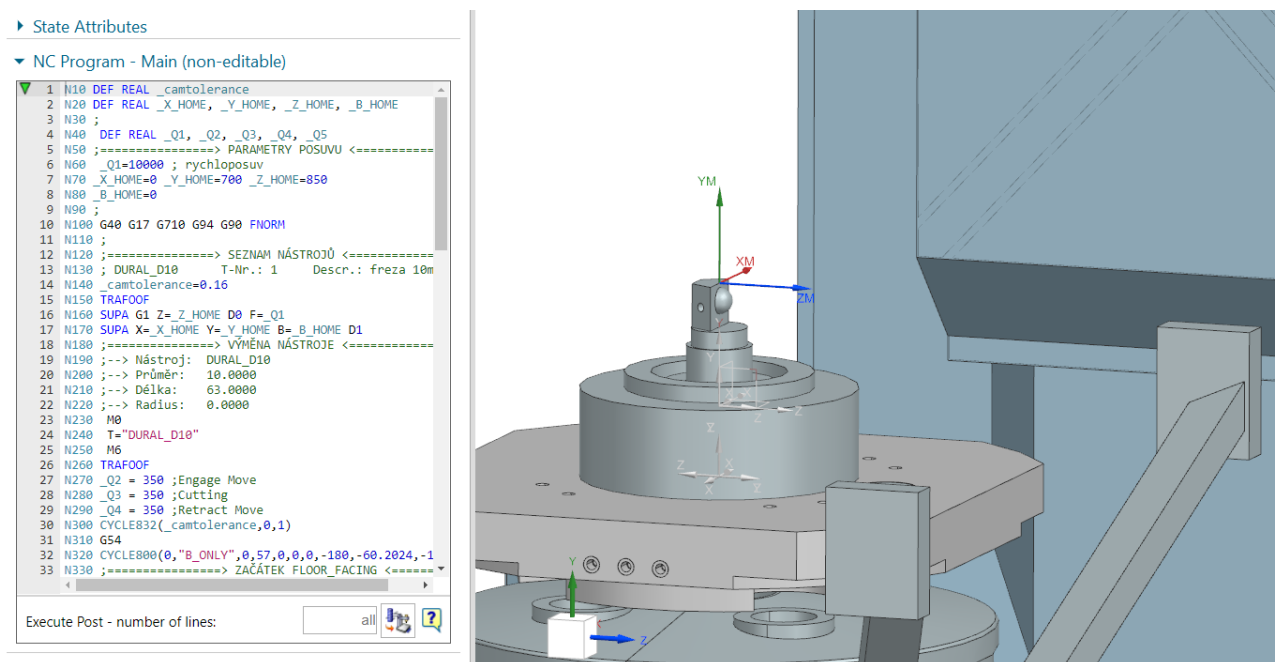
Finální kontrola před samotným obrobením na stroji. Pomocí simulace v Siemens NX a programu Sinutrain bylo ověřováno chování simulačního modelu a virtuálního stroje.

Sinutrain je program sloužící k tvorbě a kontrole NC kódu, svým vzhledem napodobuje panel řídicího systému a uživatelské rozhraní stroje (Obr. 6.19). Do jeho paměti je vždy nutno nahrát zálohu ř.s. stroje pro který chceme kód testovat, v našem případě zde byla nahrána záloha skutečného stroje Tajmac H630.



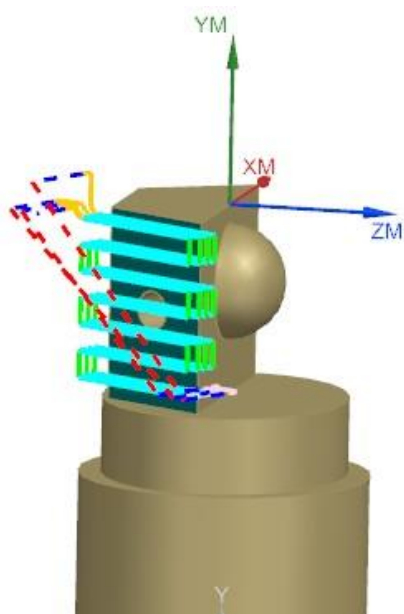
Obr. 6.19 Prostředí Sinutrain 58[2]

Byly kontrolovány jednotlivé pohyby, zásadní bylo ověřit chování osy B, pro kterou byl speciálně upraven emulátor a bylo nutné jej otestovat. Jakmile se všechny osy simulačního modelu pohybovaly stejně jako virtuální stroj v Sinutrain, bylo možné přejít na samotnou výrobu testovacího dílce. Během této verifikace byly opět provedeny drobné změny postprocesoru, například odladění vyvolávání nástroje, či generování Cyklu 832. Na Obr. 6.20 je vidět simulace stroje pomocí NC kódu.



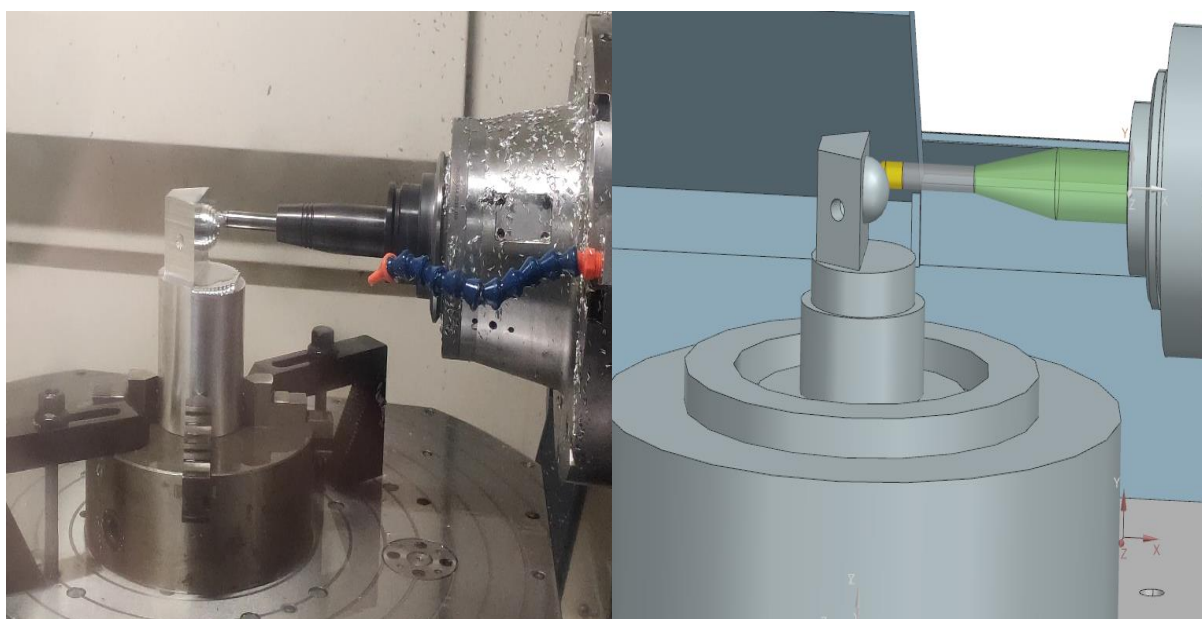
Obr. 6.20 Simulace obrábění s NC kódem

Následovala konečná fáze verifikace simulačního modelu, kdy byly NC kódy jednotlivých operací postupně odladěny a následně odbaveny na stroji v CIIRC, opět byly kontrolovány jednotlivé dráhy, ověřována jejich podobnost s drahami z NX CAM (Obr. 6.21). Jednotlivé obráběcí operace na testovacím dílci je možné vidět v Př.č1.



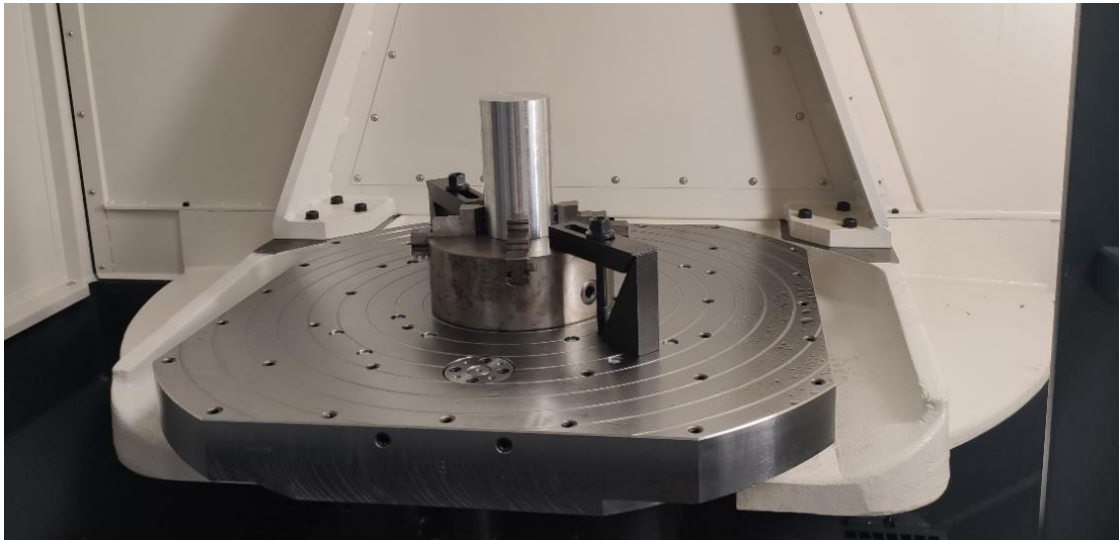
Obr. 6.21 Obrobení Zkosených ploch (pomocí cyklu 800)

Zbytek chyb byl rychle odhalen a napraven, většina nesouvisela s Postprocesorem, nýbrž s nastavením jednotlivých operací v CAM. Na Obr. 6.22 jsou vidět screenshots z videí 61Př.č4 a Př.č5, tedy obrábění na stroji (vlevo) a simulace v CAM (vpravo).



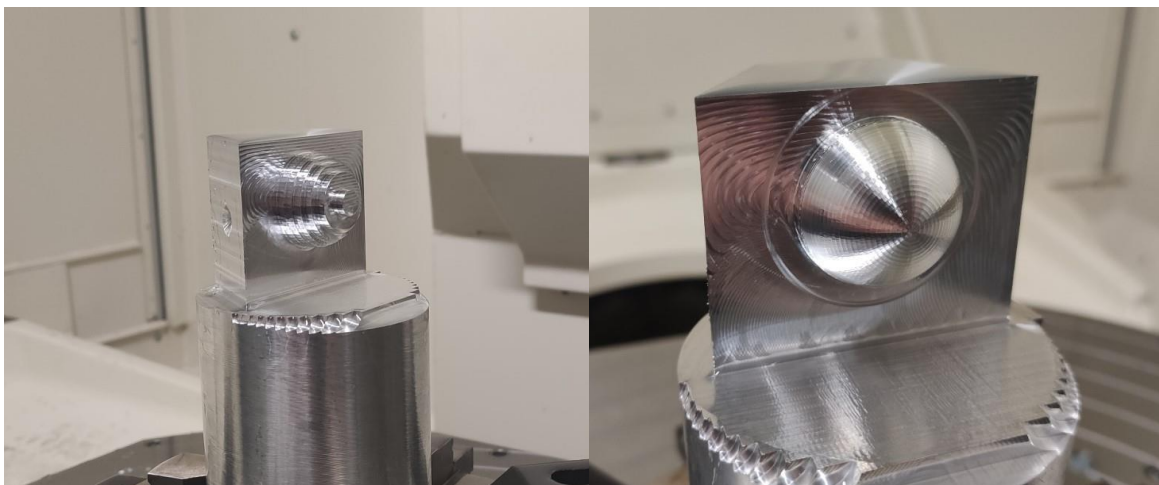
Obr. 6.22 Dokončování polokoule





*Obr. 6.23 Připravený polotovar*

Postupné odbavení celého programu umožnilo objevení a odstranění zbylých drobných chyb či uživatelských neduhů v generování kódu postprocesorem. Na následujících obrázcích (Obr. 6.23, Obr. 6.24) jsou vidět jednotlivé mezikroky při obrábění dílce. Dílec byl obroben prozatím bez elipsy, v době testování na stroji nebyly aktivovány licence pro použití funkce TRAORI. Až bude tato funkce dodavatelem zprovozněna, bude moci být dokončen i tento poslední test.



*Obr. 6.24 Obrobená polokoule (vlevo po hrubování, vpravo po dokončování)*

## 7 Závěr

V rámci rešerše bylo nutné získat přehled o jednotlivých parametrech a technologických možnostech stroje Tajmac H630. Byl vytvořen základní přehled druhů výrobních strojů a následně vysvětlen rozdíl mezi NC a CNC stroji. Po zjištění veškerých kinematických možností stroje následoval stručný popis struktury programování CNC strojů. Byla stručně vysvětlena obecná struktura programu daná normou ISO, a s ní spřažené G a M funkce včetně přehledu možností tvorby těchto programů, zakončené vysvětlením nutnosti použití CAD/CAM softwaru. Po uvedení do problematiky programování CNC strojů byly vypsány specifické funkce stroje vyplývající z periférií stroje, jeho kinematiky, i řídicího systému. Další podstatnou částí rešerše byla nutnost seznámení se s programem Siemens NX CAM, pro který měl být postprocesor a simulační model tvořen. Bylo popsáno jeho prostředí a funkce v rámci PLM, tok jednotlivých dat nutných pro generování kódu. Následovalo vysvětlení jednotlivých stupňů simulace obrábění, jejich vztah k emulátoru řídicího systému stroje a postprocesoru.

Z rešerše vyplynuly celkem tři varianty pro tvorbu postprocesoru a jedna možnost tvorby simulačního modelu pro Siemens NX. Na základě posouzení výhod a nevýhod byl zvolen nejnovější nástroj pro vytvoření postprocesoru: Post Configurator. Tato varianta se ukázala jako velmi vhodná vzhledem k možnosti práce s jednotlivými vrstvami, kdy samotná základní vrstva od Siemens obsahovala spoustu přednastavených funkcí, které nebylo nutné nijak dále upravovat.

Pomocí STEP souboru stroje a uživatelského manuálu dodaného výrobcem vznikl kinematický model stroje propojený s emulátorem řídicího systému. Po vytvoření testovacího dílce a upínacích přípravků následovalo ladění jednotlivých funkcí postprocesoru a testování simulačního modelu. Po dokončení testování jednotlivých pohybů v rámci simulací v NX a Sinutrain byla započata fáze testování na stroji v laboratořích CIIRC. Na základě zpětné vazby z jednotlivých testování byl postupně doladěn jak simulační model, tak postprocesor. Cíle bakalářské práce byly splněné.

# Seznamy

## Seznam použité literatury

- [1] Tajmac [online]. [cit. 2021-10-01]. Dostupné z: <https://www.tajmac-zps.cz>
- [2] Siemens [online]. [cit. 2021-10-01]. Dostupné z: <https://new.siemens.com>
- [3] *Obecný úvod do problematiky* [online]. [cit. 2021-10-05]. Dostupné z: [https://www.sosbites.cz/images/stories/Pro-studenty/studijni-materialy/VUKOV\\_TEXT\\_-\\_1.ST.pdf](https://www.sosbites.cz/images/stories/Pro-studenty/studijni-materialy/VUKOV_TEXT_-_1.ST.pdf)
- [4] *Příručka programování* [online]. [cit. 2021-10-06]. Dostupné z: [http://www.sjf.tuke.sk/vitralab/upload/CNC%20prirucka\\_CZ.pdf](http://www.sjf.tuke.sk/vitralab/upload/CNC%20prirucka_CZ.pdf)
- [5] *Programování CNC obráběcích strojů* [online]. [cit. 2021-10-06]. Dostupné z: [https://www.gvi.cz/Aton/FileRepository/aton\\_file\\_repository\\_HtmlEditorRepositoryDoc/Root/Projekty/Cnc.pdf](https://www.gvi.cz/Aton/FileRepository/aton_file_repository_HtmlEditorRepositoryDoc/Root/Projekty/Cnc.pdf)
- [6] KLETEČKA, Jaroslav a Petr FOŘT. *Technické kreslení*. 2., opr. vyd. Brno: Computer Press, 2007. Učebnice (Computer Press). ISBN 978-80-251-1887-0.
- [7] SVOBODA, Rostislav. *Řídicí systémy CNC strojů? Poznejte různé typy řízení* [online]. 2015 [cit. 2021-10-15]. Dostupné z: <https://factoryautomation.cz/ridici-systemy-cnc-stroju-poznejte-ruzne-typy-rizeni/>
- [8] VRABEC, Martin a Jan MÁDL. *NC programování v obrábění*. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2004. ISBN 80-010-3045-8.
- [9] NX CAM [online]. [cit. 2021-11-15]. Dostupné z: <https://www.tpvgroup.cz/nx-cam/>
- [10] PLM [online]. [cit. 2021-11-15]. Dostupné z: [10] <https://acam.at/en/siemens-plm-software-en/>
- [11] VAVRUŠKA, Petr. *Postprocessing a výroba tvarově složitých ploch* [online]. [cit. 2021-12-03]. Dostupné z: <https://stc.fs.cvut.cz/history/2009/sbornik/Papers/pdf/VavruskaPetr-319830.pdf>
- [12] TAJMAC ZPS. *Návod k používání pro horizontální obráběcí centrum H630*. Zlín, 2021.
- [13] *Sinumerik: Tool and Mold Making* [online]. 2007 [cit. 2021-12-08]. DoN 6FC5095-0AB20-0BP0.
- [14] Machine Tool Control. *Siemens* [online]. [cit. 2022-01-12]. Dostupné z: <https://www.plm.automation.siemens.com/global/en/products/nx/nx-for-manufacturing.html>
- [15] SIEMENS. *Post configurator Training* [online]. 2020 [cit. 2021-11-16]. Dostupné z: <https://community.sw.siemens.com/s/question/0D54O000061xyFpSAI/post-configurator-training-material>

## Seznam obrázků

Obr. 2.1 Tajmac-ZPS H630 .....	11
Obr. 2.2 Schéma H630[12].....	12
Obr. 2.3 Sestava H630 [12] .....	12
Obr. 2.4 Logo Tajmac-ZPS a.s. [1] .....	13
Obr. 2.5 Rozměry H630[12].....	13
Obr. 2.6 Blokové schéma NC stroje [3] .....	16
Obr. 2.7 Blokové schéma CNC stroje [3].....	16
Obr. 2.8 Kinematika frézky [7] .....	18
Obr. 2.9 Kinematika soustruhu [7] .....	18
Obr. 2.10 Druhy souvislého řízení [9] .....	19
Obr. 2.11 Ovládací panel Sinumerik [13].....	20
Obr. 3.1 Blok [3].....	21
Obr. 3.2 Slovo [3].....	21
Obr. 3.3 Formáty bloku [3].....	22
Obr. 3.4 Příklad vrtacího cyklu [13].....	23
Obr. 3.5 Dílenské programování [5].....	25
Obr. 3.6 Cyklus 800.....	28
Obr. 3.7 Cyklus 832 [15].....	30
Obr. 4.1 Team center [10].....	32
Obr. 4.2 Schéma toku dat.....	32
Obr. 4.3 NX CAM UI .....	33
Obr. 4.4 Příklad překladu CL dat do NC kódu [11] .....	34
Obr. 4.5 Vnitřní struktura postprocesoru [11].....	34
Obr. 4.6 User defined event [15].....	35
Obr. 4.7 definice NC dat .....	36
Obr. 4.8 Post Configurator UI [15] .....	38
Obr. 4.9 Stupně simulace v Siemens NX CAM.....	39
Obr. 6.1 Sestava ze STEP.....	42
Obr. 6.2 Upravený model.....	43
Obr. 6.3 Obráběcí prostor stroje .....	44
Obr. 6.4 Nastavení strojních os .....	45
Obr. 6.5 Kinematika stroje H630.....	45

Obr. 6.6 Simulační model H630.....	46
Obr. 6.7 Ukázka formátu TC_CARR[2].....	47
Obr. 6.8 Strukturalizace programu.....	48
Obr. 6.9 Parametry posuvové rychlosti.....	48
Obr. 6.10 Nepodmíněný stop chlazení .....	49
Obr. 6.11 Seznam nástrojů.....	49
Obr. 6.12 Popis nástroje .....	50
Obr. 6.13 Cyklus 800.....	50
Obr. 6.14 Příklad Traori .....	51
Obr. 6.15 UDE Chlazení .....	51
Obr. 6.16 Vrtání .....	52
Obr. 6.17 Testovací dílec .....	52
Obr. 6.18 Inspect tool .....	53
Obr. 6.19 Prostředí Sinutrain 58[2] .....	54
Obr. 6.20 Simulace obrábění s NC kódem .....	54
Obr. 6.21 Obrobení Zkosených ploch (pomocí cyklu 800).....	55
Obr. 6.22 Dokončování polokoule .....	55
Obr. 6.23 Připravený polotovár.....	56
Obr. 6.24 Obrobená polokoule (vlevo po hrubování, vpravo po dokončování).....	56

## **Seznam tabulek**

Tab. 2-1 Základní parametry .....	15
Tab. 3-1 Nejčastější adresy .....	22
Tab. 3-2 G funkce.....	24
Tab. 3-3 M funkce.....	24
Tab. 3-4 Funkce pro chlazení .....	27

## Seznam Příloh

### Grafické přílohy:

Př.č1      Návodka pro obrobení      str. P2

### Elektronické přílohy:

Př.č2      NC program pro obrábění testovacího dílce      KOS  
Př.č3      Testovací dílec v Siemens NX 1992      KOS  
Př.č4      Video simulace NC programu v Siemens NX 1992      KOS  
Př.č5      Video obrábění na stoji Tajmac H630      KOS

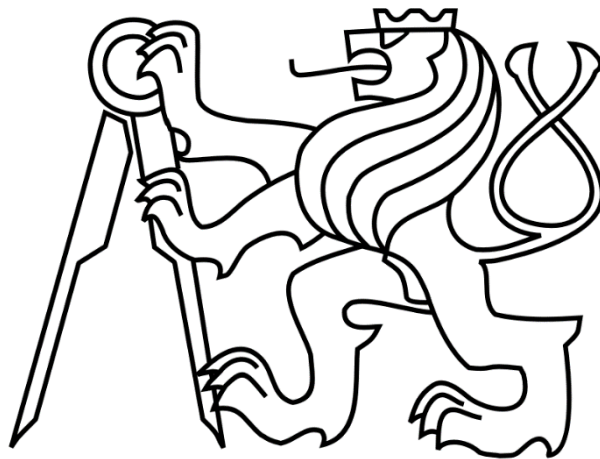
### Přílohy na CD:

Př.č2      NC program pro obrábění testovacího dílce      CD  
Př.č3      Testovací dílec v Siemens NX 1992      CD  
Př.č4      Video simulace NC programu v Siemens NX 1992      CD  
Př.č5      Video obrábění na stoji Tajmac H630      CD  
Př.č6      Simulační model stroje      CD  
Př.č7      PDF Bakalářské práce      CD

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA STROJNÍ

Ústav výrobních strojů a zařízení



# Bakalářská práce

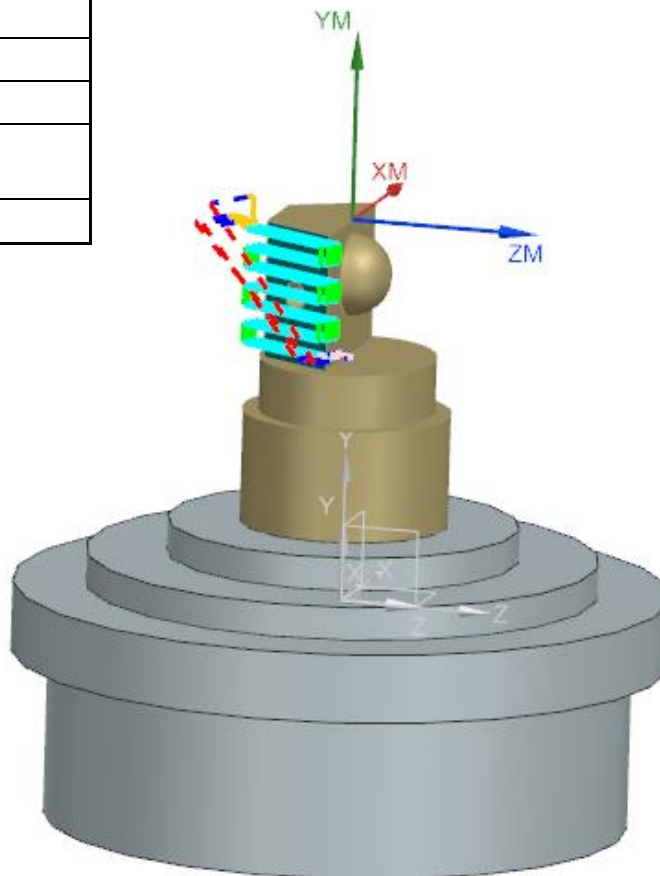
Přílohy

**Př č.1: Návodka pro obrábění**

<b>Autor</b>	Jan Svárovský
<b>Datum</b>	18.07.2022
<b>List</b>	1 z 9

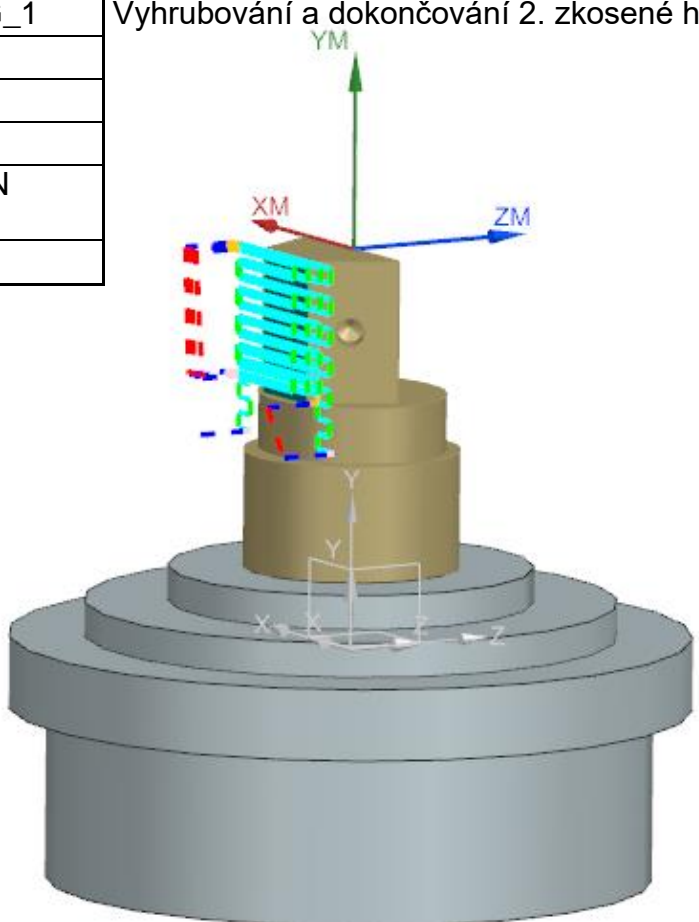
<b>Operace</b>	FLOOR_FACING
<b>Číslo operace</b>	1 z 9
<b>Název dílce</b>	Pokus
<b>Materiál</b>	Dural
<b>Polotovár</b>	TYČ KR. ČSN EN 10060-75-140
<b>Stroj</b>	Tajmac H630

Vyhrubování a dokončování 1. zkosené hrany



<b>Nástroj</b>	DURAL_D10, čelní fréza, průměr 10mm, délka 63mm
<b>Upnutí nás.</b>	TENDO EC HSK – A63 D20X80/C
<b>Upnutí dílce</b>	Upnutí do čtyřčelistového sklíčidla za průměr 75, vysunutí 110mm
<b>Posuv</b>	350 mm/min
<b>Otáčky</b>	9500 rpm
<b>Přídavky</b>	0mm



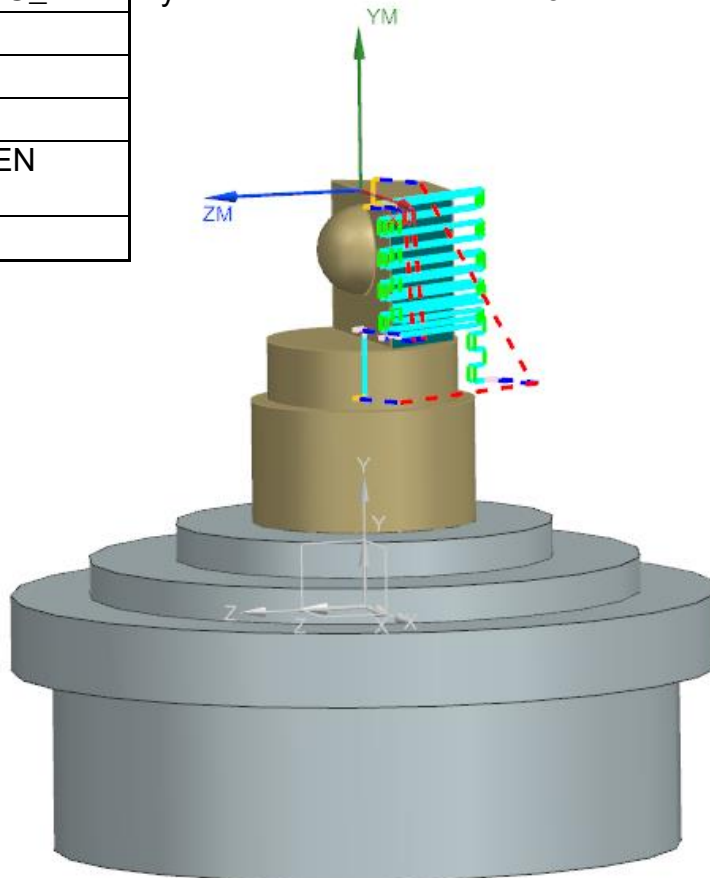
<b>Příloha č.1: Návodka pro obrábění</b>		<b>Autor</b>	Jan Svárovský
		<b>Datum</b>	18.07.2022
		<b>List</b>	2 z 9
<b>Operace</b>	FLOOR_FACING_1	Vyhrubování a dokončování 2. zkosené hrany 	
<b>Číslo operace</b>	2 z 9		
<b>Název dílce</b>	Pokus		
<b>Materiál</b>	Dural		
<b>Polotovar</b>	TYČ KR. ČSN EN 10060-75-140		
<b>Stroj</b>	Tajmac H630		
<b>Nástroj</b>	DURAL_D10, čelní fréza, průměr 10mm, délka 63mm		
<b>Upnutí nás.</b>	TENDO EC HSK – A63 D20X80/C		
<b>Upnutí dílce</b>	Upnutí do čtyřčelistového sklíčidla za průměr 75, vysunutí 110mm		
<b>Posuv</b>	350 mm/min		
<b>Otáčky</b>	9500 rpm		
<b>Přídavky</b>	0mm		

**Příloha č.1: Návodka pro obrábění**

<b>Autor</b>	Jan Svárovský
<b>Datum</b>	18.07.2022
<b>List</b>	3 z 9

<b>Operace</b>	FLOOR_FACING_2
<b>Číslo operace</b>	3 z 9
<b>Název dílce</b>	Pokus
<b>Materiál</b>	Dural
<b>Polotovár</b>	TYČ KR. ČSN EN 10060-75-140
<b>Stroj</b>	Tajmac H630

Vyhrubování a dokončování 3. zkosené hrany



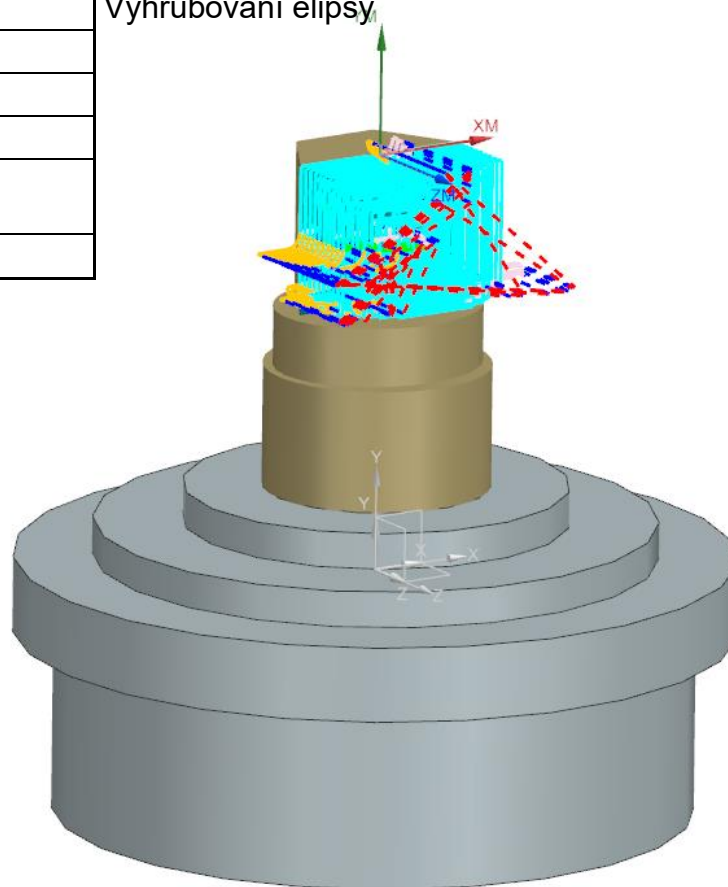
<b>Nástroj</b>	DURAL_D10, čelní fréza, průměr 10mm, délka 63mm
<b>Upnutí nás.</b>	TENDO EC HSK – A63 D20X80/C
<b>Upnutí dílce</b>	Upnutí do čtyřčelistového sklíčidla za průměr 75, vysunutí 110mm
<b>Posuv</b>	350 mm/min
<b>Otáčky</b>	9500 rpm
<b>Přídavky</b>	0mm

**Příloha č.1: Návodka pro obrábění**

<b>Autor</b>	Jan Svárovský
<b>Datum</b>	18.07.2022
<b>List</b>	4 z 9

<b>Operace</b>	CAVITY_MILL
<b>Číslo operace</b>	4 z 9
<b>Název dílce</b>	Pokus
<b>Materiál</b>	Dural
<b>Polotovár</b>	TYČ KR. ČSN EN 10060-75-140
<b>Stroj</b>	Tajmac H630

Vyhrubování elipsy



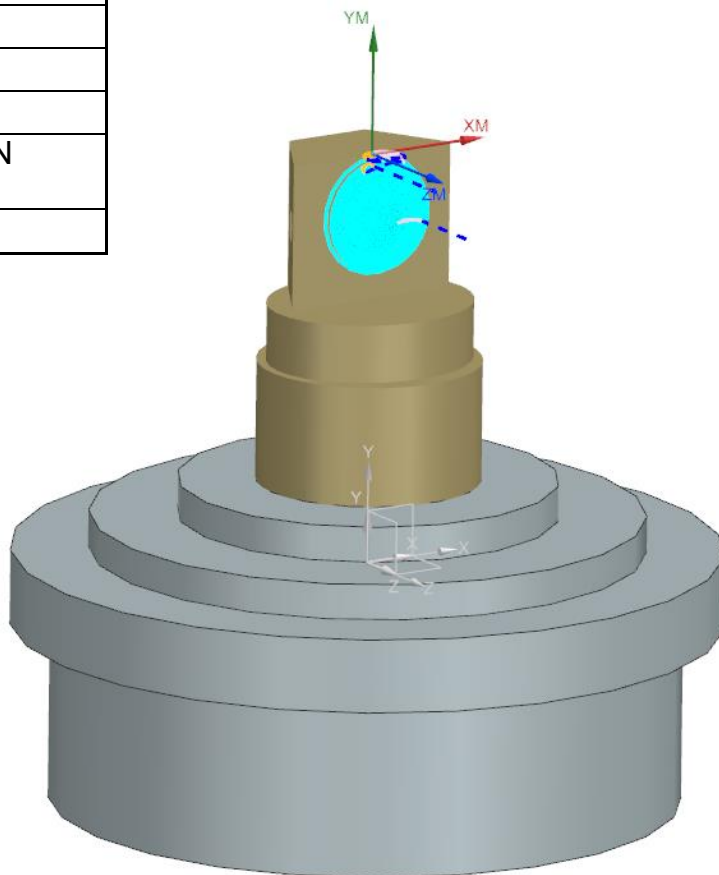
<b>Nástroj</b>	DURAL_D10, čelní fréza, průměr 10mm, délka 63mm
<b>Upnutí nás.</b>	TENDO EC HSK – A63 D20X80/C
<b>Upnutí dílce</b>	Upnutí do čtyřčelistového sklíčidla za průměr 75, vysunutí 110mm
<b>Posuv</b>	250 mm/min
<b>Otáčky</b>	9500 rpm
<b>Přídavky</b>	1 mm

**Příloha č.1: Návodka pro obrábění**

<b>Autor</b>	Jan Svárovský
<b>Datum</b>	18.07.2022
<b>List</b>	5 z 9

<b>Operace</b>	AREA_MILL
<b>Číslo operace</b>	5 z 9
<b>Název dílce</b>	Pokus
<b>Materiál</b>	Dural
<b>Polotovár</b>	TYČ KR. ČSN EN 10060-75-140
<b>Stroj</b>	Tajmac H630

Semi finiš polokoule



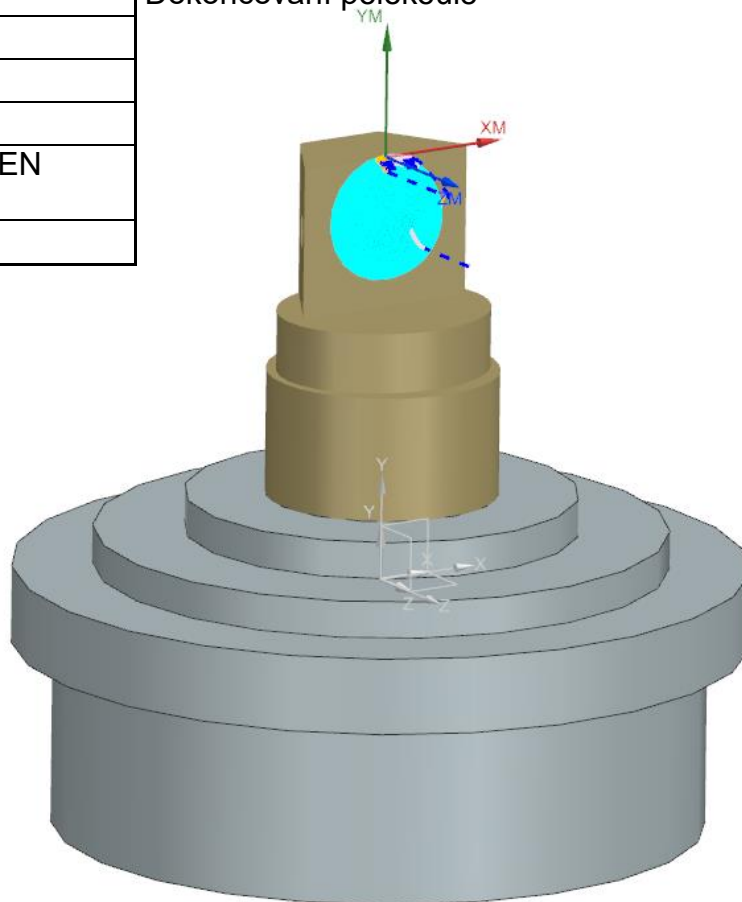
<b>Nástroj</b>	Kulovka_D12, kulová fréza, průměr 12mm, délka 60mm
<b>Upnutí nás.</b>	TENDO EC HSK – A63 D20X80/C
<b>Upnutí dílce</b>	Upnutí do čtyřčelistového sklíčidla za průměr 75, vysunutí 110mm
<b>Posuv</b>	250 mm/min
<b>Otáčky</b>	8000 rpm
<b>Přídavky</b>	0.4 mm

**Příloha č.1: Návodka pro obrábění**

<b>Autor</b>	Jan Svárovský
<b>Datum</b>	18.07.2022
<b>List</b>	6 z 9

<b>Operace</b>	AREA_MILL_1
<b>Číslo operace</b>	6 z 9
<b>Název dílce</b>	Pokus
<b>Materiál</b>	Dural
<b>Polotovár</b>	TYČ KR. ČSN EN 10060-75-140
<b>Stroj</b>	Tajmac H630

Dokončování polokoule



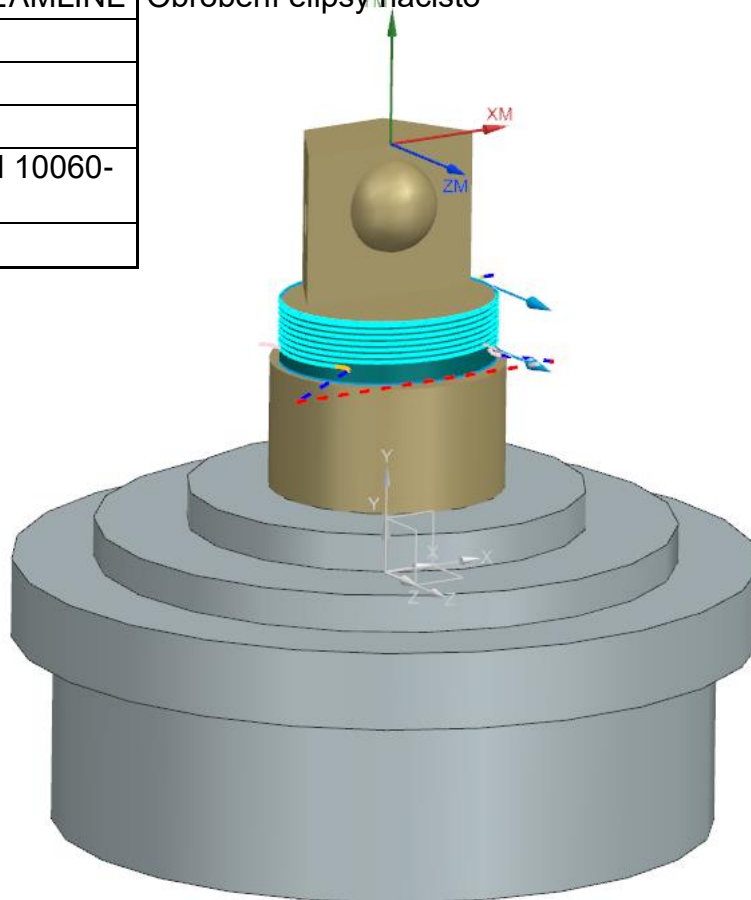
<b>Nástroj</b>	Kulovka_D12, kulová fréza, průměr 12mm, délka 60mm
<b>Upnutí nás.</b>	TENDO EC HSK – A63 D20X80/C
<b>Upnutí dílce</b>	Upnutí do čtyřčelistového sklíčidla za průměr 75, vysunutí 110mm
<b>Posuv</b>	250 mm/min
<b>Otáčky</b>	8000 rpm
<b>Přídavky</b>	0 mm

**Příloha č.1: Návodka pro obrábění**

<b>Autor</b>	Jan Svárovský
<b>Datum</b>	18.07.2022
<b>List</b>	7 z 9

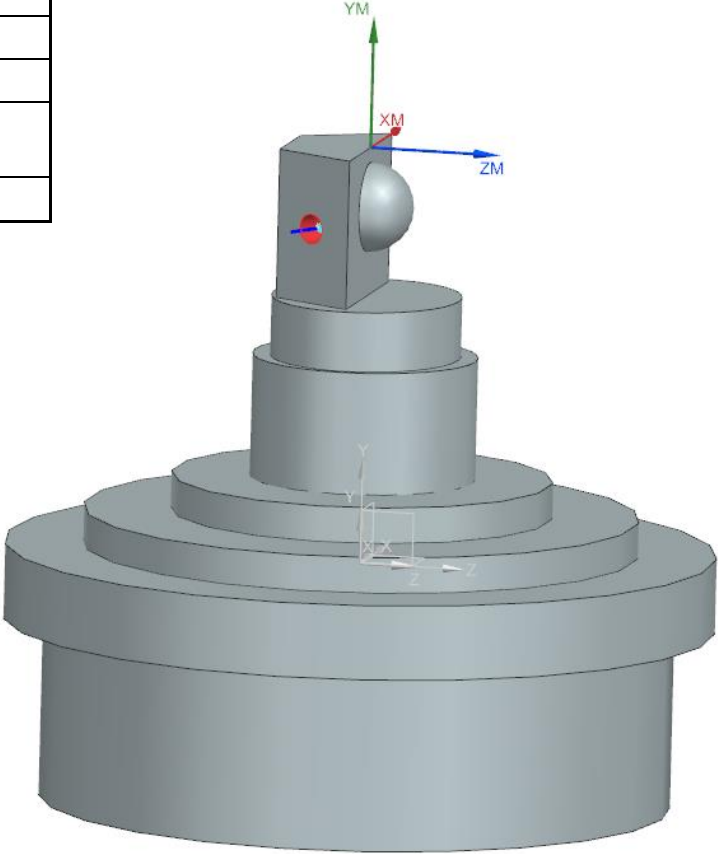
<b>Operace</b>	VARIABLE_STREAMLINE
<b>Číslo operace</b>	7 z 9
<b>Název dílce</b>	Pokus
<b>Materiál</b>	Dural
<b>Polotovár</b>	TYČ KR. ČSN EN 10060-75-140
<b>Stroj</b>	Tajmac H630

Obrobení elipsy načisto



<b>Nástroj</b>	Kulovka_D12, kulová fréza, průměr 12mm, délka 60mm
<b>Upnutí nás.</b>	TENDO EC HSK – A63 D20X80/C
<b>Upnutí dílce</b>	Upnutí do čtyřčelistového sklíčidla za průměr 75, vysunutí 110mm
<b>Posuv</b>	250 mm/min
<b>Otáčky</b>	8000 rpm
<b>Přídavky</b>	0 mm

<b>Příloha č.1: Návodka pro obrábění</b>		<b>Autor</b>	Jan Svárovský
		<b>Datum</b>	18.07.2022
		<b>List</b>	8 z 9
<b>Operace</b>	DRILLING	Vyvrtání otvoru na šikmé ploše  	
<b>Číslo operace</b>	8 z 9		
<b>Název dílce</b>	Pokus		
<b>Materiál</b>	Dural		
<b>Polotovár</b>	TYČ KR. ČSN EN 10060-75-140		
<b>Stroj</b>	Tajmac H630		
<b>Nástroj</b>	DRILL, stopkový vrták, průměr 8mm, délka 200mm		
<b>Upnutí nás.</b>	TENDO EC HSK – A63 D20X80/C		
<b>Upnutí dílce</b>	Upnutí do čtyřčelistového sklíčidla za průměr 75, vysunutí 110mm		
<b>Posuv</b>	250mm/min		
<b>Otáčky</b>	10000 rpm		
<b>Přídavky</b>	0mm		

<b>Příloha č.1: Návodka pro obrábění</b>		<b>Autor</b>	Jan Svárovský
		<b>Datum</b>	18.07.2022
		<b>List</b>	9 z 9
<b>Operace</b>	THREAD_MILL	Vyříznutí závitu M8 do otvoru na šikmé ploše 	
<b>Číslo operace</b>	9 z 9		
<b>Název dílce</b>	Pokus		
<b>Materiál</b>	Dural		
<b>Polotovár</b>	TYČ KR. ČSN EN 10060-75-140		
<b>Stroj</b>	Tajmac H630		
<b>Nástroj</b>	THREAD_MILL, závitník, M8		
<b>Upnutí nás.</b>	TENDO EC HSK – A63 D20X80/C		
<b>Upnutí dílce</b>	Upnutí do čtyřčelistového sklíčidla za průměr 75, vysunutí 110mm		
<b>Posuv</b>	-		
<b>Otáčky</b>	-		
<b>Přídavky</b>	0mm		