

# ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta strojní

Ústav technologie obrábění, projektování a metrologie



## BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

**Kinematická simulace a verifikace s využitím NC Simul**

**Autor:** Martin Nečas

**Studijní program:** Výroba a ekonomika ve strojírenství

**Studijní obor:** Technologie, materiály a ekonomika ve strojírenství

**Vedoucí práce:** Ing. Jan Tomíček Ph.D.

**Praha 2017**

## I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Nečas** Jméno: **Martin** Osobní číslo: **438628**  
Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**  
Zadávající katedra/ústav: **Ústav technologie obrábění, projektování a metrologie**  
Studijní program: **Výroba a ekonomika ve strojírenství**  
Studijní obor: **Technologie, materiály a ekonomika strojírenství**

## II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

**Kinematická simulace a verifikace s využitím NC Simul**

Název bakalářské práce anglicky:

**Kinematic simulation and verification in NC Simul SW**

Pokyny pro vypracování:

1. Popište jaké jsou možnosti verifikace v moderních CAM software
2. Vyjmenujte možnosti simulace se zaměřením na kinematický model stroje a jeho definici
3. V praktické části vytvořte kinematický model pro stroj v laboratoři
4. Proveďte testování a verifikaci navrženého řešení
5. Vytvořte ukázkové partprogramy pro vyzkoušení správné funkce kinematického modelu

Seznam doporučené literatury:

VRABEC, Martin, Jan MÁDL a České vysoké učení technické v Praze. Strojní fakulta. NC programování v obrábění [online]. Vyd. 1. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2004. ISBN 8001030458;9788001030455  
SADÍLEK, Marek a Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava. Strojní fakulta. CAM systémy v obrábění I [online]. 1. vyd. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita, 2008. ISBN 8024818213;9788024818214;  
JANDEČKA, Karel. Využití moderních CAD/CAM systémů při programování NC strojů: Skripta pro výuku programování NC strojů [online]. 1. vyd. Plzeň: Západočeská univerzita, 1996. ISBN 8070822600;9788070822609

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

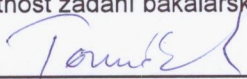
**Ing. Jan Tomíček Ph.D., ústav technologie obrábění, projektování a metrologie FS**

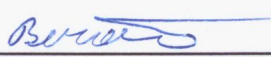
Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) bakalářské práce:

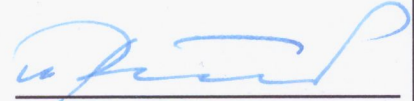
Datum zadání bakalářské práce: **20.04.2017**

Termín odevzdání bakalářské práce: **15.07.2017**

Platnost zadání bakalářské práce: \_\_\_\_\_

  
Podpis vedoucí(ho) práce

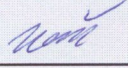
  
Podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

  
Podpis děkana(ky)

## III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

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

25.4.2017  
Datum převzetí zadání

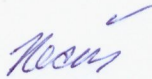
  
Podpis studenta

## **Prohlášení**

Prohlašuji, že jsem svou bakalářskou práci vypracoval samostatně a použil jsem pouze podklady uvedené v příloženém seznamu.

Souhlasím, že výsledky této práce mohou být dále použity podle uvážení vedoucího bakalářské práce jako jejího spoluautora a s případnou publikací výsledků, pokud budu uveden jako spoluautor.

**Praha** ..... 14. 7. 2017 .....

.....  .....

**podpis**

## **Poděkování**

Rád bych poděkoval vedoucímu mé bakalářské práce panu Ing. Janu Tomíčkoví Ph.D. za jeho odbornou pomoc, ochotu a cenné rady, které mi poskytl při tvorbě této bakalářské práce.

Dále bych rád poděkoval firmě Centersoft s.r.o. za poskytnutí potřebných softwarů a panu Bc. Michalu Kotasovi, který mi předal mnoho rad a zkušeností pro práci v programech NC Simul a TopSolid v7.10.

## **Anotace**

Bakalářská práce je zaměřena na verifikaci a simulaci s využitím software NC SIMUL. V teoretické části jsou vysvětleny možnosti verifikace a simulace v moderních CAM software. Dále je popsán modulární systém NCSIMUL SOLUTIONS zabývající se danou problematikou. Předmětem experimentální části je tvorba kinematického modelu frézky Slotvos FCM 22 CNC a testování kinematického modelu pomocí několika vytvořených NC programů. V závěru je představeno porovnání vytvořeného kinematického modelu a jeho realizace na skutečném stroji.

## **Klíčová slova**

NC SIMUL, VERIFIKACE, SIMULACE, NC PROGRAM, SOFTWARE

## **Abstract**

Bachelor thesis is based on verification and software simulation of NC SIMUL. In a theoretical part, the verification variability and modern CAM software simulation are explained. Further, the NCSIMUL SOLUTIONS modular system, dealing the same issue, is described. The subject of experimental part is a creation of kinematic model of milling machine Slotvos FCM 22 CNC and testing of its kinematic model. Finally, the comparison of created kinematic model and its final real machine realization is introduced.

## **Key words**

NC SIMUL, VERIFICATION, SIMULATION, NC PROGRAM, SOFTWARE

## Obsah

Obsah .....	5
Seznam použitých zkratk a symbolů .....	7
1 Úvod .....	8
2 Verifikace a simulace .....	9
2.1 Speciální SW pro verifikaci, simulaci a optimalizaci .....	9
2.1.1 Verifikace drah nástroje .....	10
2.1.2 Simulace stroje řízená dráhou nástroje .....	10
2.1.3 Simulace stroje řízená G kódem .....	11
2.1.4 Simulace stroje řízená reálným řídicím systémem stroje .....	11
2.2 NCSIMUL .....	12
2.2.1 NCSIMUL MACHINE .....	12
2.2.2 NCSIMUL 4CAM .....	14
2.2.3 NCSIMUL TOOL .....	16
2.2.4 NCSIMUL DNC .....	16
2.2.5 NCSIMUL PUBLISHER .....	17
2.3 Konkurenční SW pro verifikaci, simulaci a optimalizaci .....	18
2.3.1 editNC .....	19
2.3.2 VERICUT .....	19
2.3.3 NX CAM .....	20
3 Sestavení kinematického modelu .....	22
4 Zpětná simulace v programu NCSIMUL MACHINE .....	23
4.1 Primární kontrola .....	23
4.2 Vytvoření ostatních zdrojových doplňků práce .....	26
4.2.1 Knihovna nástrojů .....	26
4.2.2 Upínací systém .....	29
4.2.3 Polotovary a dokončené výrobky .....	31
4.2.4 NC programy .....	32
4.2.5 Vhodné uspořádání v projektu .....	32
4.3 Zpětná simulace a verifikace jednotlivých NC programů .....	34
4.3.1 Překročení limitních nastavení stroje .....	35
4.3.2 Modifikovaný NC program .....	36

4.3.3	Kolize nástroje se svěrákem .....	42
4.3.4	Eliminace obrábění „vzduchu“ .....	44
4.3.5	Kolize držáku .....	46
4.3.6	Testování partprogramu – chybový projekt.....	48
4.3.7	Testování finálního partprogramu .....	50
5	Realizace obrábění na skutečném stroji .....	53
6	Závěr.....	57
7	Použitá literatura.....	58
7.1	Ostatní použitá literatura .....	59
8	Seznam obrázků.....	60
9	Seznam příloh.....	62

## Seznam použitých zkratk a symbolů

<b>Zkratka</b>	<b>Nezkrácená forma</b>	<b>Český překlad/ekvivalent</b>
CNC	Computer Numerical Control	Číslicové řízení pomocí počítače
NC	Numerical Control	Číslicové řízení
SW	SoftWare	Program/Programové vybavení
CAD	Computer Aided Design	Počítačem podporované navrhování
CAM	Computer Aided Manufacturing	Počítačem podporovaná výroba
CL Data	Cutter Location Data	Data popisující pozici nástroje / Data pro tvorbu NC programu
3D	3-Dimension	Třírozměrné zobrazení
APT	Automatically Programmable Tools	Programovací jazyk pro NC stroje
PC	Personal Computer	Osobní počítač

<b>Symbol</b>	<b>Význam</b>
G kód	programovací jazyk určený pro řízení NC a CNC obráběcích strojů
T50	označení válcové frézy o průměru 10 mm v zásobníku nástrojů
T45	označení válcové frézy o průměru 5 mm v zásobníku nástrojů
T43	označení válcové frézy o průměru 3 mm v zásobníku nástrojů
T60	označení kulové frézy o průměru 10 mm v zásobníku nástrojů
T58	označení kulové frézy o průměru 8 mm v zásobníku nástrojů
T56	označení kulové frézy o průměru 6 mm v zásobníku nástrojů
T54	označení kulové frézy o průměru 4 mm v zásobníku nástrojů



# 1 Úvod

Na podniky zabývající se strojírenským průmyslem jsou díky rychlému technologickému růstu dnešní doby kladeny čím dál větší nároky. Většina podniků je zatěžována konkurenčním a zákaznickým tlakem a jsou nuceny modernizovat a zefektivňovat výrobu tak, aby byly konkurenceschopné. Snahou podniků je dosáhnout co nejmenších nákladů a vysoké přesnosti výrobků. To vede k modernizaci strojů, nástrojů, nástrojových materiálů a zajisté i k zdokonalení softwaru pro CNC stroje. Zásadním technickým prvkem vedoucím k úspoře času a usnadnění práce je nasazení speciálních programů, které se zabývají verifikací a optimalizací NC programů. Tato oblast programování obráběcích systémů mě velmi zaujala, a proto jsem se rozhodl její problematikou hlouběji zabývat. Po konzultaci s vedoucím mé práce jsem zkontaktoval firmu Centersoft s.r.o., která mi umožnila získat nové dovednosti a zkušenosti v programu NCSIMUL.

Cílem mé práce je vytvořit kinematiku modelu stroje školní frézky Slovtos FCM 22 CNC s využitím programu NC SIMUL MACHINE a provést testování a verifikaci NC programů získaných ze SW TopSolid V7.10 pomocí virtuálního modelu stroje. Mým osobním cílem je naučit se odborně ovládat oba jmenované programy tak, abych je mohl v budoucnosti používat ve své praxi.

V teoretické části se budu zabývat verifikací a simulací v oblasti počítačového programování. Zaměřím se především na vlastnosti programu NCSIMUL a popíšu i vybrané konkurenční SW.

V praktické části vytvořím kinematiku pro objemový model stroje s přesnými nástroji, držáky, upínači a chováním stroje pro téměř reálný průběh simulace. Poté zpětnou simulací z dat získaných z CAD/CAM programu TopSolid provedu ověření vygenerovaných NC programů na virtuálním modelu frézky.

## 2 Verifikace a simulace

Verifikace je velmi důležitý proces ověřování. V našem případě je založený na kontrole správnosti vygenerovaných dat. Kontrolovat můžeme virtuální CL data, NC kód získaný postprocesorem, NC kód získaný programováním na stroji nebo NC kód psaný ručně. Ověřená a vyhovující data by měla eliminovat kolizní stavy a neočekávané chování obráběcího stroje.

Simulaci v našem prostředí chápeme jako proces vizuálního zobrazení reálného obráběcího prostředí pomocí virtuální reality. Hlavním důvodem je odhalení nechtěných dotyků částí, které by spolu správně neměly přijít do kontaktu. Simulace nám také pomůže lépe pochopit a představit si samotný obráběcí proces. Na rozdíl od verifikace, která probíhá na bázi ploch, funguje simulace ve valné většině na principu implementovaného jádra daného CAD SW.

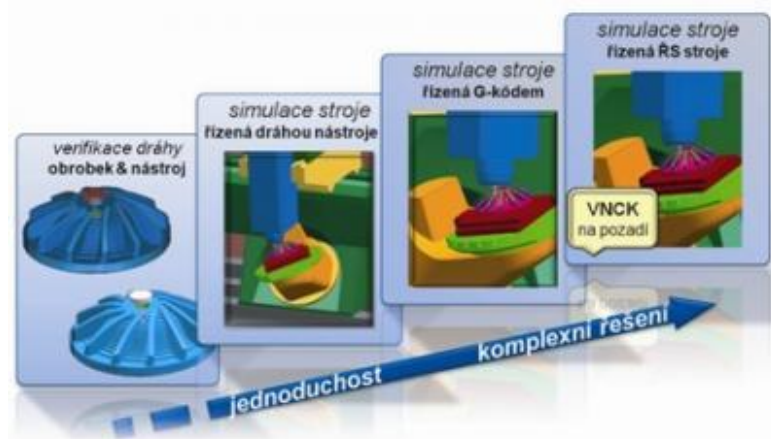
Dnešní CAD/CAM SW obsahují alespoň nejnižší stupeň verifikace a simulace virtuálního obrábění. Pracují pouze s vnitřními vypočtenými dráhami nástrojů, ze kterých poté počítají virtuální CL data. Tyto CL data však uvažují právě jen zmíněné dráhy nástroje a nedokáží odhalit chyby způsobené vlastním postprocesorem, případné kolize nástroje s upínacími prvky nebo dokonce s obráběcím strojem. Většina CAD/CAM uvažuje jen kolizní stavy nástroje a upínání způsobené konkrétními dráhami nástroje.

Abychom měli větší jistotu, že náš výsledný program bude pracovat správně a nedojde k nechtěnému kontaktu, musíme zvolit sofistikovanější systém. Jednou z možností je pořídit si CAD/CAM s vyšším stupněm verifikace a optimalizace procesu, nebo speciální SW, který se přímo specializuje na ověřování NC kódu a následnou optimalizaci reálných podmínek. [1, 2]

### 2.1 Speciální SW pro verifikaci, simulaci a optimalizaci

Hlavním cílem speciálních programů pro verifikaci, simulaci a optimalizaci je odhalení případných chyb NC kódu a jejich odstranění před použitím na stroji. Tím můžeme předejít možným kolizím a nevratnému poničení důležitých částí obráběcího systému. Bez speciálního programu na ověření se chyba v NC programu hledá velmi obtížně. Následnou optimalizací obráběcího procesu můžeme získat velké finanční úspory díky výraznému zkrácení času obrábění.

Speciální programy, stejně tak i CAM SW, disponují určitou úrovní ověření a simulace. Lze je například rozdělit jako strojírenský měsíčník MM Průmyslové spektrum do čtyř skupin podle stupně spolehlivosti verifikace. [1, 2, 3]



Obr. 2.1-1 Rozdělení simulace obrábění [2]

### 2.1.1 Verifikace drah nástroje

Verifikace pomocí drah nástroje je základní a samozřejmě nejméně spolehlivá úroveň ověření procesu, ale stále značně využívaná především v CAM systémech. Nebere v úvahu stroj, na kterém se bude dále pracovat, ale nejčastěji jen pohyblivý řezný nástroj, který se bude pohybovat podle navržených vnitřních drah (CL dat) nad nepohyblivým 3D modelem obrobku. Můžeme zde odhalit kolize mezi nástrojem a obrobkem, kontrolovat úběr materiálu nebo analyzovat výrobek, jestli nebude mít podřezané, případně nedoříznuté plochy.

Není vhodné se na tento stupeň verifikace plně spoléhat ani u velmi jednoduchých výstupních operací, protože neuvažuje možné chyby postprocesoru, kinematiku a parametry stroje. Avšak pro účely běžného soustružení a frézování je tato úroveň ověření dostačující. Konečné pohyby stroje mohou být odlišné od původních drah nástroje. [2,4]

### 2.1.2 Simulace stroje řízená dráhou nástroje

Tento stupeň ověření zahrnuje kompletní virtuální 3D model a kinematiku obráběcího stroje. Momentálně se jedná o nejrozšířenější možnost ověřování správnosti výrobního procesu v CAM systémech. Přidáním kinematického 3D modelu stroje se nepohybuje pouze řezný nástroj, ale vidíme, jak se budou pohybovat jednotlivé osy 3D

modelu stroje. Díky tomu můžeme eliminovat kolizní stavy celého obráběcího centra, o kterých v předešlém stupni není uvažováno.

Simulace stroje řízená dráhou nástroje nevyužívá vlastní řídicí systém stroje, ani postprocessor, ale pracuje pouze s CL daty. Proto ani ověření zahrnující kinematiku obráběcího centra neodhalí chyby vzniklé překladem postprocesoru, nebo odlišnou interpretací cyklů. [2,4]

### **2.1.3 Simulace stroje řízená G kódem**

Předchozí úrovně simulace neuvažovaly chybu postprocesoru a přístup k simulaci byl relativně obecný. Pokud chceme pohyb obráběcího stroje simulovat správně, potřebujeme virtuální stroj, který se bude chovat jako reálný a nebude závislý na vnitřních dráhách nástroje, které jsou pro správnou simulaci nedostatečné. Abychom docílili co nejlepšího výsledku a mohli použít tuto metodu, musíme znát konkrétní stroj a jeho řídicí systém.

Simulace řízená interpretací G kódu pracuje v podstatě na principu zpětné simulace. Vygenerovaný a totožný kód, který budeme posílat do reálného stroje, nahrajeme do našeho SW a použijeme na virtuální model stejného stroje. Kromě detailních znalostí daného stroje je důležitá přesná konfigurace. Správné nastavení veškerých vlastností a parametrů zaručí správné chování všech os a realistické chování stroje. Konečný čas reálného obrábění bude téměř stejný jako čas vypočítaný. Výsledkem je teoreticky reálná simulace chování našeho stroje. [2,4]

### **2.1.4 Simulace stroje řízená reálným řídicím systémem stroje**

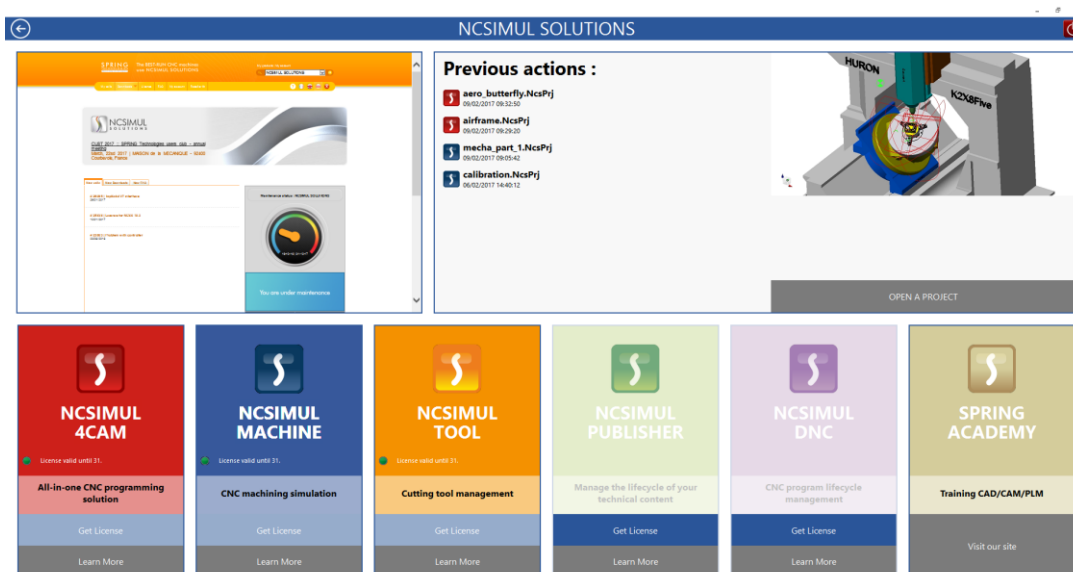
Simulace řízená řídicím systémem stroje představuje novou úroveň přesnosti. Tímto způsobem simulace můžeme dosáhnout nejvíce realistických výsledků, protože nebudeme závislí na správnosti interpretace G kódu a pohybových algoritmech daného SW. Použitím stejné verze řídicího systému jako u samotného stroje zajistíme naprosto stejný přístup k interpretaci dat a algoritmům. To předchozí úroveň simulace nezaručuje, protože žádné dva řídicí systémy nejsou úplně stejné.

Samotné použití je celkem komplikované a doposud není velmi užívané. V současnosti nabízí řízení pomocí reálného řídicího systému například společnost Siemens v podobě řízení Sinumerik 840D. [2,4]

## 2.2 NCSIMUL

NCSIMUL je prestižní a vyhledávaný SW od francouzské společnosti SPRING Technologies, která je jednou ze světových elit výrobců zabývajících se pokračováním výrobní přípravy pro uživatele CAD/CAM systémů. NCSIMUL nabízí svým uživatelům optimální využití výrobních CNC strojů a maximalizaci jejich produktivity.

NCSIMUL je systém, který se skládá z několika modulů (modulární systém). Plnou verzí je balíček NCSIMUL SOLUTIONS, který v nejnovější verzi deset obsahuje všechny dostupné moduly. Jednotlivé moduly lze také získat samostatně, například bez volitelných modulů DNC a Publisher. [5,6,7,8]



Obr. 2.2-1 Modulární systém NCSIMUL SOLUTIONS

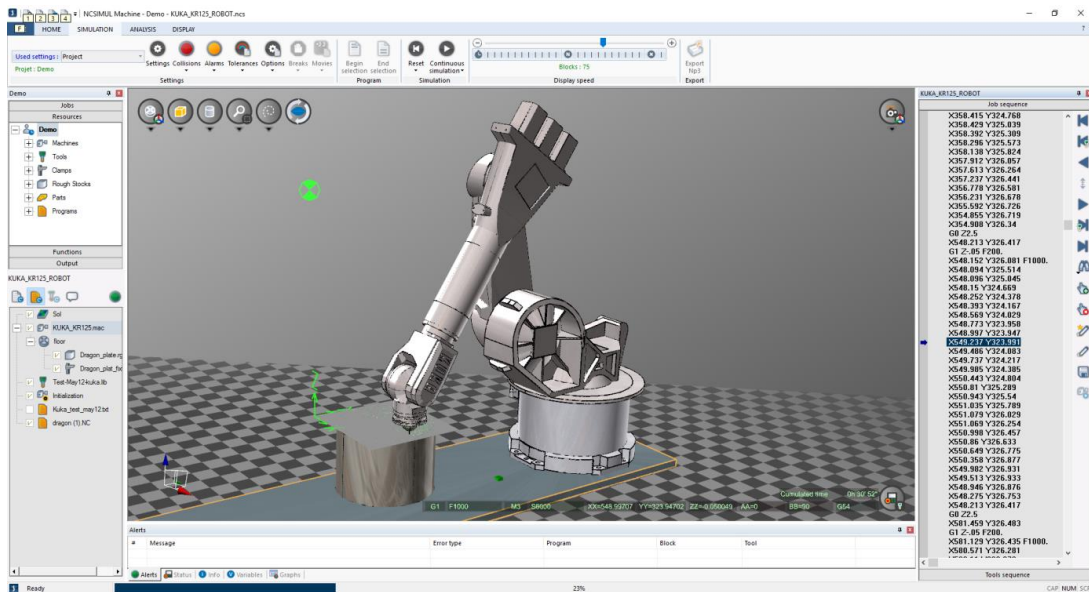
### 2.2.1 NCSIMUL MACHINE

NCSIMUL MACHINE je základním modulem celého portfolia. Je jednoznačně jedním z nejpokročilejších programů sloužících k verifikaci, simulaci, optimalizaci a celkové kontrole výrobního procesu od začátku až do konce. Funguje na základě čtení a simulace libovolného G kódu a charakteristických maker (vlastních funkcí) stroje.

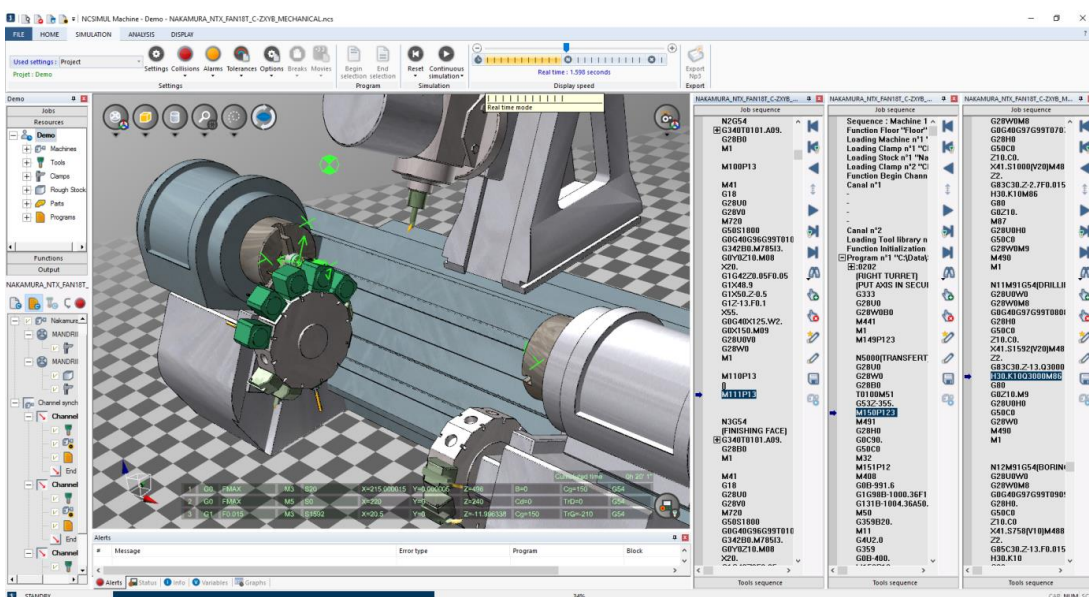
Systém nám umožní celý proces simulovat, automaticky provede kontrolu správnosti NC kódu, detekuje veškeré potencionální kolize, případné pohyby mimo rozsah daného stroje. V případě chyby SW sám označí řádky G kódu, které by mohly být její příčinou. Tyto řádky můžeme ihned editovat a pokračovat v simulaci bez nutnosti

restartu celé simulace. Problémem nejsou ani komplexnější stroje, protože NCSIMUL MACHINE podporuje neomezený počet kanálů řídicího systému.

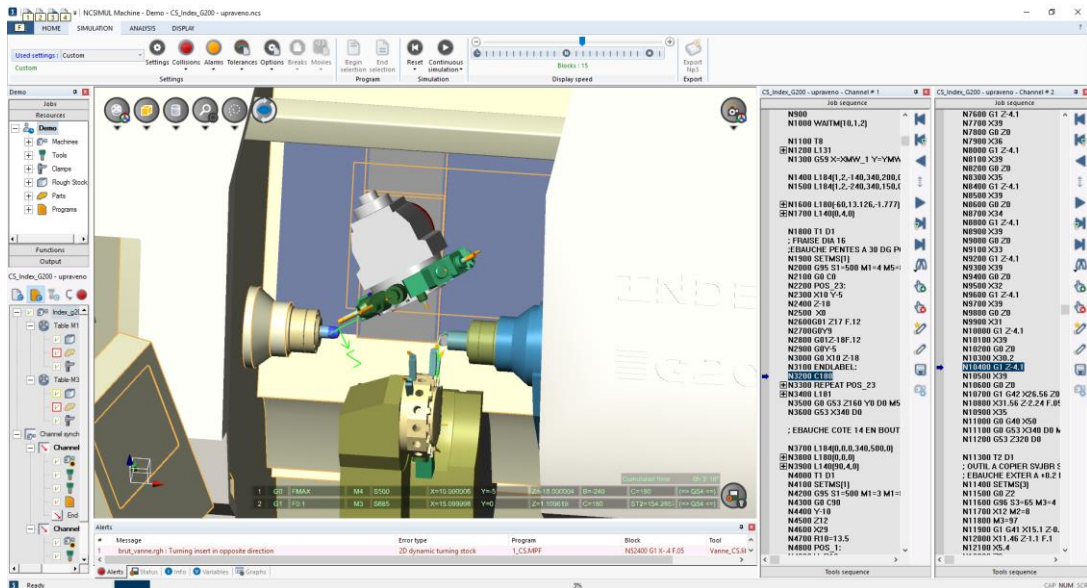
Přínosem NCSIMUL MACHINE je velká úspora financí, strojního vybavení a času, jelikož veškeré testování je prováděno ve virtuálním prostředí počítače, zatímco náš CNC stroj může neustále vyrábět. Zavedením tohoto systému můžeme ochránit vybavení před možnou kolizí, optimalizovat řezné podmínky a zároveň provnat výsledný model s původním CAD modelem a stanovit vhodnost obráběcí strategie ještě před samotným použitím. [5,7]



Obr. 2.2.1-1 Simulace G kódu šestiosého robota KUKA KR 125



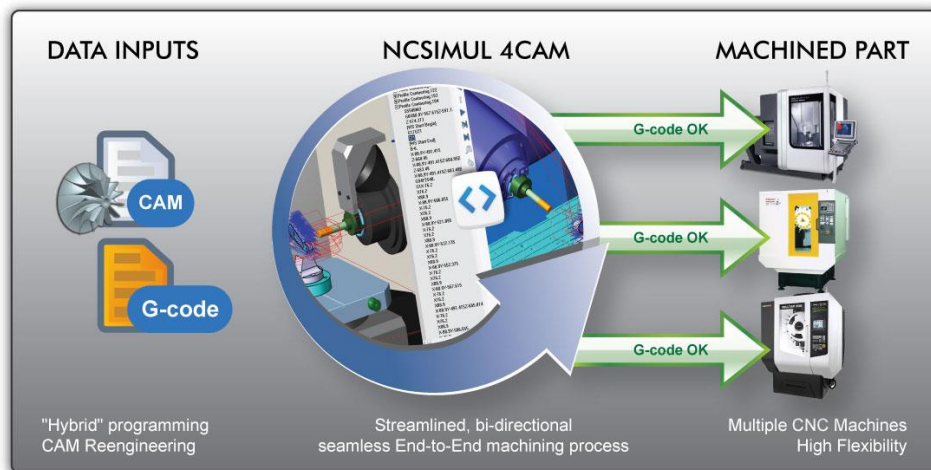
Obr. 2.2.1-2 Stroj se třemi kanály řídicího systému



Obr. 2.2.1-3 Simulace dvou nástrojových hlav obráběcího centra Index G200

## 2.2.2 NCSIMUL 4CAM

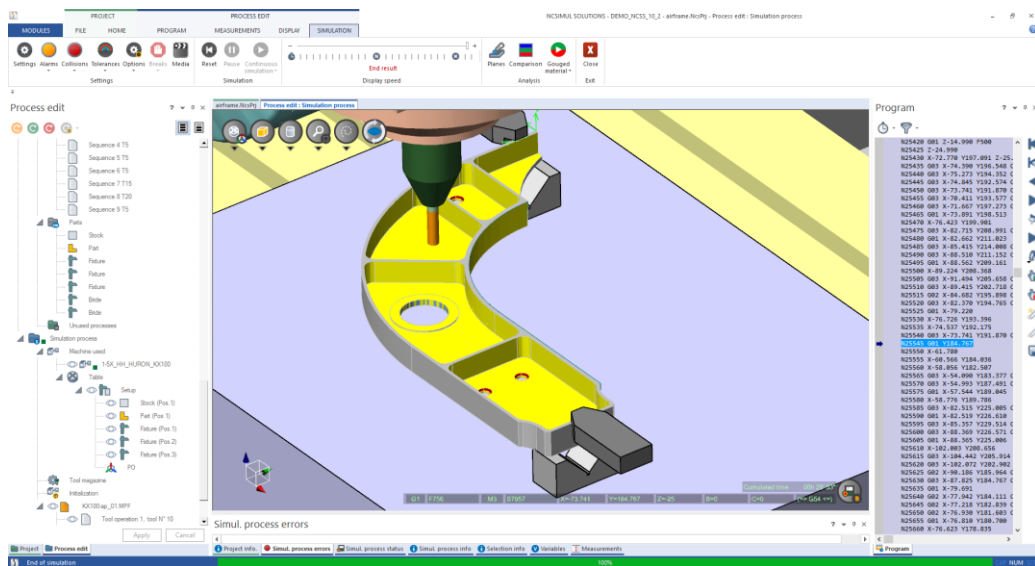
Tento nový modul byl uveden na trh v létě 2015 a slouží ke zvýšení efektivity a adaptivity CNC programování. NCSIMUL 4CAM umožňuje jednoduchý import APT dat z CAM nebo G kódu, volbou stroje můžeme provést simulaci a automaticky generovat NC program. Tvorba NC kódu je prováděna pomocí vnitřních postprocesorů. Nový G kód je okamžitě testován porovnáním, zda se dráhy z CL dat shodují s G kódem.



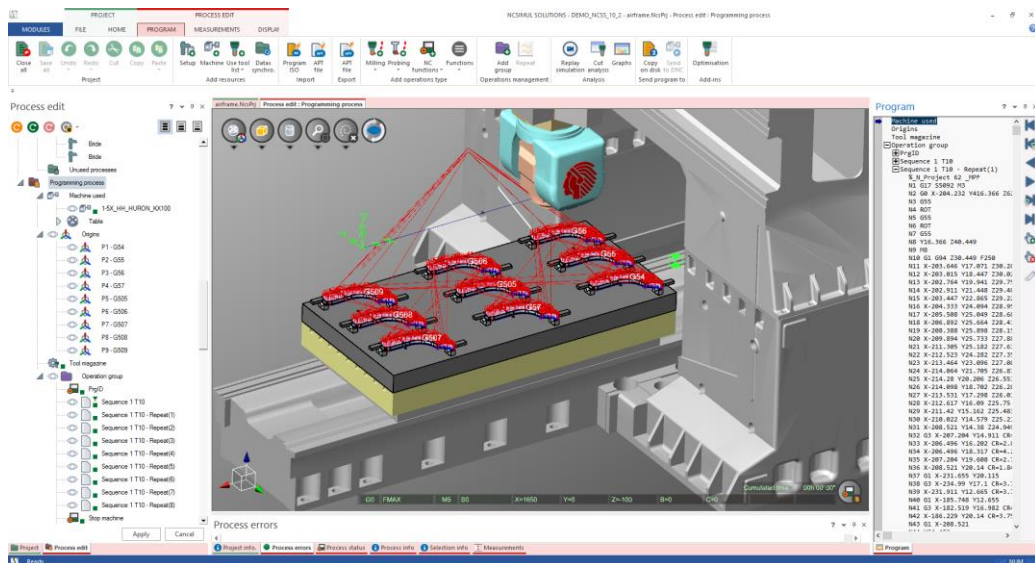
Obr. 2.2.2-1 Ze vstupních dat 4CAM okamžitě pomocí integrovaných postprocesorů generuje správné a odladěné G kódy pro různé stroje [5]

Získáváme možnost generování CNC programu z různých zdrojů (APT/CL data a G kód). Nepotřebujeme žádný externí postprocessor, systém má vlastní integrované CNC postprocesory, takže odpadnou náklady spojené s jeho tvorbou.

Velmi důležitým bonusem je systém „one-click“, díky kterému lze záměnou cílového stroje pomocí jednoho kliknutí automaticky vygenerovat nový odpovídající a odladěný G kód. Tím získáváme mnoho možností, jak ušetřit nákladný strojní čas. V případě odstávky nebo poruchy stroje jsme schopni během chvíle pokračovat ve výrobě na jiném stroji. Z důvodu uvolnění kapacity víceosých strojů můžeme také snadno pro základní operace využít pouze tříosé stroje a víceosé stroje využívat pouze za složitější operace. NC kód lze také jednoduše rozkopírovat na více stejných dílců a zrychlit tím celý výrobní proces. [5,7]

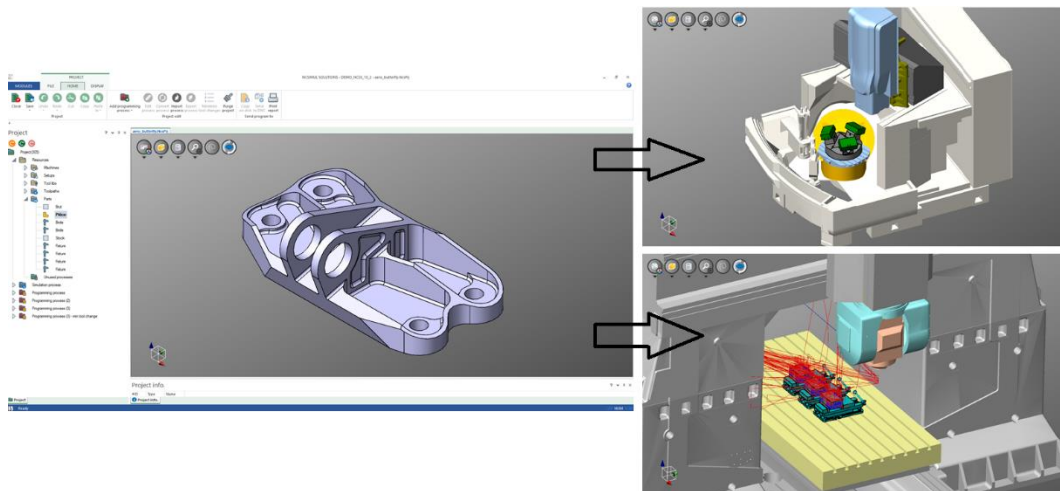


Obr. 2.2.2-2 Simulace výroby rámu na 3D kinematickém modelu stroje pomocí odladěného G kódu



Obr. 2.2.2-3 Kopírování NC kódu na více totožných součástí

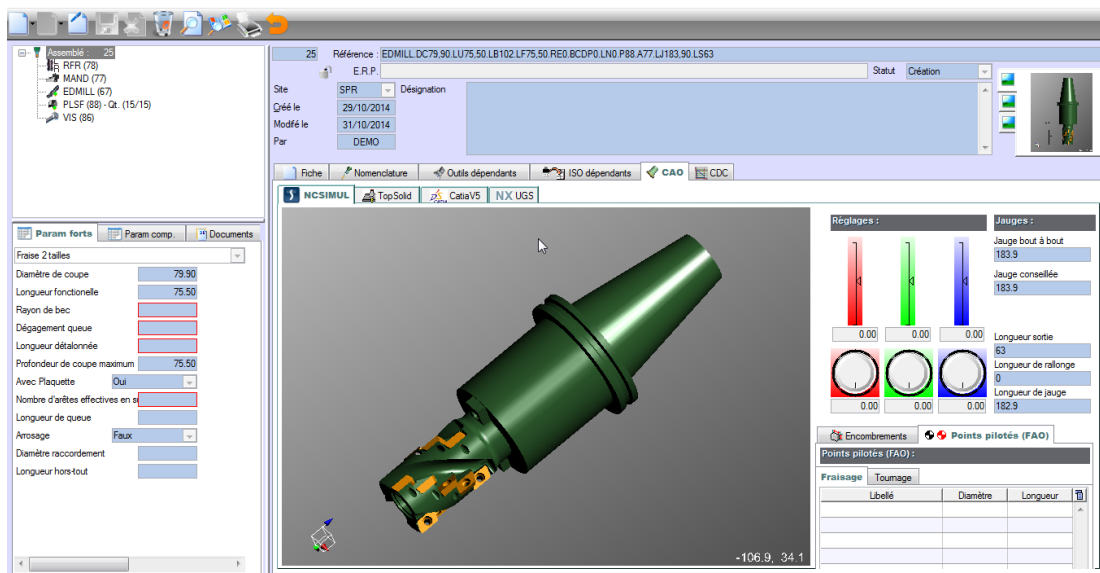




Obr. 2.2.2-4 Ukázka výroby jedné součásti na dvou různých CNC strojích

## 2.2.3 NCSIMUL TOOL

Dalším produktem je NCSIMUL TOOL zabývající se efektivitou a produktivitou z hlediska obráběcích nástrojů. Modul slouží jako jednotná databáze nástrojů. Ty zde můžeme jednoduše vytvořit zadáním základních vstupních informací i s 3D modelem. Program nám pomáhá plánovat veškerou přípravu nástrojů, sledovat využití všech nástrojů ve společnosti a je kompatibilní s většinou předních CAD/CAM SW. Umožňuje vytvořené nástroje snadno exportovat a vyhnout se tak jejich opakované tvorbě.

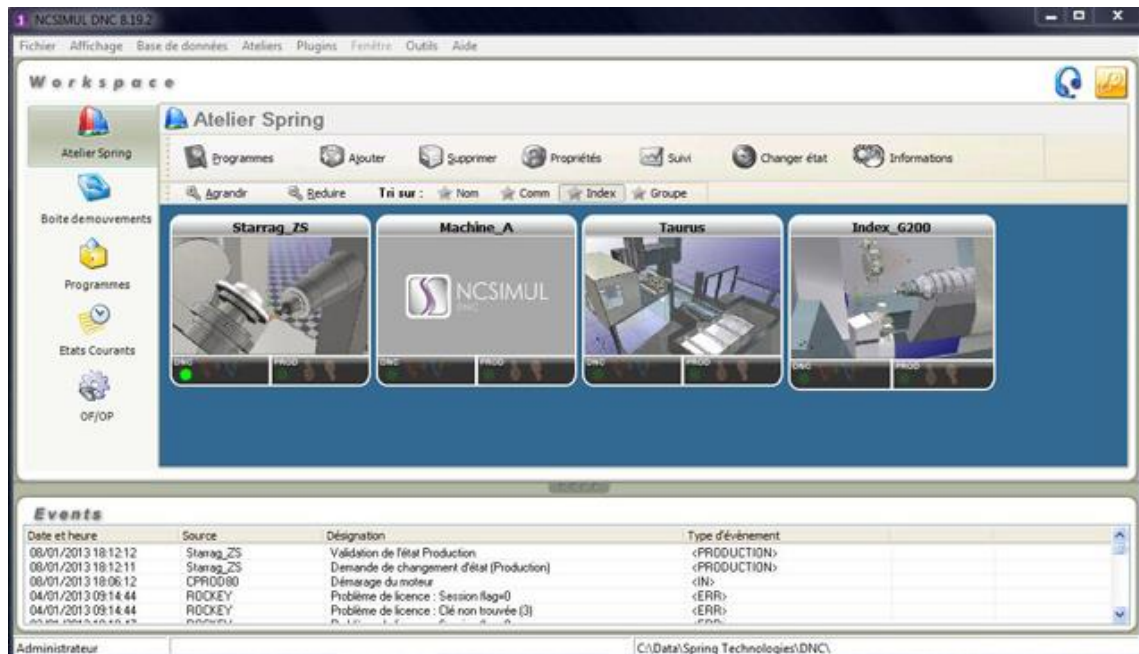


Obr. 2.2.3-1 Fréza v knihovně nástrojů NCSIMUL TOOL [5]

## 2.2.4 NCSIMUL DNC

Jak vyplývá z názvu DNC, jedná se o program, který nám umožňuje přenášet data ze sítě přímo do stroje. Pro operátory je řízení a kontrola činností CNC strojů daleko

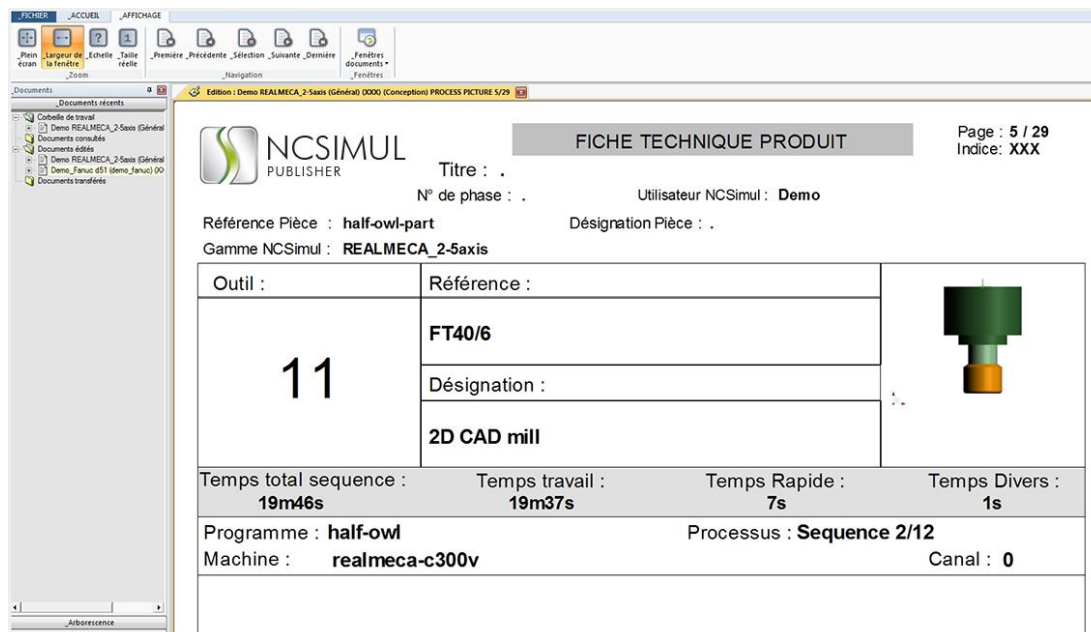
jednodušší, protože mohou všechny stroje a probíhající procesy monitorovat v reálném čase pomocí jednoho PC. Výstupem může být zpráva nebo video s podrobnostmi o poruchách, špatném nastavení, časových rezervách a následnou úpravou obráběcích cyklů pro zvýšení produktivity výroby. [5]



Obr. 2.2.4-1 Přehled používaných CNC strojů v NCSIMUL DNC [5]

## 2.2.5 NCSIMUL PUBLISHER

Posledním modulem z portfolia SOLUTIONS je PUBLISHER. Ten je synchronizován s ostatními moduly a poskytuje nám standardizovanou dokumentaci, rychlou editaci a přístup ke všem dokumentům v jednom. [5]



Obr. 2.2.5-1 Standardizovaná dokumentace NCSIMUL PUBLISHER [5]

## NCSIMUL ostatní doplňky

NCSIMUL má řadu dalších volitelných doplňků usnadňujících práci a zvyšujících produktivitu celé předvýrobní fáze. Jedním z nich je například knihovna POSTPRO obsahující více než tisíc spolehlivých, plně přizpůsobených a zároveň cenově dostupných CNC postprocesorů. Díky tomu proces programování nevyžaduje žádné další náklady spojené s tvorbou postprocesoru.

SPRING Technologies se také chlubí funkcí WYSIWYC®, která umožňuje operátorům sledovat dění uvnitř obráběcího centra v reálném čase pomocí tabletu a vlastního přehrávače NCSIMUL Player, který je zcela zdarma. [5]

## 2.3 Konkurenční SW pro verifikaci, simulaci a optimalizaci

Konkurenčních softwarů určených pro verifikaci, simulaci a optimalizaci je na trhu celá řada. Od úplně základních jako jsou například dánský CIMCO Edit a editNC, až po mnohem výkonnější jako je NCSIMUL. Mezi sofistikovanější můžeme zařadit systémy Vericut, Eureka, Predator Virtual CNC, Control Emulator nebo také CAD/CAM NX, který má rovněž integrovanou simulaci řízenou G kódem.

Výše zmíněné programy není zcela vhodné porovnávat mezi sebou, neexistuje objektivní literatura, která by tyto systémy srovnávala. Většina dostupných informací je k nalezení pouze na webových stránkách samotných tvůrců, kteří uvádí pouze kladné

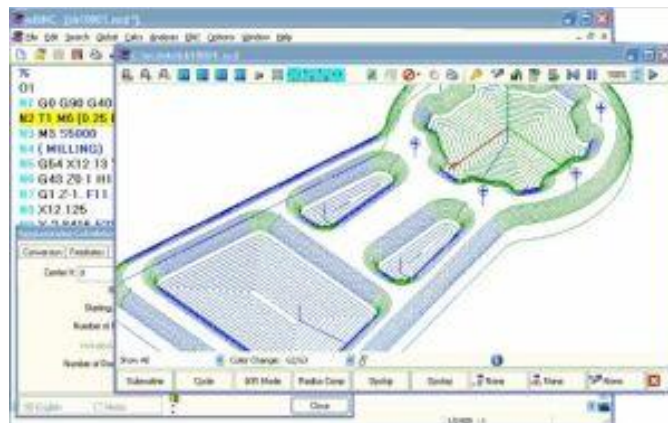
vlastnosti jejich programu. Nedostatky se pochopitelně žádná ze společností nechlubí, a proto je odhalíme až případným použitím.

Pár vybraných SW, které by mohly být pro NCSIMUL konkurencí, jsem se rozhodl neporovnávat, ale pouze stručně popsat a zdůraznit jejich odlišnosti. [1,8]

### 2.3.1 editNC

Základní editor NC programů editNC je velmi jednoduchý produkt od firmy NFR Partners. Stejně jako NCSIMUL ověřuje reálný G kód, ale nebere ohled na skutečnou kinematiku a nastavení CNC stroje. Program není vhodný, pokud chceme skutečnou reálnou verifikaci NC programu. Pokud však potřebujeme jednoduchou 3D vizualizaci, verifikaci dráhy, porovnání NC programů, obecnou analýzu a jiné méně složité funkce, vystačíme si i s tímto editorem.

EditNC je celý v češtině, pro uživatele je cenově příznivý a vhodný pro verifikaci ručně psaných a méně složitých NC programů. Pro složitější operace je však nedostačující. [9,10]

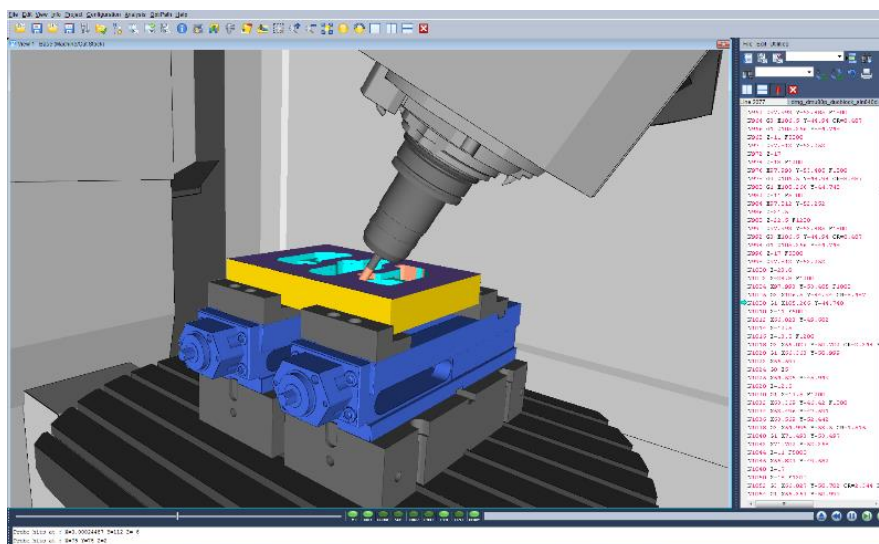


Obr. 2.3.1-1 Ukázka 3D vizualizace v editNC [9]

### 2.3.2 VERICUT

VERICUT stejně jako NCSIMUL patří ke světové špičce pro verifikaci, simulaci a optimalizaci CNC obrábění. Je to modulární systém od americké společnosti CGTech, se základními moduly *Verification*, *Machine Simulation* a *OptiPath*. Oba produkty si jsou velmi podobné grafickým zpracováním, přístupem k verifikaci NC programu a možnostmi optimalizace procesu. Pracují se simulací stroje řízenou G kódy a vlastními funkcemi stroje. Podobně řeší optimalizaci rezných podmínek.

Z testu společnosti SPRING Technologies, která testovala rychlost a funkce obou systémů na pětiosém stroji, vyšel NCSIMUL jako třikrát rychlejší než VERICUT. SW NCSIMUL vypadá přehledněji a má lepší grafické zpracování simulace. Například pohledem při simulaci lze libovolně otáčet, zatímco u SW VERICUT je nutné průběh vždy pozastavit. Další nevýhodou je absence integrovaných postprocesorů a správy nástrojů jako je NCSIMUL TOOL. [8,11,12,13]



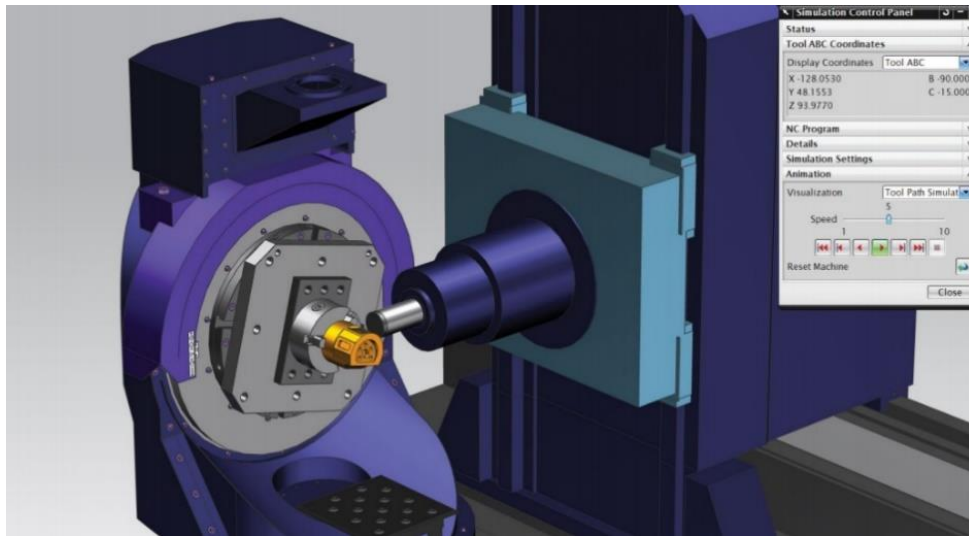
Obr. 2.3.2-1 Ukázka simulace v prostředí VERICUT v7.3 [12]

### 2.3.3 NX CAM

Mezi programy poskytující uživatelům skutečné ověření NC programu můžeme zařadit i CAD/CAM NX od společnosti Siemens. Ačkoli se nejedná o speciální SW třetí strany zaměřující se pouze na verifikaci, simulaci a optimalizaci, společnost Siemens ve svém portfoliu nabízí moduly, které jsou schopné provádět simulaci řízenou pomocí G kódu. Tento výkonný CAM má podobně jako NCSIMUL svou vlastní integrovanou knihovnu postprocesorů, ta je úzce spjata s jádrem CAM systému. NX nám pak snadno poskytne požadovaný NC kód pro každý typ a konfiguraci stroje. Následuje proces ověření vygenerovaného NC programu pomocí simulace, která může probíhat ve dvou stupních pomocí G kódu, nebo přidáním virtuálního numerického řídicího jádra (VNCK) od společnosti Siemens pomocí řízení reálným řídicím systémem stroje.

Jednoznačnou výhodou je integrace simulace. Vystačíme si pouze s jedním programem na celou předvýrobní přípravu. Na poměry CAM SW disponuje NX vysokou úrovní ověření NC kódu. Na rozdíl od speciálních SW zabývajících se verifikací a optimalizací, NX doposud neobsahuje modul k optimalizaci na takové úrovni jako

například NC SIMUL. Z tohoto důvodu je vhodné použití speciálního SW pro verifikaci.  
[4,14,15]



*Obr. 2.3.3-1 Ukázka simulace řízené G kódem v NX [14]*

### 3 Sestavení kinematického modelu

Tuto praktickou kapitolu mé bakalářské práce jsem se rozhodl koncipovat tak, aby každý nový uživatel SW NCSIMUL MACHINE byl schopný sestavit základní kinematiku pro virtuální model reálného stroje. Své znalosti v této oblasti jsem čerpal především od mého školitele ve firmě Centersoft s.r.o. a také online ze SPRING ACADEMY.

Před sestavením kinematiky stroje jsem si zajistil všechny potřebné podklady. Seznam všech potřebných podkladů a informací výrobce neuvádí, a proto jsem si je musel zajistit sám. Nejdůležitější součástí podkladů je model stroje, bez kterého bych se neobešel. Kromě modelu stroje jsem musel zjistit co nejvíce informací a parametrů popisujících chování frézky FCM 22 CNC. Čím více informací o daném stroji máme k dispozici, tím lepší a přesnější kinematický model můžeme sestavit. Začal jsem tím, že jsem si frézku šel prohlédnout do školních laboratoří. Seznámil jsem se s reálnou kinematikou, s pracovními rozsahy stroje a společně s vedoucím práce jsem odečetl potřebná technická data školní frézky. Bez reálné znalosti stroje můžeme snadno vytvořit chybu. Namísto stolu rozpohybovat v osách x a y vřeteník, nebo nesprávně použít pracovní rozsahy stroje. Například vřeteník se tak bude sice pohybovat ve správném rozsahu 450 mm, ale nebude umístěn do správné pozice na stojan. Při maximální hodnotě rozsahu by vyjžděl mimo kryt stroje. Nesmíme také zapomenout na řídicí systém stroje přizpůsobený pro SW NC SIMUL.

V práci jsem postupoval podle doporučeného postupu výrobce. Začal jsem sestavením stroje v NC MOTION, nastavil jsem směry pohyblivých částí stroje, umístil nástroj do vřetena a teprve poté jsem nastavil parametry frézky. Přestože je postup dle mého názoru zpracován velmi přehledně, setkal jsem se s určitými nedostatky. Při práci je nutné dbát na vlastní typ stroje a neřídit se přesnými instrukcemi, které jsou v postupu určeny pro stroj s pohybujeícím se nástrojem. Nicméně zmíněný obecný pracovní postup sestavení kinematiky se mi osvědčil a budu se jím řídit i nadále. Pro sestavování kinematiky frézky FCM 22 CNC jsem použil manuál výrobce, který je zpracován pro obecný model stroje, a proto jsem podrobné sestavení kinematiky uvedl v příloze 6.

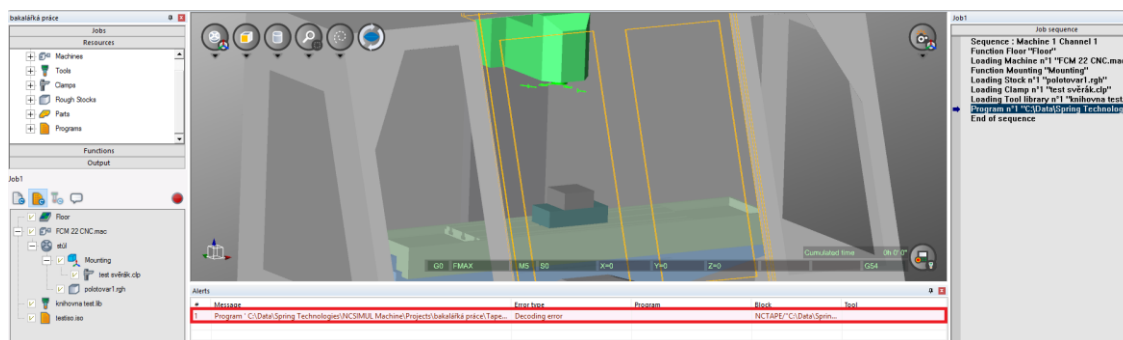
## 4 Zpětná simulace v programu NCSIMUL MACHINE

V této kapitole jsem provedl zpětnou simulaci několika NC programů. NC programy jsem se snažil vytvořit záměrně nesprávně, abych dokázal, že mnou sestavený stroj dokáže tyto chyby odhalit a poté je odstranit v prostředí NCSIMUL. Před samotnou verifikací NC programů bylo nutné vytvořit další nezbytné doplňky pro správný chod stroje, jako je například knihovna nástrojů, používaný upínací systém, polotovary, dokončené výrobky kvůli jejich analýze a samozřejmě NC program.

### 4.1 Primární kontrola

Prvotní kontrolu jsem chtěl provést především kvůli tomu, abych odhalil a eliminoval případné základní chybné nastavení stroje co nejdříve. Díky tomuto kroku bude odstranění chyb snadnější, protože systémových hlášení bude méně a vše bude přehlednější.

Pro zjednodušení vzhledem k základní kontrole jsem se rozhodl vygenerovat pouze přednastavené výchozí doplňky. Nezabýval jsem se tím, že doplňky nejsou totožné jako používané v samotném procesu. Vytvořil jsem si fiktivní knihovnu nástrojů, svěrák, polotovar a v poznámkovém bloku jsem si napsal krátký NC kód, abych zjistil, zda se stroj chová správně. Přetažením stroje do dolního levého pole se automaticky založila nová práce v projektu s názvem „Job1“. Do zmíněného pole jsem postupně přetáhl všechny ostatní používané doplňky. Ihned po kompletaci této zkušební práce jsem zkusil simulovat ručně napsaný NC kód. Již zde jsem se setkal s první chybou. Dle chybového hlášení SW NCSIMUL nebyl schopen dekodovat ručně psaný NC program.

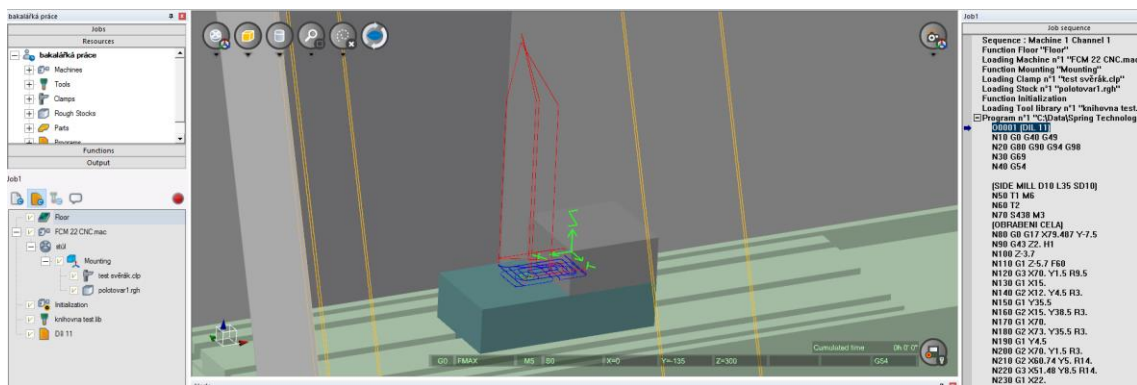


Obr. 4.1-1 Chyba dekodování NC programu



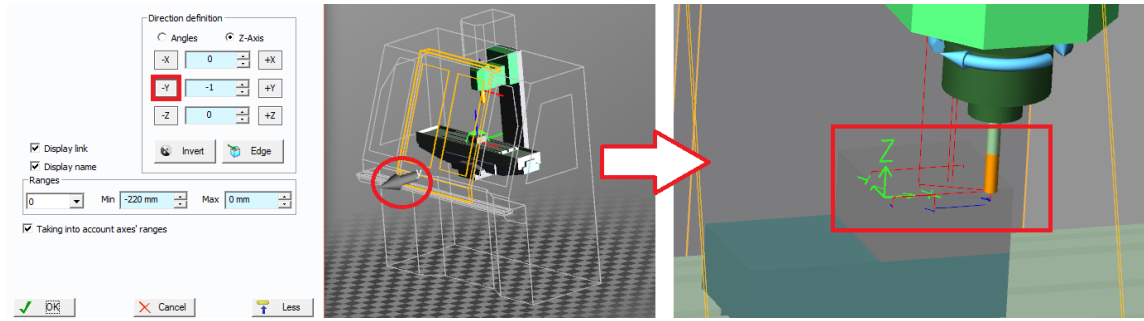
Tento problém (Obr. 4.1-1 Chyba dekódování NC programu) v dekódování NC programu jsem vyřešil celkem snadno. V nastavení použitého řídicího systému jsem si všiml, že každý NC program pro tento řídicí systém by měl začínat znakem „%“, proto jsem ručně psaný kód změnil a chybu jednoduše odstranil. Při použití postprocesoru Fancu pro tvorbu NC kódu, bych se s tímto problémem ani nesetkal, protože NC program automaticky začíná tímto znakem.

Dalším problémem, se kterým jsem se setkal, byla špatná definice směrů os. Souřadný systém byl opačně orientovaný ve směru osy x a y. Pro lepší ilustraci (Obr. 4.1-2 Opačná orientace souřadného systému) jsem si naprogramoval v SW TopSolid jednoduchý NC program, na kterém demonstruji obrábění mimo polotovaru právě kvůli opačné orientaci souřadného systému.



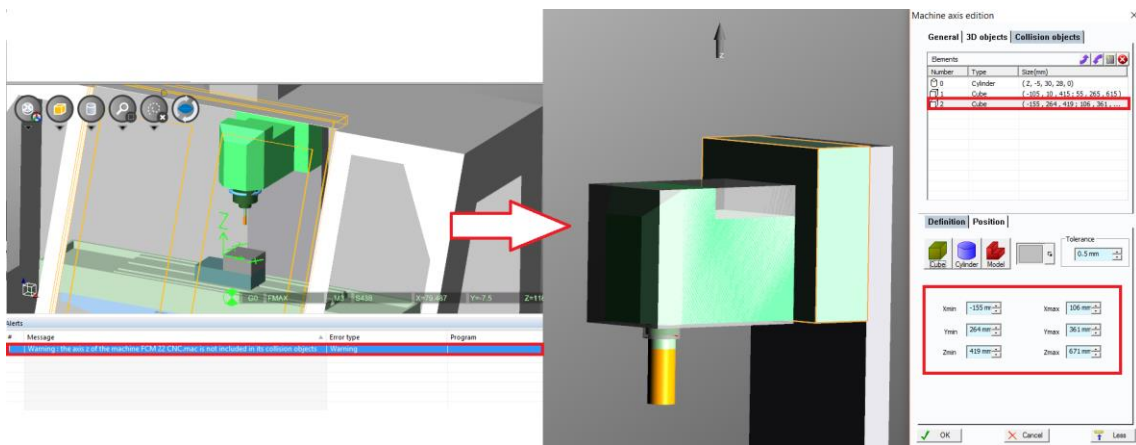
Obr. 4.1-2 Opačná orientace souřadného systému

Orientace souřadného systému mě zaměstnala na dlouho, protože jsem v dosavadní práci nastavoval souřadný systém vždy podle kladné konvence, a proto jsem nevěděl, kde by mohla být hledaná chyba. Na konzultaci s vedoucím mé práce, který se s podobným problémem setkal v jiném SW, jsme společně našli chybu v řešení. Problém byl v tom, že jsem při nastavení definice směrů zanedbal charakteristiku pohybu stroje a nesprávně použil kladnou konvenci. Kladnému znaménku odpovídá směr pohybu nástroje, který se pohybuje v osách x a y. Zatímco záporné konvenci odpovídá pohyb obrobku neboli pohyb stolu. V mém případě se pohybuje obrobek (stůl), proto jsem obrátil směr osy x a osy y (Obr. 4.1-3 Změna směru orientace v NCMOTION) v NCMOTION podle záporné konvence.



Obr. 4.1-3 Změna směru orientace v NCMOTION

Při dokončování prvotní kontroly jsem také narazil na systémové varování, že osa ze školní frézky FCM 22 CNC není zahrnuta mezi kolizními objekty. Zpočátku jsem si myslel, že chyba bude v nastavení detekce kolizí mezi jednotlivými kolizními prvky. Po kontrole této složky a porovnání s jinými projekty jsem zjistil, že chyba bude pravděpodobně někde jinde. Nakonec šlo pouze o varování, že jsem při tvorbě kolizních objektů nepokryl celý vřeteník, ale pouze jeho část. Detekce kolizí by tedy fungovala správně i bez pokrytí části vřeteníku, která se pohybuje po základně. Především kvůli odstranění chybového hlášení, ale i pro větší jistotu eliminace srážek, jsem se rozhodl přidat třetí kolizní objekt (Obr. 4.1-4 Přidání kolizního objektu pro odstranění varovného hlášení) na ose z (vřetení a vřeteník).



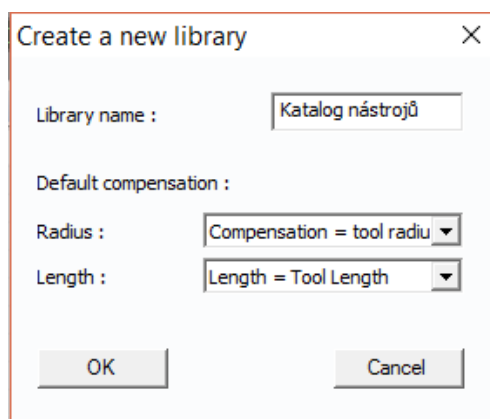
Obr. 4.1-4 Přidání kolizního objektu pro odstranění varovného hlášení

Vytvořením třetího kolizního objektu jsem odstranil poslední chybu v mé testovací kontrole funkce stroje. Celá simulace vytvořeného NC programu proběhla zcela úspěšně bez systémových hlášení, a proto jsem mohl začít tvořit práci s reálnými doplňky.

## 4.2 Vytvoření ostatních zdrojových doplňků práce

### 4.2.1 Knihovna nástrojů

Knihovnu nástrojů lze vytvořit kliknutím na ikonu *Tools*<sup>1</sup> nebo kliknutím pravého tlačítka myši na nástroj ve stromu projektu, zde jsem zvolil možnost nový nástroj. Otevřelo se mi okno pro tvorbu knihovny nástrojů (Obr. 4.2.1-1 Okno pro vytvoření knihovny nástrojů). V tomto okně jsem zadal název naší knihovny a určil výchozí kompenzace, které používá řídicí systém našeho stroje. Knihovnu jsem pojmenoval „katalog nástrojů“ a používané kompenzace jsme společně s vedoucím mé práce odečetli přímo z řídicího systému Mikroprog. Zvolil jsem proto kompenzaci na poloměr jako poloměr nástroje a kompenzaci délky rovnou délce nástroje.



Obr. 4.2.1-1 Okno pro vytvoření knihovny nástrojů

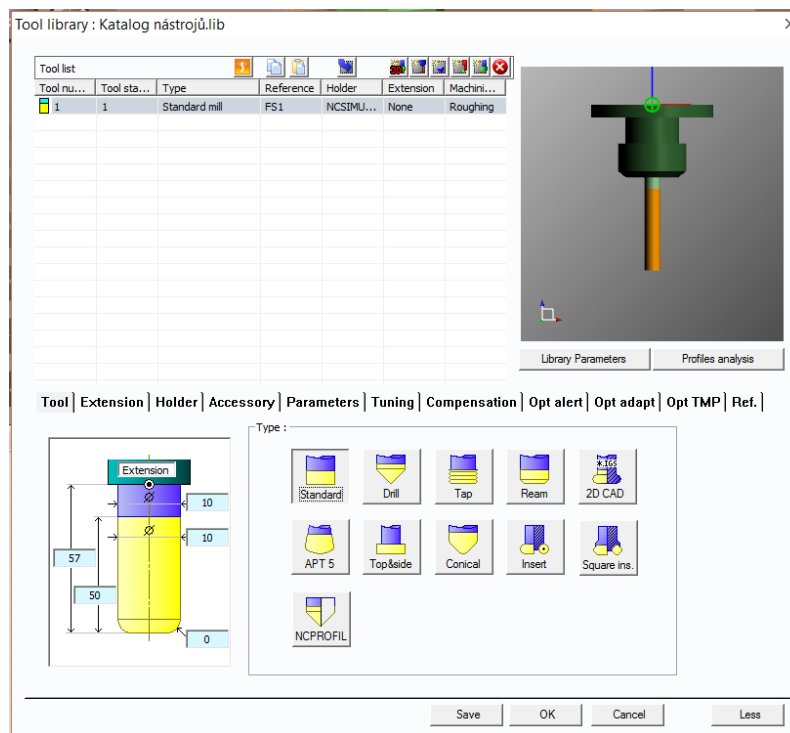
Potvrzením se automaticky dostáváme do tabulky nástrojů naší knihovny. Pomocí několika funkcí můžeme jednoduše vytvořit téměř jakýkoliv nástroj, nebo znovu jednoduše importovat 3D model našeho nástroje z CAM SW. Jelikož ve své práci používám pouze válcové a kulové frézy, použil jsem ikonu v tabulce pro tvorbu nového nástroje pro frézování. Program vygeneroval nový frézovací nástroj, který jsem snadno upravil nastavením podrobné charakteristiky nástroje. Stručné informace o nástrojích jsem získal z katalogu nástrojů pro obrábění na stroji FCM 22 CNC, který je dostupný na ústavu technologie obrábění, projektování a metrologie.

Jelikož by postup tvorby všech použitých nástrojů byl velmi podobný a velmi rozsáhlý, rozhodl jsem se podrobně popsat nastavení jen u první použité válcové frézy. Válcová fréza o průměru 10 mm má délku ostří 50 mm a vyložení 57 mm. Mezi šablonami

---

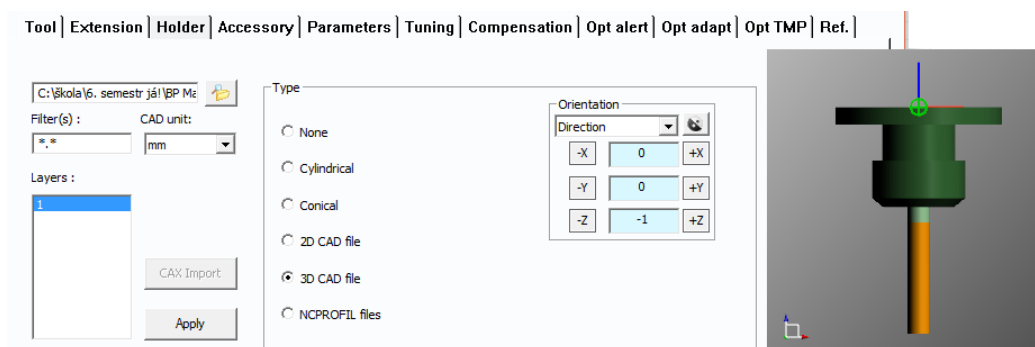
<sup>1</sup> Nová knihovna nástrojů

jsem zvolil standardní tvar frézy a známé rozměry jsem vepsal do tabulky jako kóty nástroje.




Obr. 4.2.1-2 Válcová fréza D10

Záložky prodloužení a doplňky jsem přeskočil, protože tyto prvky ve škole běžně nevyužíváme. Pro správnou verifikaci bude velmi důležitý držák, který by mohl být jedním z kolizních objektů, a proto by měl odpovídat co nejvíce skutečnému držáku. Na výběr máme hned několik šablon držáků, kterým můžeme upravovat rozměry. Nicméně náš držák nástrojů má odlišný tvar. Nevadilo by, pokud bychom použili kónický držák s největšími rozměry našeho držáku, ale NCSIMUL by nám mohl hlásit kolize, ke kterým by ve skutečnosti nedošlo. Pro přesnou verifikaci jsem se rozhodl jednoduchý tvar držáku nástrojů vymodelovat v programu TopSolid a importoval jsem ho jako 3D model.



Obr. 4.2.1-3 Model držáku nástroje

Další záložkou, které jsem věnoval pozornost, jsou parametry nástroje (Obr. 4.2.1-4 Parametry nástroje). V této záložce jsem určil, že použitá válcová fréza má celkem čtyři břity a v našem případě bude určena převážně pro hrubovací operace. Fréza nemá vnitřní chlazení a plochy obrobene tímto nástrojem se nám při simulaci zobrazí svítivě zelenou barvou. Povolil jsem optimalizaci pro nástroj a nastavil jsem otáčení ve směru hodinových ručiček. Ten se u jedné frézy liší, a proto je nutné, aby nás program upozornil, pokud by se vřeteno v tomto případě roztáčelo stejně jako u ostatních nástrojů pomocí funkce M3 (místo M4).

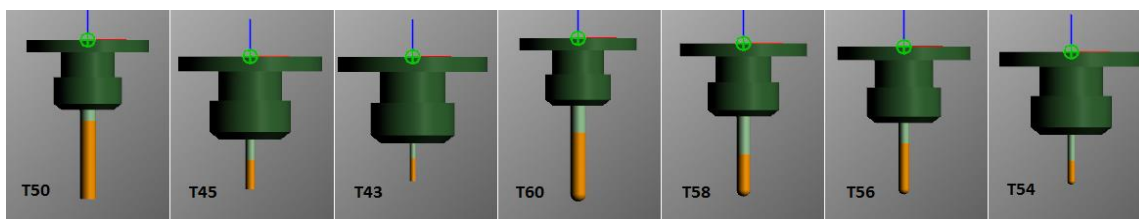
General parameters		Breaking parameters	
Tool number:	1	Maximum feedrate:	20000 mm/min
Tool station:	1	Volume of breaking:	0 mm <sup>3</sup>
Reference:	FS1	Milling along tool axis:	Allowed
Machining phase:	Roughing	Radial machining :	Allowed
Tool cut color :	<input checked="" type="radio"/>  <input type="radio"/> Default colors	Rotation for milling cut :	Clockwise
Number of teeth:	4	Maximum depth of cut (ap max) :	0 mm
<input type="checkbox"/> Coolant through the tool		<input type="checkbox"/> Compulsory coolant	
<input checked="" type="checkbox"/> Optimisation allowed			

Obr. 4.2.1-4 Parametry nástroje

Záložkám kompenzace a ladění jsem se nevěnoval, protože je využijeme jen tehdy, pokud chceme nastavit pro jeden nástroj více možností konfigurace. Délka vyložení fréz a kompenzace jsou pevně stanovené v katalogu nástrojů.

Poslední tři záložky pro dokončení tvorby válcové frézy jsou záložky určující maximální a optimální řezné podmínky pro nástroj a také jeho optimální životnost. Většinu parametrů jsem neměnil a ponechal jsem výchozí maximální hodnoty, protože ve školním prostředí používáme jako obráběný materiál polystyren. Předpokládal jsem, že nástroj může pracovat dle maximálních parametrů stroje a využil jsem tak maximální potenciál frézky FCM 22 CNC. Zvolil jsem tedy pouze maximální hloubku záběru třísky a pracovní záběr.

Podobným postupem, pouze s rozdílnými parametry, jsem vytvořil tři válcové a čtyři kulové frézy se stejným držákem (viz Obr. 4.2.1-5 Kompletní knihovna nástrojů).



Obr. 4.2.1-5 Kompletní knihovna nástrojů

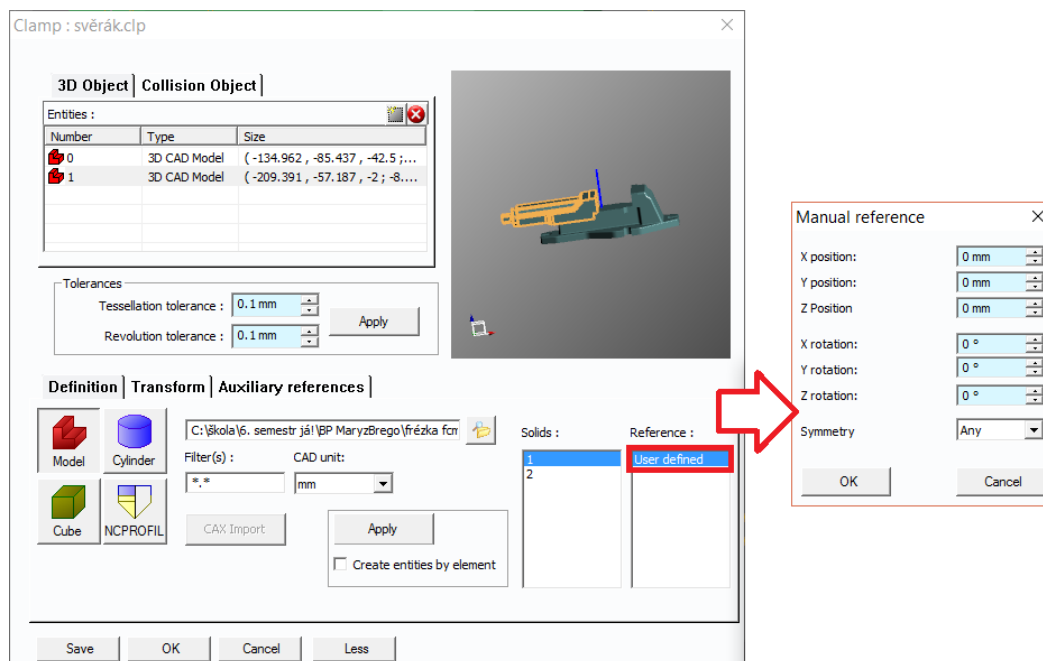
## 4.2.2 Upínací systém

Upínací prvky jsou velmi důležitou součástí programu pro správnou verifikaci, abychom předešli skutečným kolizím upínacích prvků a nástroje. Tyto kolize v laboratořích ústavu, kde používáme jako obráběný materiál nejčastěji polystyren, mohou být velmi závažné nejen pro nástroj a upínací prvek, ale i pro celou frézku. Proto je vzhledem k verifikaci vhodné, aby model pro upnutí obrobků odpovídal co nejvíce skutečnému upínacímu prvku.

Ve své práci jsem pro upnutí polotovarů použil model svěráku ze školních laboratoří, který byl vytvořen v programu TopSolid. Pro přidání svěráku jsem postupoval podobně jako u předchozích předmětů. Vyhledal jsem ikonu *Clamp*<sup>2</sup> a pojmenoval jsem náš prvek pro upnutí jako „svěrák“. Potvrzením se nám otevře nové okno (Obr. 4.2.2-1 Import modelu svěráku), kde můžeme upínky vytvořit pomocí různých tvarů, nebo importovat hotový 3D model. Já jsem zvolil přidání hotového modelu. Model jsem se rozhodl importovat jako dva objekty, abych případně mohl pohybovat posuvnou čelistí a různě nastavovat její vzdálenost od pevné čelisti svěráku.

---

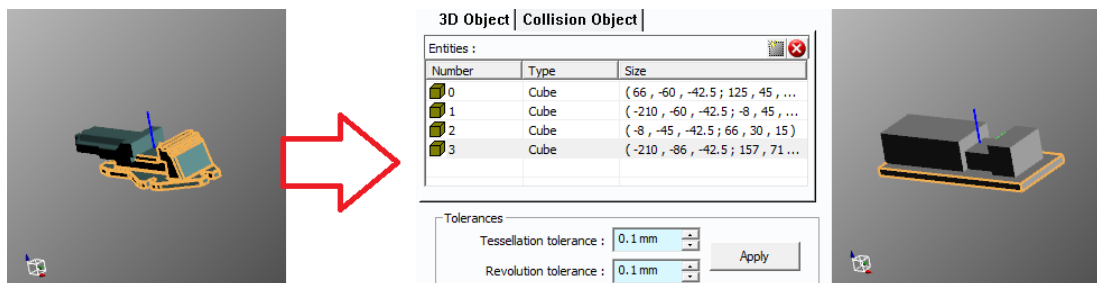
<sup>2</sup> Upínky



Obr. 4.2.2-1 Import modelu svěráku

Vzdálenost posuvné čelisti od pevné můžu jednoduše změnit rozkliknutím uživatelem definované příručky o pozici označené části (označeno na Obr. 4.2.2-1 Import modelu svěráku). Ve své práci jsem výchozí vzdálenost čelistí svěráku nastavil na 75 mm s tím, že ji budu v závislosti na polotovaru měnit pomocí pozicování v ose x, avšak nesmím překročit maximální rozsah svěráku. V tomto okně lze také svěrákem libovolně rotovat okolo jednotlivých os a tím svěrák otočit do jakékoliv polohy na stole.

Ačkoliv to nebylo nutné, jako poslední krok pro dokončení svěráku jsem vytvořil jednoduché kolizní tvary (Obr. 4.2.2-2 Kolizní objekty na svěráku). Kolizní objekty ulehčí výpočty programu NCSIMUL a zároveň zajistí varovné hlášení při nebezpečném přiblížení nástroje ke svěráku.

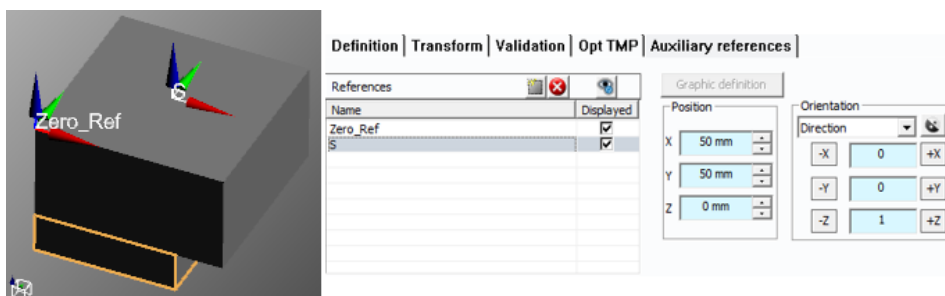


Obr. 4.2.2-2 Kolizní objekty na svěráku

### 4.2.3 Polotovary a dokončené výrobky

Polotovary a součástky vytváříme znovu stejnými ikonami „polotovary“ a „součástky“. Na rozdíl od ostatních prvků pro zpětnou simulaci budu pravděpodobně pro každý NC program používat odlišný polotovar a finální dílec. Proto jsem se rozhodl popsat obecně tvorbu jednoho polotovaru a import jednoho modelu dílce.

Vytvořením nového polotovaru se dostáváme do okna pro tvorbu daného polotovaru. Toto okno je pro jednoduchost téměř stejné jako všechna ostatní okna, kde vytváříme 3D objekty. Sem můžeme znovu importovat model, nebo polotovar vytvořit pomocí jednoduchých tvarů. Ve své práci si při tvorbě polotovarů vystačím s jednoduchými tvary. Na ukázkou jsem vytvořil obyčejný polotovar, kterému jsem zúžil spodní část tak, abychom ho mohli upnout do svěráku. Zásadní při tvorbě polotovaru je správné určení a nastavení nulového bodu (Obr. 4.2.3-1 Polotovar s původním a novým nulovým bodem), který jsme použili při tvorbě partprogramu. Jednou z možností je polotovar umístit do výchozího nulového bodu pomocí zadání 6 souřadnic, druhou možností je v záložce *Auxilliary references*<sup>3</sup> vytvořit nový bod a ten nadále používat jako nový nulový bod polotovaru.



Obr. 4.2.3-1 Polotovar s původním a novým nulovým bodem

Model součástky je jediný prvek, který k simulaci našeho procesu není vůbec potřeba a verifikaci můžeme provést i bez nutnosti přidání výsledného modelu. Výhodou importu modelu výrobku z programu CAD do SW NCSIMUL je následná analýza, ve které můžeme důkladně porovnat model a součást vyrobenou na základě NC programu. Analýzou na základě reálného NC kódu získáme přesnější informace než při porovnání dle CL dat, proto s daleko větší jistotou ověříme například geometrické tolerance tvaru.

<sup>3</sup> Pomocné reference



Ačkoliv je okno pro import součástky téměř totožné jako okno pro tvorbu polotovaru, nemáme zde na výběr z více možností. Pokud chceme používat výsledný model, musíme ho vždy jedinečně importovat.

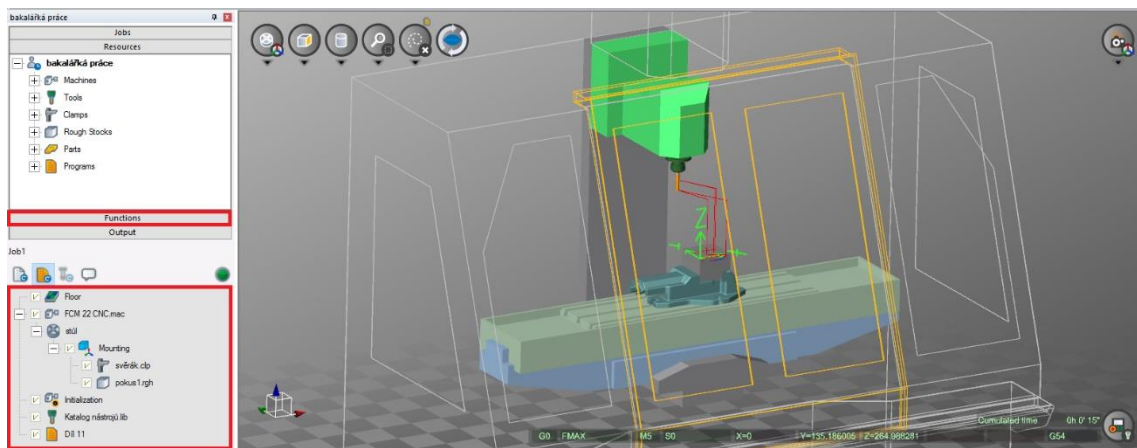
#### 4.2.4 NC programy

Posledním nezbytným prvkem, abychom mohli vytvořit kompletní projekt a sestavit tak funkční obráběcí proces, který budeme simulovat a ověřovat, jsou NC programy. Ve své práci nejprve vytvořím v SW TopSolid vzorové modely spolu s partprogramem pro frézování součásti. Tento geometrický a technologický kódový zápis nechám zpracovat postprocesorem Fanuc. Kombinaci postprocesoru a řídicího systému Fanuc jsem vybral po konzultaci s mým školitelem ve firmě Centersoft s.r.o., jako nejvhodnější nahrazení původního řídicího systému Mikroprog. Řídicí systém Mikroprog jsem bohužel nemohl použít, protože doposud není dostupný v SW NCSIMUL. Jako nejvhodnější alternativu jsem tedy zvolil řídicí systém Fanuc v kombinaci s postprocesorem Fanuc.

Tvorbu jednotlivých modelů a partprogramů uvedu pouze v přílohách mé bakalářské práce. Samotná tvorba není přímo součástí mé práce, jelikož pro verifikaci a zpětnou simulaci budu využívat především NC programy. Začínám tedy tím, že jsem dokončil a vygeneroval hotový NC program, který musím importovat. NC program nelze importovat pomocí předurčené ikony stejně jako téměř všechny ostatní prvky projektu, ale musíme ho vložit podobně jako řídicí systém do složky projektu určené právě NC programům. Zde nalezneme alespoň výrazné zjednodušení oproti řídicímu systému, protože při pravém kliknutí na ikonu programy ve stromu prvků projektu, můžeme jednoduše otevřít přímo určenou složku a potřebné NC programy sem snadno zkopírovat.

#### 4.2.5 Vhodné uspořádání v projektu

Všechny zdrojové prvky pro projekt jsem vytvořil a mohl jsem začít tvořit výslednou práci v levém dolním okně. Prvky jsem jeden po druhém „přetáhl“ ze zdrojových knihoven a uspořádal je ve vhodném pořadí. Pokud tak neučiníme, proces bude nefunkční, dokud prvky neuspořádáme podle správného pořadí v SW NCSIMUL (Obr. 4.2.5-1 Funkční uspořádání práce). NC SIMUL má přesně určený systém načítání a pokud prvky seřadíme špatně, tak se bohužel nenačtou.



Obr. 4.2.5-1 Funkční uspořádání práce

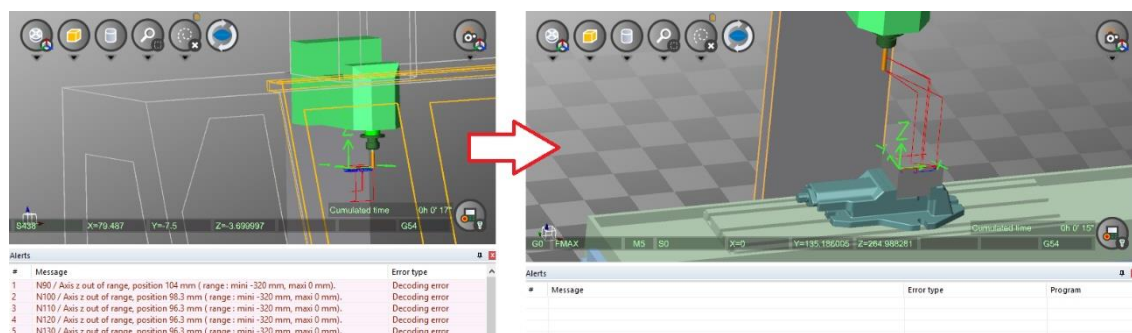
Začal jsem přetáhnutím virtuálního stroje FCM 22 CNC do prázdného pole. Tím jsem vytvořil novou práci v mém projektu, kterou jsem pojmenoval „Job1“. Pokračoval jsem vložením podlahy, která se vytvořila automaticky pod nejnižším bodem stroje. Vložení podlahy nalezneme pod ikonou *Functions*<sup>4</sup> (označena viz Obr. 4.2.5-1 Funkční uspořádání práce), kde se nachází mnoho dalších potřebných funkcí. V SW NCSIMUL slouží podlaha především pro lepší vizuální efekt, aby se stroj „nevznášel“, proto její vytvoření není nutné. Podlahu jsem v uspořádání dal na první místo, ale zároveň jsem ji ponechal jako závislou na stroji.

Dalším krokem bylo umístění svěráku a polotovaru. Oba tyto prvky leží na stole, a proto stejně jako u sestavování kinematiky stroje musím dodržovat hierarchii jejich umístění. Svěrák i polotovar jsem přidal jako závislé prvky pro stůl v pořadí jako na Obr. 4.2.5-1 Funkční uspořádání práce. Ani jeden z objektů se automaticky nezobrazil na svém správném místě na stole, pravým kliknutím jsem zvolil možnost nastavení pozice a svěrák i polotovar umístil do řádné pozice. K zjednodušení umístění objektů je zde funkce kontakt, pomocí které objekty snadno umístíme do pozice, kde budou v kontaktu s jiným definovaným objektem. Takto jsem umístil například svěrák na ose z, kde jsem využil kontaktu se stolem (FCM 22 CNC). Na ose y jsem svěrák umístil doprostřed stolu a ve směru osy x jsem zároveň se středem stolu položil plochu posuvné čelisti svěráku. Podobně jsem postupoval při vkládání polotovaru do čelistí svěráku. Pro případné další přemístění jsem také využil funkci montáž, pod kterou jsem zahrnul oba dva 3D objekty.

<sup>4</sup> funkce

Funkce nám následně umožňuje posouvat svěrákem a polotovarem současně, různě je otáčet, případně umístit na jiný objekt.

Po připojení svěráku s polotovarem na stůl jsem přetáhl ze zdrojové knihovny databázi nástrojů a používaný NC program. Velmi důležitou součástí je přidání funkce *Initialization*<sup>5</sup> před knihovnu nástrojů. Pomocí inicializace jsem definoval nulový bod, který použiju při programování obrábění. Bez přidání této funkce stroj používá nulový bod vřetena a náš vřeteník se začne pohybovat mimo přednastavený rozsah osy z, takže systém nahlásí velký počet chyb procesu. Jako nulový bod jsem použil vytvořený nulový bod mého polotovaru, který jsem záměrně umístil stejně jako při programování do horního rohu (Obr. 4.2.3-1 Polotovaz s původním a novým nulovým bodem).



Obr. 4.2.5-2 Použití inicializace

Pokud chceme analyzovat výslednou součást a budeme používat původní model, vložíme ho totožně jako svěrák a polotovaz na stůl. Model součásti by měl být umístěn v seznamu za svěrák, ale prohození polotovaru a modelu, jak jsem ověřil, nemá na proces vliv.

### 4.3 Zpětná simulace a verifikace jednotlivých NC programů

Model stroje pro verifikaci mám kompletně připravený a provedl jsem jeho otestování. V této kapitole vytvořím několik partprogramů v SW TopSolid. CL Data přeložím pomocí postprocesoru Fanuc a provedu zpětnou simulaci a verifikaci NC programů na modelu školní frézky. Abych ukázal funkčnost svého modelu, rozhodl jsem se záměrně vytvořit nevhodné obráběcí procesy, které by můj model stroje měl odhalit. Při verifikaci je také možné, že narazím na neplánované chyby v procesu vzniklé například překladem postprocesoru. Odhalené abnormality procesu bych následně opravil

<sup>5</sup> Inicializace

v SW NCSIMUL, abych ukázal, že tento systém při správném sestavení modelu nalezne veškeré chyby v procesu, ale také umožní jejich snadné a rychlé opravení.

Tvorba jednotlivých NC programů, není přímo součástí samotné bakalářské práce, proto jsem jejich vytváření uvedl v příloze.

### 4.3.1 Překročení limitních nastavení stroje

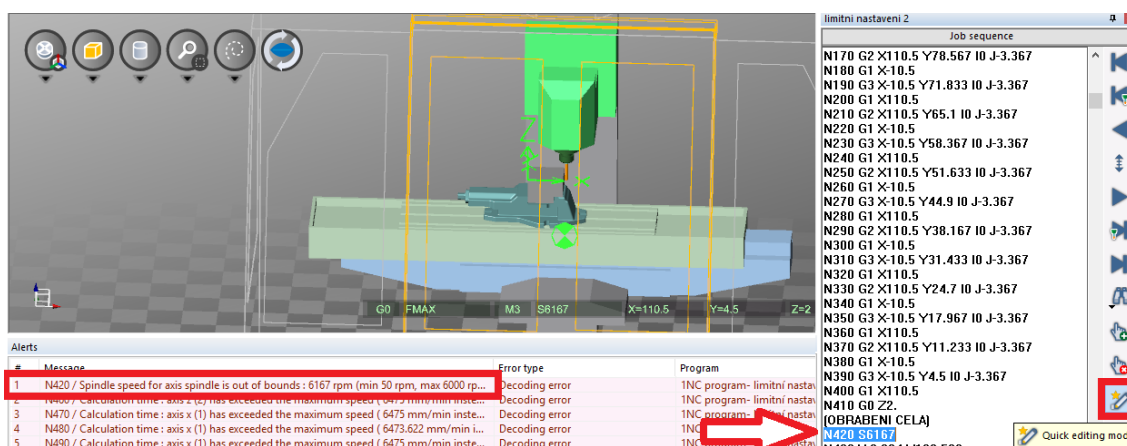
První jsem použil NC program, u kterého jsem při tvorbě partprogramu zanedbal nastavení řezných podmínek obrábění. TopSolid použil výchozí nastavení řezných podmínek, které výrazně převyšuje nastavené maximální otáčky vřetena a pracovní posuvy v jednotlivých osách. Pro odhalení NC SIMUL nepotřeboval ani spuštění simulace obráběcího procesu a ihned při načtení NC programu systém hlásil celkem 388 varovných hlášení (Obr. 4.3.1-1 Varovné hlášení překročení limitů). Z tohoto důvodu jsem volil jednoduchý model s kratším NC kódem, aby jeho oprava nebyla příliš zdoluhavá. Pokračoval jsem simulací obráběcího procesu, ale NC SIMUL neodhalil žádné další problémy.

#	Message	Error type	Program	Block	Tool
368	N6210 / Calculation time: axis y (0) has exceeded the maximum speed ( 19096.643 mm/mi...	Decoding error	TNC program- limitní nastavení	N6210 G2 X63.25 Y13.76...	Katalog nástrojů.lib/2/V5
369	N6220 / Calculation time: axis x (1) has exceeded the maximum speed ( 18246.41 mm/min ...	Decoding error	TNC program- limitní nastavení	N6220 G2 X63.25 Y66.23...	Katalog nástrojů.lib/2/V5
370	N6230 / Calculation time: axis x (1) has exceeded the maximum speed ( 18219.452 mm/mi...	Decoding error	TNC program- limitní nastavení	N6230 G1 X66.675 Y65.156	Katalog nástrojů.lib/2/V5
371	N6270 / Calculation time: axis z (2) has exceeded the maximum speed ( 19099 mm/min ins...	Decoding error	TNC program- limitní nastavení	N6270 G1 Z-8.	Katalog nástrojů.lib/2/V5
372	N6280 / Calculation time: axis y (0) has exceeded the maximum speed ( 12169.179 mm/mi...	Decoding error	TNC program- limitní nastavení	N6280 G3 X62.35 Y68.81...	Katalog nástrojů.lib/2/V5
373	N6290 / Calculation time: axis y (0) has exceeded the maximum speed ( 13505.076 mm/mi...	Decoding error	TNC program- limitní nastavení	N6290 G1 X61.768 Y68.232	Katalog nástrojů.lib/2/V5
374	N6300 / Calculation time: axis y (0) has exceeded the maximum speed ( 13282.388 mm/mi...	Decoding error	TNC program- limitní nastavení	N6300 G2 X60. Y67.5 R2.5	Katalog nástrojů.lib/2/V5
375	N6310 / Calculation time: axis x (1) has exceeded the maximum speed ( 19099 mm/min ins...	Decoding error	TNC program- limitní nastavení	N6310 G1 X47.5	Katalog nástrojů.lib/2/V5
376	N6320 / Calculation time: axis x (1) has exceeded the maximum speed ( 19096.544 mm/mi...	Decoding error	TNC program- limitní nastavení	N6320 G2 X45.732 Y68.2...	Katalog nástrojů.lib/2/V5
377	N6330 / Calculation time: axis y (0) has exceeded the maximum speed ( 13505.032 mm/mi...	Decoding error	TNC program- limitní nastavení	N6330 G1 X35.732 Y78.232	Katalog nástrojů.lib/2/V5
378	N6340 / Calculation time: axis y (0) has exceeded the maximum speed ( 13715.24 mm/min ...	Decoding error	TNC program- limitní nastavení	N6340 G2 X37.5 Y82.5 R2.5	Katalog nástrojů.lib/2/V5
379	N6350 / Calculation time: axis x (1) has exceeded the maximum speed ( 19099 mm/min ins...	Decoding error	TNC program- limitní nastavení	N6350 G1 X47.5	Katalog nástrojů.lib/2/V5
380	N6360 / Calculation time: axis x (1) has exceeded the maximum speed ( 19096.473 mm/mi...	Decoding error	TNC program- limitní nastavení	N6360 G2 X49.421 Y81.6...	Katalog nástrojů.lib/2/V5
381	N6370 / Calculation time: axis y (0) has exceeded the maximum speed ( 14673.096 mm/mi...	Decoding error	TNC program- limitní nastavení	N6370 G1 X51.829 Y78.71	Katalog nástrojů.lib/2/V5
382	N6380 / Calculation time: axis y (0) has exceeded the maximum speed ( 14479.006 mm/mi...	Decoding error	TNC program- limitní nastavení	N6380 G3 X55.671 Y78.7...	Katalog nástrojů.lib/2/V5
383	N6390 / Calculation time: axis y (0) has exceeded the maximum speed ( 14673.096 mm/mi...	Decoding error	TNC program- limitní nastavení	N6390 G1 X58.079 Y81.6	Katalog nástrojů.lib/2/V5
384	N6400 / Calculation time: axis y (0) has exceeded the maximum speed ( 14474.895 mm/mi...	Decoding error	TNC program- limitní nastavení	N6400 G2 X60. Y82.5 R2.5	Katalog nástrojů.lib/2/V5
385	N6410 / Calculation time: axis x (1) has exceeded the maximum speed ( 19099 mm/min ins...	Decoding error	TNC program- limitní nastavení	N6410 G1 X70.	Katalog nástrojů.lib/2/V5
386	N6420 / Calculation time: axis x (1) has exceeded the maximum speed ( 19096.64 mm/min ...	Decoding error	TNC program- limitní nastavení	N6420 G2 X71.768 Y78.2...	Katalog nástrojů.lib/2/V5
387	N6430 / Calculation time: axis y (0) has exceeded the maximum speed ( 13505.032 mm/mi...	Decoding error	TNC program- limitní nastavení	N6430 G1 X62.35 Y68.814	Katalog nástrojů.lib/2/V5
388	N6440 / Calculation time: axis y (0) has exceeded the maximum speed ( 8672.883 mm/min ...	Decoding error	TNC program- limitní nastavení	N6440 X64.106 Y67.919	Katalog nástrojů.lib/2/V5

Obr. 4.3.1-1 Varovné hlášení překročení limitů

Varovných hlášení je sice přes 380, avšak pokud budeme opravovat problémy postupně, jejich korekce bude poměrně snadná. Začal jsem kliknutím na první řádek v tabulce varovných hlášení. NC SIMUL automaticky označil řádek, který by mohl být příčinou daného varování. Systém správně odkázal v NC programu až do části frézování na čisto, protože u hrubování frézou T50 byly použity vhodné řezné podmínky. Na označeném řádku v NC programu je vidět, že jsem použil vyšší otáčky vřetena S6167. Zatímco systém mě informoval, že minimální otáčky jsou 50 a maximální otáčky jsou 6000 otáček za minutu.

Velikost otáček jsem přepsal rychlým zásahem do NC programu použitím funkce *Quick editing mode*<sup>6</sup> (viz Obr. 4.3.1-2 Rychlá editace NC programu) na vhodné otáčky dle použitelného rozmezí stroje. Ve své práci většinou jsem většinou používal vysoké řezné podmínky, abych co nejvíce využil potenciál školní frézky, a proto jsem použil otáčky S5000. Potvrzením se celá práce znovu načetla a upravil se počet varovných hlášení. Modifikovaný NC program bylo nutné uložit zvlášť, protože se neukládal zároveň s uložením celé práce. Postupoval jsem opravením dalšího varovného hlášení, které mě odkázalo na řádek N460 G1 Z-4. F6475. Zde jsem namísto maximálního pracovního posuvu 6000 mm/min použil pracovní posuv 6475 mm/min a bylo tedy nutné tento posuv snížit. Použil jsem posuv 4500 mm/min, práci uložil a znovu načetl. Korekcí těchto dvou řádků v NC kódu jsem neodstranil pouze 2 varovné hlášení, ale přesně 69 varovných řádků. Důvodem je, že otáčky a pracovní posuv dohromady ovlivňovaly celou operaci frézování na čisto.



Obr. 4.3.1-2 Rychlá editace NC programu

Totožným způsobem jsem postupoval i u dalších řádků. Přepsal jsem použité otáčky a pracovní posuvy u řádků v NC kódu N2820, N2850, N5210 a N5250. Po provedení celé simulace NC SIMUL nenalezl žádné další problémy.

### 4.3.2 Modifikovaný NC program

Před samotnou úpravou jsem do svěráku umístil nový polotovár společně s vytvořeným 3D modelem součásti ze SW TopSolid a provedl jsem zpětnou simulaci nezměněného NC programu. Simulace původního NC programu dopadla bezchybně, a proto jsem mohl přistoupit k jeho modifikaci. Vygenerovaný NC program jsem otevřel

<sup>6</sup> mód rychlé editace

v poznámkovém bloku, ve kterém jsem ho upravoval. V poznámkovém bloku jsem postupně provedl sedm úprav NC programu, kterými jsem simuloval například ztrátu dat, nesprávný postprocessing, použití nevhodné knihovny nástrojů při programování obrábění, případně pochybení programátora.

Editaci jsem začal náhodně na řádku N1920. Na řádek přidávám pohyb osy C o hodnotu -45, stroj by tuto abnormalitu měl snadno odhalit, protože jsem v kinematickém modelu stroje osu C nepoužil.

N1920 G1 X30.  N1920 G1 X30. C-45.

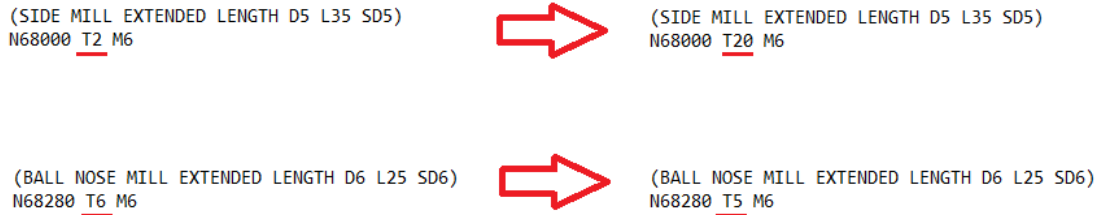
*Obr. 4.3.2-1 Editace řádku N1920*

Další úpravu jsem provedl na řádcích N3190 až N3230, zde jsem smazal všechny desetinné čárky pro úmyslné překročení pracovního rozsahu stroje. Dále jsem odstranil následujících 10 řádků NC programu jako simulaci ztráty dat v NC programu (Obr. 4.3.2-2 Ztráta dat v NC programu).

N3190 G2 X10. Y813. R11.3	
N3200 G1 X25.	
N3210 G2 X35.492 Y74.197 R11.3	
N3220 G1 X37.215 Y69.89	
N3230 G3 X42.785 Y69.89 R3.	
N3240 G1 X44.508 Y74.197	
N3250 G2 X46.561 Y77.514 R11.3	
N3260 G2 X53.682 Y78.912 R6.	
N3270 G3 X56.323 Y78.3 R6.	
N3280 G1 X70.	
N3290 G2 X77.706 Y66.917 R8.3	
N3300 G1 X57.706 Y16.917	
N3310 G2 X50. Y11.7 R8.3	
N3320 G1 X30.	
N3330 G2 X22.294 Y16.917 R8.3	
	N3190 G2 X10 Y813 R113
	N3200 G1 X25
	N3210 G2 X35492 Y74197 R113
	N3220 G1 X37215 Y6989
	N3230 G3 X42785 Y6989 R3

*Obr. 4.3.2-2 Ztráta dat v NC programu*

Postupoval jsem editací použitých nástrojů (Obr. 4.3.2-3 Úprava použitých nástrojů v NC programu). Na řádku N68000 jsem zaměnil „volání“ druhého nástroje v zásobníku, kterým je válcová fréza T45, neexistujícím nástrojem s pořadovým číslem v zásobníku dvacet. Pro poslední dokončovací operaci frézování jsem nahradil na řádku N68280 použitou kulovou frézou T56 větší kulovou frézou T58. Větší fréza odebere více materiálu a nevratně poškodí finální výrobek.



Obr. 4.3.2-3 Úprava použitých nástrojů v NC programu

Finální modifikací NC programu bude použití textu v NC programu, například poznámka programátora nebo SW CAM, o který nástroj se jedná. Poznámku, kterou ohraničíme závorkou, by NC SIMUL měl přehlédnout, ale text mimo závorky považuje za součást NC kódu. V tomto případě by nás SW měl upozornit na vzniklou chybu dekódování. Mezi řádky N23270 a N23280 jsem napsal poznámku v závorkách a mezi N30840 a N30850 text bez závorek. Veškeré úpravy jsem uložil a editovaný NC kód nahrál do složky pro NC SIMUL.

N23270 X30.493 Y19.121 (POZNÁMKA)	N30840 X69.074 Y71.469 POZNÁMKA
N23280 X30.274 Y19.19	N30850 X69.341 Y71.357

Obr. 4.3.2-4 Použití textu v NC programu

Editace původního a import nového NC kódu do SW NC SIMUL způsobily celkem 14 varovných hlášení dekódování (Obr. 4.3.2-5 Nalezené chyby v NC kódu). Jednotlivé chyby procesu jsem postupně odstranil a zjistil, jestli NC SIMUL odhalil všechny vytvořené změny v kódu.

#	Message	Error type	Program	Block	Tool
1	N1920 / End of the line not known: "...C-45.	Decoding error	2NC program - modifikace	N1920 G1 X30. C-45.	Katalog nástrojů.lib/1/V10
2	N3190 / Generated error: "Error of interpolation : dR = -260.635 Maximum authorised : 0.00...	Decoding error	2NC program - modifikace	N3190 G2 X10 Y813 R113	Katalog nástrojů.lib/1/V10
3	N3190 / Circular interpolation : too small radius 113 mm for start/end distance 747.271 mm	Decoding error	2NC program - modifikace	N3190 G2 X10 Y813 R113	Katalog nástrojů.lib/1/V10
4	N3210 / Generated error: "Error of interpolation : dR = -40639.7 Maximum authorised : 0.00...	Decoding error	2NC program - modifikace	N3210 G2 X35492 Y7419...	Katalog nástrojů.lib/1/V10
5	N3210 / Circular interpolation : too small radius 113 mm for start/end distance 81505.336 m...	Decoding error	2NC program - modifikace	N3210 G2 X35492 Y7419...	Katalog nástrojů.lib/1/V10
6	N3190 / Axis y out of range, position 677.814 mm ( range : mini -220 mm, maxi 0 mm).	Decoding error	2NC program - modifikace	N3190 G2 X10 Y813 R113	Katalog nástrojů.lib/1/V10
7	N3230 / Generated error: "Error of interpolation : dR = -2782.00 Maximum authorised : 0.00...	Decoding error	2NC program - modifikace	N3230 G3 X42785 Y6989 ...	Katalog nástrojů.lib/1/V10
8	N3230 / Circular interpolation : too small radius 3 mm for start/end distance 5570 mm	Decoding error	2NC program - modifikace	N3230 G3 X42785 Y6989 ...	Katalog nástrojů.lib/1/V10
9	N3200 / Axis y out of range, position 677.814 mm ( range : mini -220 mm, maxi 0 mm).	Decoding error	2NC program - modifikace	N3200 G1 X25	Katalog nástrojů.lib/1/V10
10	N3210 / Axis y out of range, position 74061.813 mm ( range : mini -220 mm, maxi 0 mm).	Decoding error	2NC program - modifikace	N3210 G2 X35492 Y7419...	Katalog nástrojů.lib/1/V10
11	N3220 / Axis x out of range, position 37215 mm ( range : mini -225 mm, maxi 225 mm).	Decoding error	2NC program - modifikace	N3220 G1 X37215 Y6989	Katalog nástrojů.lib/1/V10
12	N3230 / Axis x out of range, position 42785 mm ( range : mini -225 mm, maxi 225 mm).	Decoding error	2NC program - modifikace	N3230 G3 X42785 Y6989 ...	Katalog nástrojů.lib/1/V10
13	End of the line not known: "...POZNÁMKA	Decoding error	2NC program - modifikace	POZNÁMKA	Katalog nástrojů.lib/4/K10
14	N68000 / Tool number 20 does not exist.	Decoding error	2NC program - modifikace	N68000 T20 M6	Katalog nástrojů.lib/4/K10

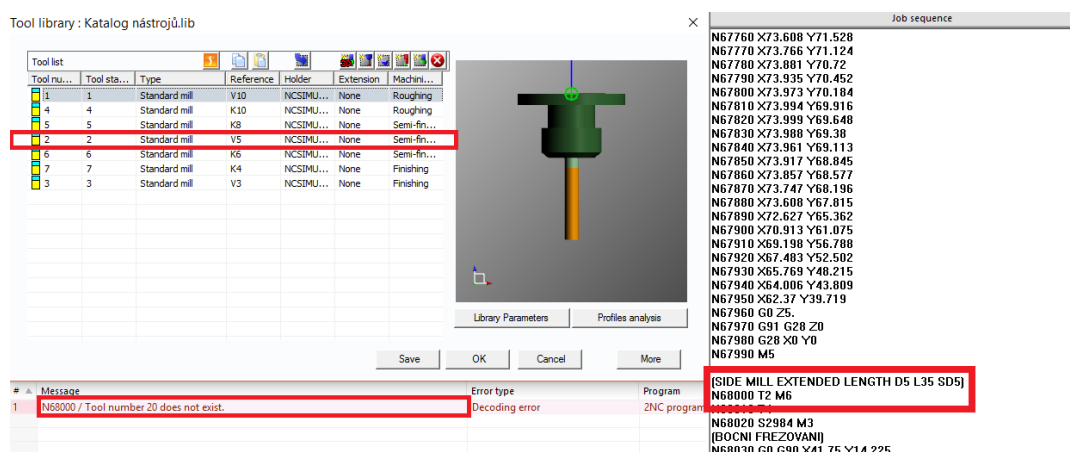
Obr. 4.3.2-5 Nalezené chyby v NC kódu

První varování mě odkázalo na konec řádku N1920 (Obr. 4.3.2-5 Nalezené chyby v NC kódu), kam jsem při zásahu do NC kódu připsal C-45. Tato hodnota do NC programu nepatří, a proto jsem ji smazal pomocí rychlé editace. Stejný problém byl u

neznámého textu bez závorek. Ten jsem odstranil totožně (viz Obr. 4.3.1-2 Rychlá editace NC programu).

Pokračoval jsem opravou na řádku N3190, na který odkazovala dokonce tři chybová hlášení (hlášení 2,3 a 6 viz Obr. 4.3.2-5). Problémy se týkaly kruhové interpolace a osy y, která se v tomto bodě pohybovala mimo nastavený maximální rozsah stroje. Kinematický model snadno odhalil odstranění desetinné čárky. Problém by mohl nastat u menších čísel. Chybu bychom nejspíše odhalili až při simulaci, případně při porovnání modelu s obrobkem. Obdobně jsem opravil všechny ostatní řádky, kde jsem smazal desetinné čárky.

Posledním varováním je hlášení o chybějícím nástroji číslo dvacet. Nad označeným řádkem je poznámka, o jaký nástroj se jedná. Správná fréza by měla být válcová o průměru 5 mm. Z knihovny nástrojů jsem vybral správnou frézu a pomocí rychlé editace změnil číslo použitého nástroje (Obr. 4.3.2-6 Nahrazení existujícím nástrojem).

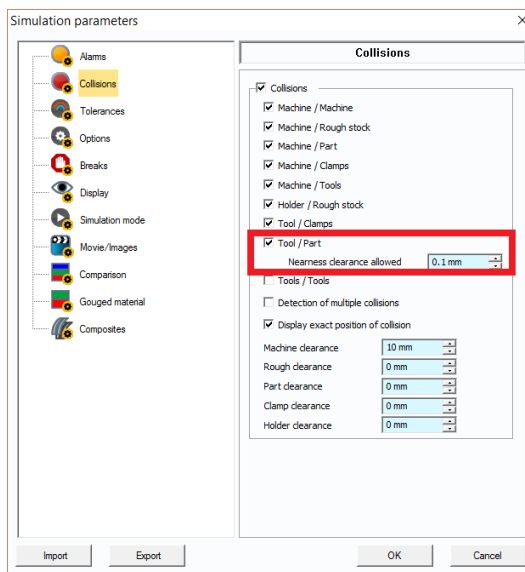


Obr. 4.3.2-6 Nahrazení existujícím nástrojem

Po použití existujícího nástroje a znovunačtení práce NC SIMUL nehlásil žádné další chyby dekódování NC programu, a proto jsem mohl přejít k simulaci obrábění. Začal jsem běžnou plynulou simulací bez zastavení. Ta sice proběhla bez problémů, ale nahanraný model na několika místech vyčníval z dokončeného obrobku. Byl jsem nucen v nastavení kolizních stavů použít funkci hlídání kolizí nástroje s modelem (Obr. 4.3.2-7 Nastavení kolizí nástroje s modelem). Použití této možnosti pro mě bylo novinkou, kterou jsem doposud neznal, a proto jsem při prvním nastavení použil nulovou toleranci vniknutí nástroje do modelu. NC SIMUL našel přibližně 500 kolizí nástroje s modelem. Pro

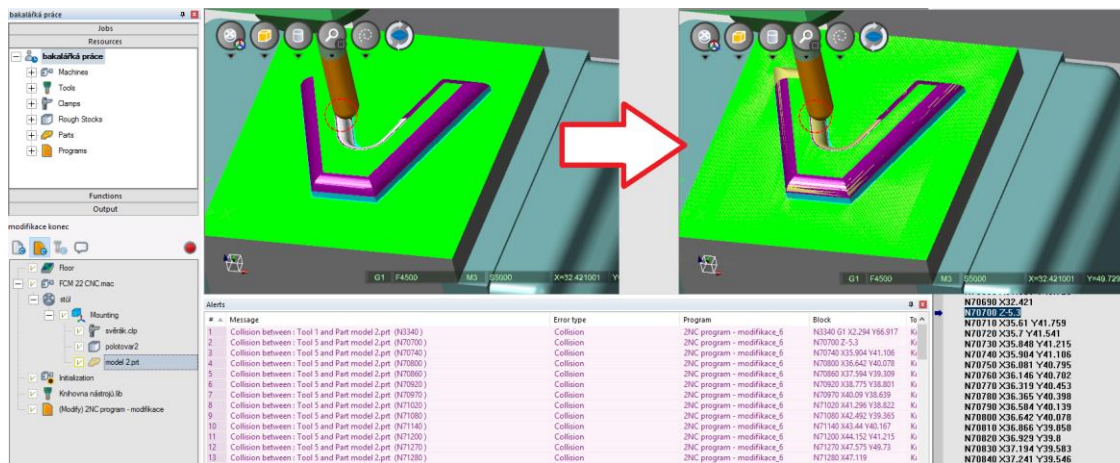


druhou simulaci jsem povolenu vzdálenost vniknutí nástroje do modelu stanovil na 0,1 mm a množství kolizí se výrazně zmenšilo.



Obr. 4.3.2-7 Nastavení kolizí nástroje s modelem

Vzhledem k velkému počtu kolizí pátého nástroje s modelem a také z vizuálního porovnání bylo zřejmé, že jsem pro poslední frézovací operaci použil větší frézu než při programování obrábění (Obr. 4.3.2-8 Odhalení špatné velikosti frézy pomocí "kolize" nástroje s modelem). Volbou správného nástroje jsem odstranil téměř všechny kolize.



Obr. 4.3.2-8 Odhalení špatné velikosti frézy pomocí "kolize" nástroje s modelem

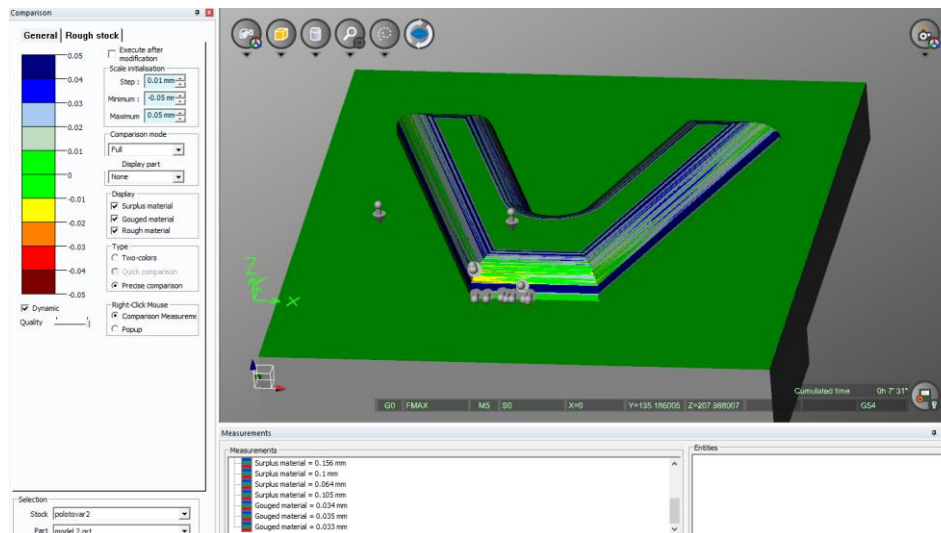
Zbývalo odstranění poslední kolize, způsobené úmyslným smazáním 10 řádků NC programu, které SW také odhalil. Pokud by chybějící část nijak neovlivňovala zbylý obráběcí proces, můžeme tuto ztrátu dat tolerovat. V mém případě byla však ztráta dat zásadní, protože při simulaci došlo k poškození finálního obrobku. Frézou byla

odstraněna levá horní část písmena „V“ (viz Obr. 4.3.2-8 Odhalení špatné velikosti frézy pomocí "kolize" nástroje s modelem). Nejvhodnějším způsobem opravy je sehnání ztracených dat. Předpokládal jsem, že takovou možnost nemám, a proto jsem se pokusil NC program opravit tak, aby nedošlo ke kolizi nástroje s modelem. Jednoduchými lineárními interpolacemi (Obr. 4.3.2-9 Napojení NC kódu) jsem navedl nástroj okolo obráběné součásti až do bodu N3340. Zde jsem se bezpečně napojil a pokračoval jsem podle nepoškozeného NC programu.

```
N3180 G1 X-.492 Y65.803  
N3190 G2 X10 Y81.3 R11.3  
N3200 G1 X25  
N3210 G2 X35.492 Y74.197 R11.:  
N3220 G1 X37.215 Y69.89  
N3230 G3 X42.785 Y69.89 R3  
  
N3233 G1 X25 Y81.3  
N3234 G1 X10 Y81.3  
N3235 G1 X-.492 Y70  
  
N3340 G1 X2.294 Y66.917  
N3350 G2 X10. Y78.3 R8.3  
N3360 G1 X25.
```

*Obr. 4.3.2-9 Napojení NC kódu*

Opravený a zpětnou simulací ověřený NC program jsem nakonec přečísloval a na jeho základě provedl porovnání dokončeného obrobku s modelem. Analýzou jsem zjistil, že výrobek je na 3D plochách spíše nedořezaný, pouze v rozích vystouplého modelu je mírně podřezaný. Podobné výsledky odhadoval i TopSolid (viz Příloha 2), avšak NC SIMUL nám na základě kinematiky stroje, řídicího systému a čtení NC programu poskytl detailnější informace. Také z hlediska času nám NC SIMUL poskytl přesnější výsledný čas obrábění, ten byl u SW TopSolid odhadnut na pouhých 5 minut a 19 vteřin, zatímco NC SIMUL stanovil přesněji čas obrábění na 7 minut a 31 vteřin.

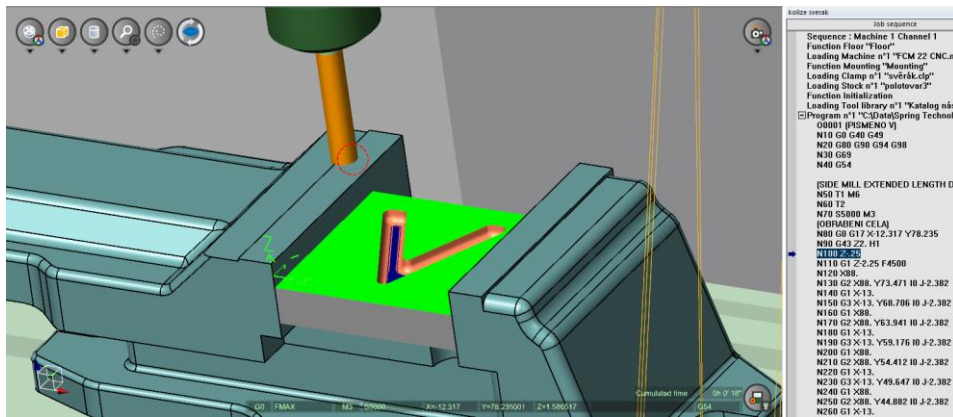


Obr. 4.3.2-10 Analýza a porovnání s modelem

### 4.3.3 Kolize nástroje se svěrákem

V této kapitole jsem ověřil pomocí dvou NC programů nastavenou ochranu svěráku na upnutí dílce. Mezi svěrákem a nástrojem by nemělo dojít ke kolizi, zároveň by NC SIMUL měl jakékoliv přiblížení ke svěráku menší než 2 mm ohlásit jako kolizi. Pro sestavení celé práce jsem vytvořil nový polotovár, který jsem ponořil 5 mm do svěráku, abych simuloval pochybení lidského faktoru. Vytvořil jsem nový nulový bod a přidal dva NC programy. Programy nebudou používat současně, ale budu mezi nimi přepínat, proto jsem program 3.2 označil jako neaktivní.

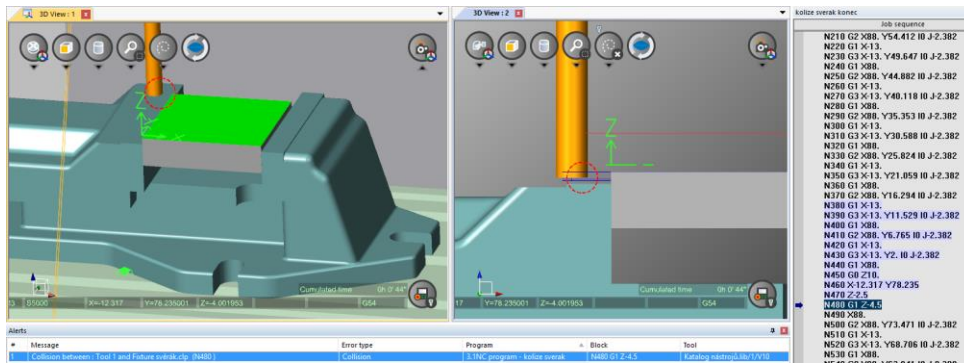
Spuštěním simulace se zastavením při kolizi jsem se dostal pouze na řádek N100, kde nástroj najel přímo shora do svěráku. Jelikož kolizí mezi nástrojem a svěrákem bylo velké množství, přepnul jsem simulaci bez zastavení a dokončil celý proces. NC SIMUL označil celkem 108 řádků, kde došlo ke kolizi mezi nástrojem a svěrákem (Obr. 4.3.3-1 Kolize nástroje se svěrákem).



Obr. 4.3.3-1 Kolize nástroje se svěrákem

V tomto případě je vidět, že se jedná o chybu nevhodného umístění polotovaru do svěráku. Upravovat NC program editací NC kódu by nebylo efektivní, a proto jsem polotovaz umístil vysunutím do vyšší pozice ve svěráku. Jelikož chci otestovat kolizní objekty svěráku, polotovaz vysunu o 11 mm tak, abych dokončoval horní plochu modelu 1 mm nad svěrákem.

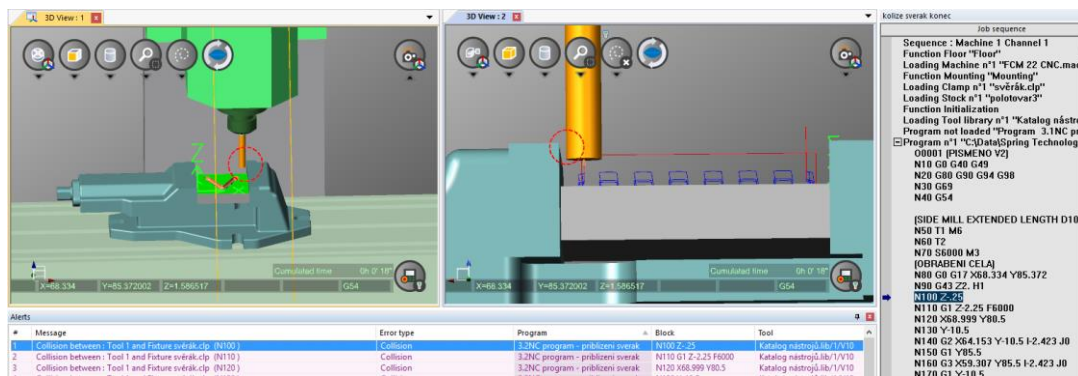
První simulací jsem neodhalil žádné chyby, přestože se fréza pohybovala ve vzdálenosti 1 mm od svěráku, proto jsem se zaměřil znovu na kontrolu všech nastavení kolizí. V nastavení kolizí jsem zapomněl použít maximální dovolené přiblížení k upínkám, které bylo doposud nulové. Po nastavení hodnoty přiblížení 2 mm a novém načtení práce vše začalo pracovat správně a systém odhalil všechny kolize nástroje a svěráku. Ke kolizi ve skutečnosti nedošlo, protože na obrázku je vidět, že mezi frézou a čelistí je mezera. Systém mi tak ohlásil, že jsem se dostal do nastavené nebezpečné blízkosti svěráku. V situaci, kdy systém ohlásí kolizi, ke které ve skutečnosti nedojde, je nejvhodnějším řešením toto nebezpečné přiblížení eliminovat. Pokud však nemáme jinou možnost a mezi nástrojem a upínky je alespoň přijatelná vzdálenost, je také možné tuto chybu ignorovat, protože k samotné kolizi vlastně ani nedošlo.



Obr. 4.3.3-2 Pohyb nástroje nad svěrákem jako kolize

Nejvhodnějším řešením je zamezit jakémukoliv riziku, proto jsem proces optimalizoval vysunutím polotovaru o dalších 9 mm. Nástroj se tak bude pohybovat v bezpečné vzdálenosti minimálně 10 mm nad svěrákem. Po simulaci NC SIMUL nenašel žádné další kolize ani jiné problémy.

Použitím druhého NC programu, kde jsem při programování partprogramu zavedl svěrák jako upínku a upravil tak frézovací dráhy, mě NC SIMUL upozornil také na kolize mezi nástrojem a svěrákem. Situace je podobná jako u předešlého NC programu. Ke kolizi ve skutečnosti nedošlo, avšak v tomto případě nástroj bokem přímo kopíruje plochu čelisti, a proto bych toto přiblížení uvnitř čelistí netoleroval. Postupoval bych stejně vysunutím části polotovaru nad svěrák.



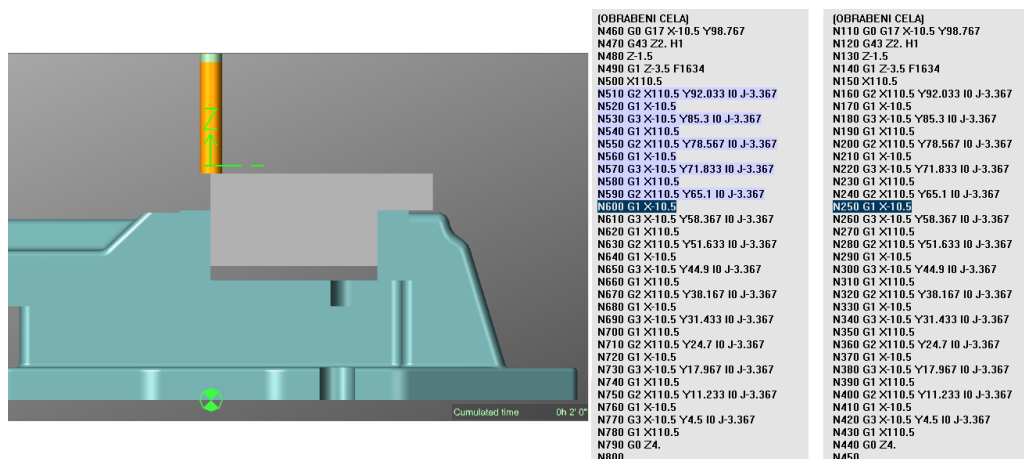
Obr. 4.3.3-3 Nebezpečná trajektorie frézy mezi čelistmi svěráku

#### 4.3.4 Eliminace obrábění „vzduchu“

K obrábění „vzduchu“ jsem se dostal náhodně při druhém pokusu programování prvního modelu. Tato chyba se stala náhodně a nepodařilo se mi ji poté záměrně znovu vytvořit, proto jsem vycházel z prvního modelu (viz Příloha 1). Při operaci hrubování a dokončování na čisto horní stěny písmena „Č“ jsem si již v SW TopSolid všiml, že fréza

odebírání dvakrát stejnou třiskou. Podruhé tedy fréza neodebírání materiál a obrábí zbytečně naprázdno.

NC SIMUL po simulaci nedokázal obrábění „vzduchu“ sám identifikovat a neupozornil na tento problém. Obrábění „vzduchu“ si lze všimnout při simulaci v reálném čase. Řádky N110 až N450 jsou naprosto totožné jako řádky N460 až N800. Stejný problém se také vyskytl u řádků N810 až N1540, které jsou identické s řádky N1550 až N2280. Problém jsem vyřešil editací NC programu, kde jsem smazal opakující se řádky. Poté jsem provedl přečíslování řádků a program uložil.



Obr. 4.3.4-1 Opakující se NC program

Druhou možností odhalení obrábění naprázdno je kontrola úběru materiálu pomocí optimalizace, kterou jsem spustil ze záložky *home*<sup>7</sup>. NC SIMUL během chvilky vypočítal zadané parametry celého procesu obrábění a zaznamenal je v grafech. Zaměřil jsem se především na graf úběru materiálu („Chips flow“). Graf se chová stejně jako systémové hlášení a pohybem na časové ose vždy označí daný řádek v NC programu. Poté jednoduše určíme, při kterých operacích nedochází k úběru materiálu a NC kód jednoduše editujeme. Velký rozdíl mezi původním a upraveným NC programem je vidět v grafech (Obr. 4.3.4-2 Grafy úběru materiálu pro T50) úběru materiálu. Výsledný čas obrábění byl touto úpravou zkrácen z původních 7 minut 38 sekund na konečných 5 minut 22 sekund.

<sup>7</sup> „Domů“



Obr. 4.3.4-2 Grafy úběru materiálu pro T50

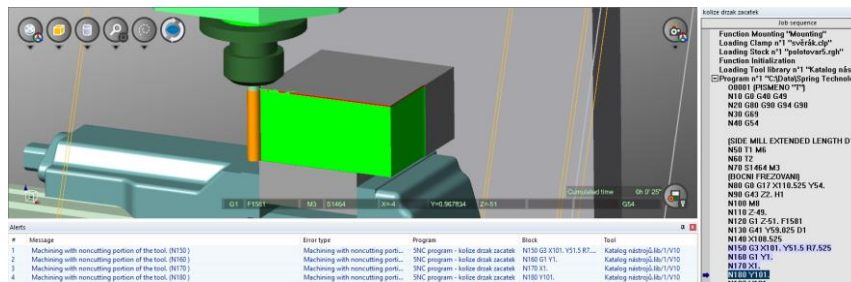
### 4.3.5 Kolize držáku

Pro odhalení kolizí držáku a obrábění neřeznou částí jsem vytvořil model s hlubokou kapsou ve tvaru písmena „T“ (viz Příloha 4). Při programování jsem záměrně vytvořil kolizi držáku s polotovarem, obráběl jsem neřeznou částí válcové frézy T50 a překročil jsem optimální nastavení rampování u stejné frézy.

Začal jsem tvorbou nového polotovaru a nové knihovny nástrojů, kterou budu v této kapitole upravovat. Poučil jsem se z minulých prací, kde jsem předchozí práci po uložení pouze zkopíroval a editoval. Znovunačtením již dokončených prací jsem zjistil, že použité knihovny a polotovary, které jsem upravoval, se přepsaly ve všech uložených pracích. Tím jsem si přidělal mnoho práce, protože jsem všechny dosavadní práce měl uložené ve finálním stavu s posledním použitým polotovarem. Pokud je tedy potřeba zachovat práci ve stavu před a po dokončení úprav, doporučoval bych celý projekt nejprve zkopírovat a poté nahradit všechny měněné části práce (NC programy, knihovny nástrojů) jejich kopiemi. Ty pak můžeme editovat a neovlivníme předchozí práce.

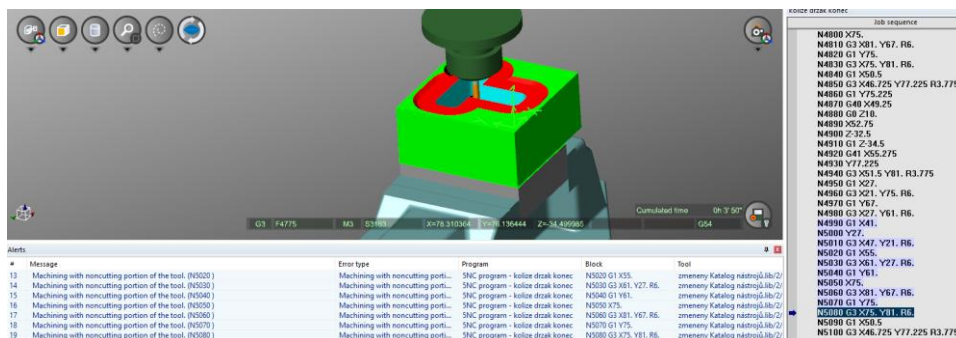
Simulací jsem snadno odhalil obrábění neřeznou částí nástroje. Takto odebraný materiál SW NCSIMUL označil červenou barvou jako kolizi a varoval před obráběním neřeznou částí nástroje. Možností eliminace této chyby je více, například použití jiného nástroje. Jelikož jsem měl omezené možnosti volby nástroje, zvolil jsem změnu pořadí operací. Obrábění vrchní stěny jsem přesunul na první místo a obrábění boků jsem rozdělil na dvě třísky (Obr. 4.3.5-1 Obrábění neřeznou částí frézy T50). Tím jsem

jednoznačně eliminoval obrábění neřeznou částí válcové frézy T50. Veškeré úpravy NC kódu jsem prováděl přímo editací v SW NC SIMUL.

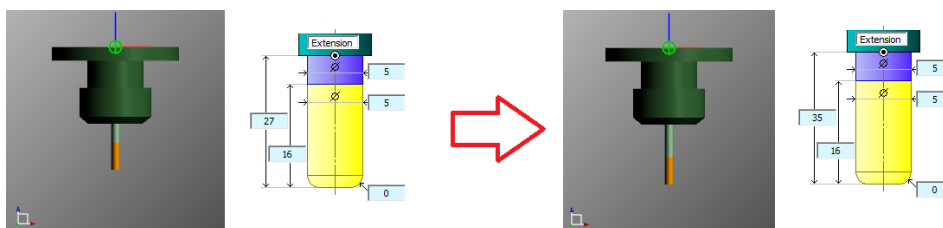


Obr. 4.3.5-1 Obrábění neřeznou částí frézy T50

Dalším problémem, se kterým jsem se při simulaci setkal, bylo obrábění držákem nástroje na řádku N4900. Držák postupně do polotovaru vyfrézoval celou kapsu (Obr. 4.3.5-2 Frézování držákem nástroje). Problém byl způsoben větším vyložení nástroje při programování. Zvolil jsem úpravu vyložení nástroje (Obr. 4.3.5-3 Změna vyložení nástroje), která se mi zdála jako nejvhodnější alternativou, pokud použité vyložení není maximální možné. V tomto případě bych vytvořil nový NC program s jinou větší frézou.



Obr. 4.3.5-2 Frézování držákem nástroje



Obr. 4.3.5-3 Změna vyložení nástroje

NC SIMUL neodhalil žádné další kolize a nenahlásil nevhodné rampování. V nastavení nástroje jsem nikde neobjevil možnost hlášení špatného rampování jako problému. Jedinou nalezenou možností je upozornění při optimalizaci. Přešel jsem tedy do záložky optimalizace, kde se zaměřím na varovná hlášení nevhodné optimalizace.



V optimalizačních hlášeních mě NC SIMUL kromě překročení úhlu rampování upozornil na časté odebrání větší šířky třísky. Při hrubování kapsy fréza často odebrá materiál celou svou šířkou.

```
N1260 Tool n°1, overstepping of the limiting value : angle ramping >= 3 ° -> 10.023 °
N1260 Tool n°1, overstepping of the limiting value : Ae >= 5 mm -> 9.963 mm
N1260 Tool n°1, overstepping of the limiting value : angle ramping >= 3 ° -> 10.023 °
N1260 Tool n°1, overstepping of the limiting value : Ae >= 5 mm -> 9.963 mm
N1260 Tool n°1, overstepping of the limiting value : angle ramping >= 3 ° -> 10.023 °
N1260 Tool n°1, overstepping of the limiting value : Ae >= 5 mm -> 9.963 mm
N1260 Tool n°1, overstepping of the limiting value : angle ramping >= 3 ° -> 10.023 °
N1260 Tool n°1, overstepping of the limiting value : Ae >= 5 mm -> 9.963 mm
N1260 Tool n°1, overstepping of the limiting value : angle ramping >= 3 ° -> 10.023 °
N1260 Tool n°1, overstepping of the limiting value : Ae >= 5 mm -> 9.952 mm
N1260 Tool n°1, overstepping of the limiting value : angle ramping >= 3 ° -> 10.03 °
N1260 Tool n°1, overstepping of the limiting value : Ae >= 5 mm -> 9.952 mm
N1260 Tool n°1, overstepping of the limiting value : angle ramping >= 3 ° -> 10.03 °
N1260 Tool n°1, overstepping of the limiting value : Ae >= 5 mm -> 9.952 mm
N1260 Tool n°1, overstepping of the limiting value : angle ramping >= 3 ° -> 10.03 °
```

```
N2880 Tool n°1, overstepping of the limiting value : Ae >= 5 mm -> 10 mm
N2880 Tool n°1, overstepping of the limiting value : Ae >= 5 mm -> 10 mm
N2880 Tool n°1, overstepping of the limiting value : Ae >= 5 mm -> 10 mm
N2880 Tool n°1, overstepping of the limiting value : Ae >= 5 mm -> 10 mm
N2880 Tool n°1, overstepping of the limiting value : Ae >= 5 mm -> 10 mm
N2880 Tool n°1, overstepping of the limiting value : Ae >= 5 mm -> 10 mm
N2880 Tool n°1, overstepping of the limiting value : Ae >= 5 mm -> 10 mm
N2890 Tool n°1, overstepping of the limiting value : Ae >= 5 mm -> 10 mm
N2890 Tool n°1, overstepping of the limiting value : Ae >= 5 mm -> 8.452 mm
N2910 Tool n°1, overstepping of the limiting value : Ae >= 5 mm -> 5.465 mm
N2910 Tool n°1, overstepping of the limiting value : Ae >= 5 mm -> 5.465 mm
N2910 Tool n°1, overstepping of the limiting value : Ae >= 5 mm -> 5.465 mm
N2910 Tool n°1, overstepping of the limiting value : Ae >= 5 mm -> 5.465 mm
N2910 Tool n°1, overstepping of the limiting value : Ae >= 5 mm -> 5.465 mm
N2910 Tool n°1, overstepping of the limiting value : Ae >= 5 mm -> 5.465 mm
N2910 Tool n°1, overstepping of the limiting value : Ae >= 5 mm -> 5.465 mm
```

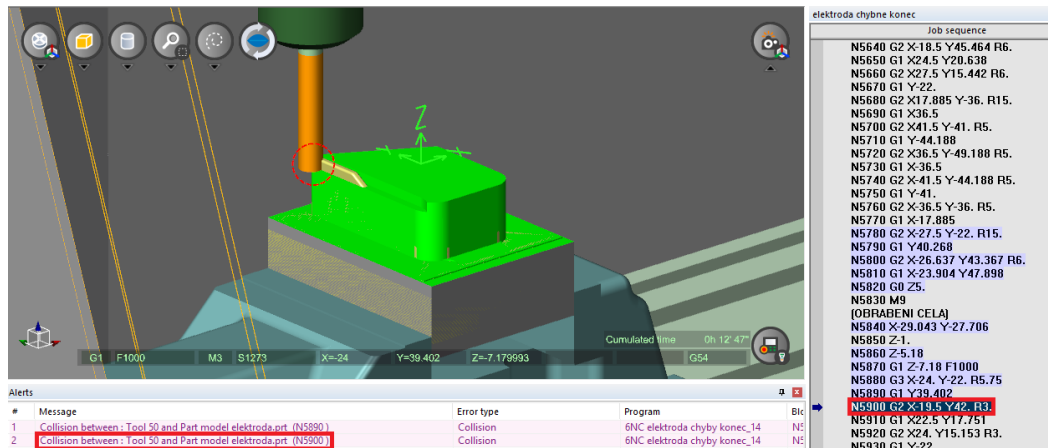
Obr. 4.3.5-4 Optimalizační varovné hlášení

### 4.3.6 Testování partprogramu – chybový projekt

Chybový problém jsem vytvořil editací správného partprogramu pro finální model. Postupně jsem již v SW TopSolid při programování vytvořil několik úmyslných chyb (viz Příloha 5), které jsem se pokusil opravit v SW NC SIMUL.

Po sestavení kompletní práce s chybným NC programem jsem si jako první všiml, že mě NC SIMUL upozornil na použití os A a B u všech operací, přestože jsem je vůbec nevyužil a jejich hodnoty byly nulové. Systém také odhalil překročení maximální rychlosti posuvu a pohyb mimo rozsah stroje v ose z, který byl způsobený přepsáním hodnoty bezpečného přejezdu nad dílcem. Se všemi zmíněnými problémy jsem se již setkal v kapitolách 4.3.1 a 4.3.2, a proto jejich odstranění nebudu podrobně popisovat. Všechny zmínky o osách A a B jsem odstranil, upravil nevhodné řezné podmínky a hodnotu bezpečného přejezdu snížil z 1000 mm na 5 mm nad polotovarem.

Pokračoval jsem zrychlenou simulací bez zastavení. Během simulace došlo k velkému množství různých kolizí, ale také k obrábění mimo polotovar způsobené nevhodným počátkem. Začal jsem vytvořením nového počátku uprostřed polotovaru. Ten jsem vytvořil jednoduchým zadáním hodnot jeho polohy. Použitím nového počátku vzniklo ještě daleko více kolizí, protože se nástroje nepohybovaly mimo polotovar. Nástroje se pohybovaly uvnitř polotovaru a kolidovaly především s modelem součástí.

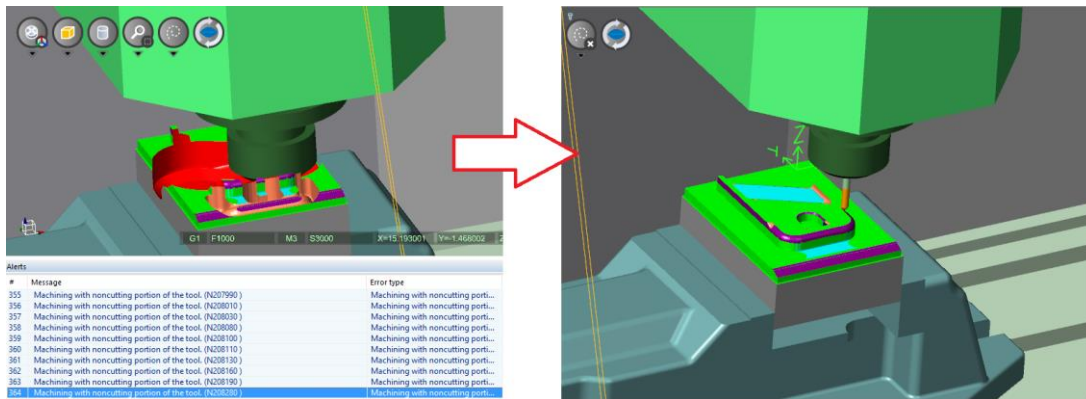


Obr. 4.3.6-1 Kolize s modelem součásti

Všechny odhalené kolize válcové frézy T50 (T50) s modelem jsou způsobené nevhodným programováním. Oprava by vyžadovala příliš velký zásah do NC programu, nebo nejlépe úpravu původního partprogramu a tvorbu nového NC kódu. Abych práci dokončil, rozhodl jsem se vypnout kolize s modelem dílce a zaměřit se pouze na kolize s ostatními prvky. Model a výsledný obrobek si tedy v tomto případě nebudou vůbec podobné.

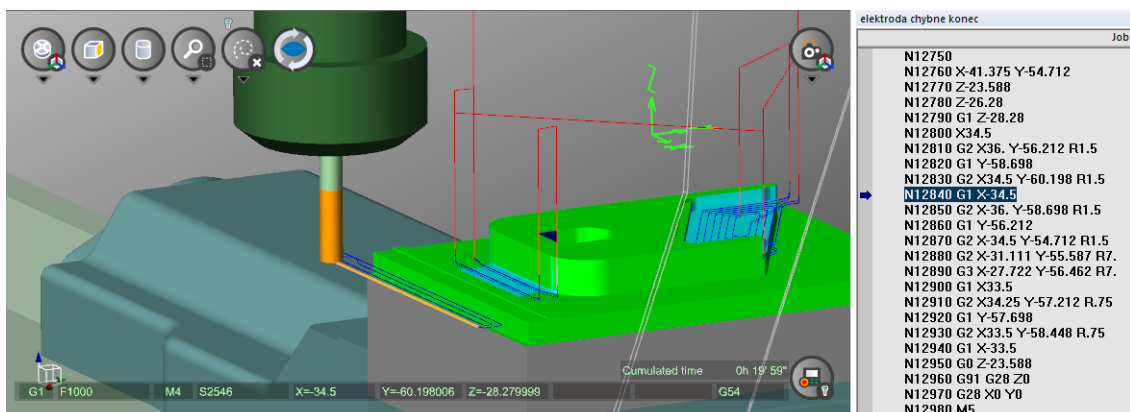
Vypnutím kolizí s výsledným modelem jsem eliminoval většinu chyb. Zbylé kolize byly způsobené obráběním pomocí držáku nástroje, který byl ponořen do polotovaru (viz vlevo Obr. 4.3.6-2 Odstranění víceosého zbytkového obrábění). Opravovat NC program nemělo smysl, protože se všechny kolize vyskytovaly pouze u poslední operace, která se neobejde bez otočného stolu. Použitím jiného souřadného systému a následným odstraněním natočení v NC programu se operace stala sice použitelnou, ale naprosto nesmyslnou. Rozhodl jsem se tuto operaci jednoduše smazat a tím odstranit zbytek kolizí.

Částečnou úpravou NC programu jsem po simulaci získal model (Obr. 4.3.6-2 Odstranění víceosého zbytkového obrábění), který je alespoň trochu podobný původní elektrodě. Nový dílec neobsahuje bočnice, které jsem vyfrézoval válcovou frézou T50 při zanedbání výsledného tvaru kapsy v partprogramu (viz Příloha 5).



Obr. 4.3.6-2 Odstranění víceosého zbytkového obrábění

Při závěrečné simulaci v reálném čase jsem si všiml, že válcová fréza T45 se při jedné operaci pohybuje mimo polotovar (Obr. 4.3.6-3 Ukázka trajektorií nástroje mimo polotovar). Tento problém byl způsoben druhou operací s použitím otočného stolu, na kterou jsem úplně zapomněl. Na rozdíl od víceosého zbytkového obrábění byly dráhy nástroje mimo polotovar a nedošlo k dalším kolizím. Absence operace neměla velký vliv na finální vzhled dílce, protože plocha byla poté obrobena ještě kulovou frézou T60. Nejspíše proto jsem si tohoto problému nevšiml a zaznamenal ho až při finální simulaci. Část NC programu, která obsahovala operaci obrábění mimo polotovar jsem smazal a práci uložil. S použitím SW NC SIMUL jsem tak odhalil všechny zásahy programátora do partprogramu v systému CAM.

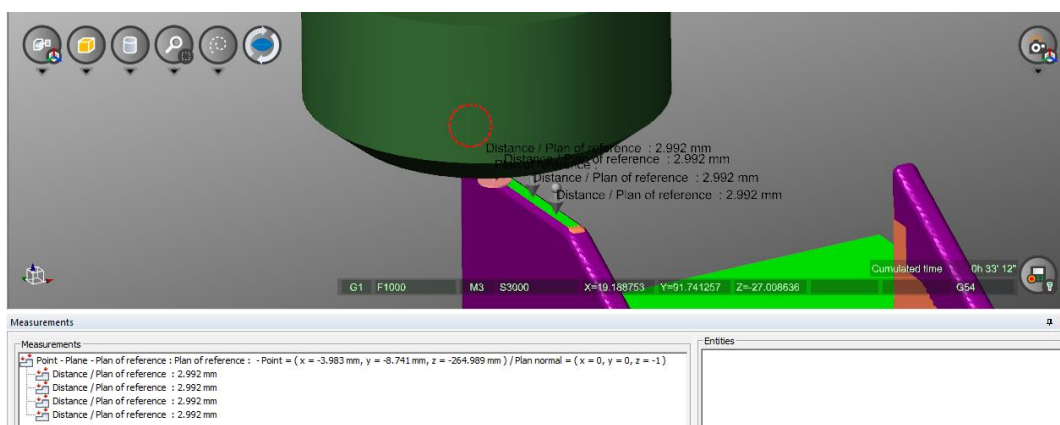


Obr. 4.3.6-3 Ukázka trajektorií nástroje mimo polotovar

### 4.3.7 Testování finálního partprogramu

Závěrečnou verifikaci jsem znovu provedl pro model vymyšlené elektrody, tentokrát jsem navržený partprogram několikrát zkontroloval a výsledný NC program by měl být bezchybný. Zde jsem se setkal s drobnou závadou práce v SW NC SIMUL s více

NC programy. Systém po editaci jednoho NC kódu nedokázal po uložení znovu načíst ostatní NC programy. Všechny NC programy jsem musel postupně smazat a importovat znovu. Fungovala také možnost deaktivace a nová aktivace NC programů ve správném pořadí. Systém neodhalil žádné další problémy při načítání NC kódů, a proto jsem přešel k simulaci. První simulace proběhla naprosto bez problémů, avšak při nastavení větší bezpečné vzdálenosti držáku od nástroje na 5 mm jsem se setkal s „kolizí“. Ke kolizi ve skutečnosti nedošlo a pomocí analýzy v SW NC SIMUL jsem určil vzdálenost držáku a modelu jako nejmenší vzdálenost mezi referenční rovinou a body. (Obr. 4.3.7-1 Nejmenší vzdálenost držáku od modelu).

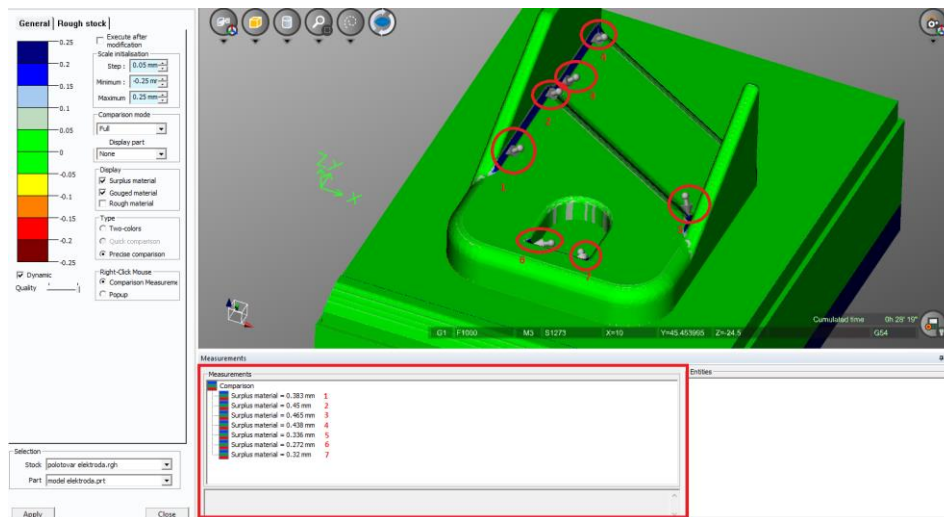


Obr. 4.3.7-1 Nejmenší vzdálenost držáku od modelu

Dodržením správného vyložení nedojde k žádnému problému, avšak pro zajištění větší bezpečnosti bych doporučoval větší vyložení nástroje. Pro obráběný materiál polystyren nebo aranžovací hmotu jsem zanechal původní vyložení, abych toto přiblížení reálně ověřil na školní frézce. Případná kolize držáku s aranžovací hmotou by neměla být žádný problém.

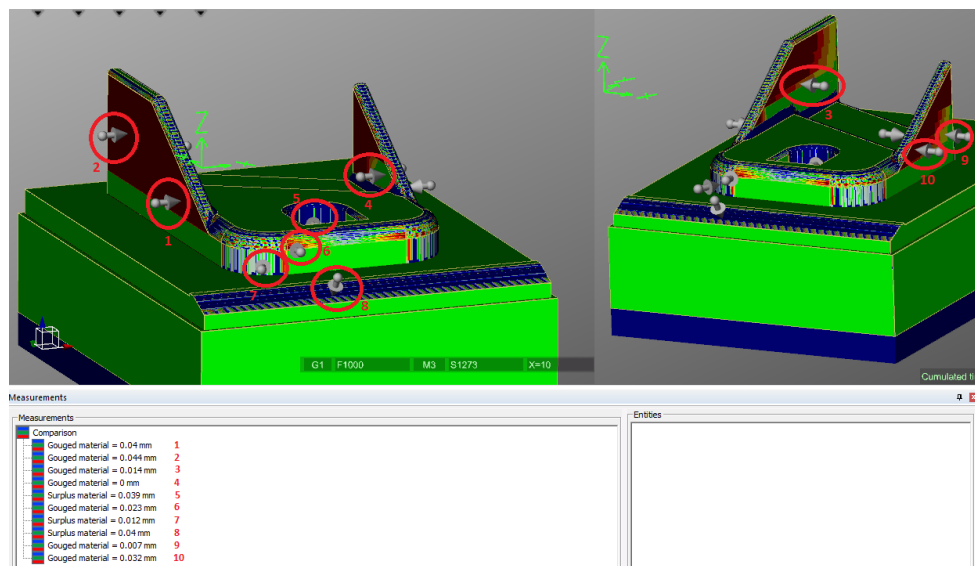
Použitím simulace v SW NC SIMUL jsem nenašel žádné další chyby, a proto jsem se přesunul do záložky *Analysis*<sup>8</sup>. Obrobený dílec jsem několikrát porovnal s původním modelem s různým stupněm porovnání. Nejdříve jsem začal s hrubým porovnáním, kde jsem nastavil krok na 5 setin milimetru. Dílec vypadal dobře obrobený, velký přídavek materiálu zůstal pouze na vnitřních zaobleních a v rozích kapsy, kam se žádná z dostupných fréz nedostala. Řešením je použití větších rádiusů na modelu nebo zajištění menších fréz. NC SIMUL odhalil také přídavek na spodní straně polotovaru, protože jsem použil větší polotovar. Největší náhodně naměřená kladná odchylka byla 0,465 mm.

<sup>8</sup> Analýza



Obr. 4.3.7-2 Hrubé porovnání s modelem

Důkladnější analýzou s krokem 5 tisícín milimetru jsem odhalil další různé nedokonalosti povrchu. Dílec je z velké části nedořezaný, ale má také určité plochy podřezané. Materiál, který je navíc, NC SIMUL označuje modrou barvou, zatímco podřezané plochy červenou. Zelenou barvou jsou označeny ideální plochy, které se vešly do stanovené tolerance (krok při porovnání). Pomocí odměření jsem naměřil různé nedokonalosti na povrchu dílce (viz Obr. 4.3.7-3).



Obr. 4.3.7-3 Důkladnější porovnání finálního dílce s modelem

Provedl jsem verifikaci a simulaci na finálním modelu elektrody. Celý proces proběhl úspěšně bez větších komplikací, a proto jsem práci uložil.

## 5 Realizace obrábění na skutečném stroji

Abych ověřil, zda vytvořený virtuální kinematický model stroje pracuje stejně jako reálný stroj FCM 22 CNC, provedl jsem realizaci obráběcího procesu na skutečném stroji. Pro obráběcí proces jsem zvolil finální partprogram modelu elektrody, který jsem připravil s vhodnými řeznými podmínkami pro obrábění aranžovací hmoty. Pomocí fotoaparátu jsem postupně zdokumentoval stroj v různých polohách při obrábění a porovnal jsem je s virtuálním strojem. Rovněž jsem naměřil čas obrábění jednotlivých nástrojů, který jsem porovnal s vypočteným časem v SW NC SIMUL.

Před spuštěním vygenerovaných programů na stroji jsem provedl ověření v programu Mikroprog určenému k frézování. Ačkoliv jsou si řídicí systémy Mikroprog a Fanuc velmi podobné, v mnoha interpretacích NC programu se odlišují. Jelikož jsem pro převod CL dat na NC kód použil postprocesor Fanuc, setkal jsem se zde s řadou problémů. V programu Mikroprog jsem spuštěním simulace našel a označil bloky programu, které byly potřeba opravit. Společně s vedoucím mé práce jsme se rozhodli neupravovat jednotlivé NC programy, ale upravili jsme použitý postprocesor Fanuc tak, aby vygenerovaný program fungoval správně v řídicím systému Mikroprog.

Začali jsme opravou „hlavičky“ NC programu. Prvním problémem bylo použití znaku „%“, který Fanuc používá pro označení začátku a konce programu. Naopak Mikroprog tento symbol nepoužívá, a proto jsme ho na začátku programu nahradili poznámkou za středníkem a na konci funkcí M30. Středník v Mikroprog značí poznámku, kterou řídicí systém nečte. Rovněž jsme v části postprocesoru *program begin/end*<sup>9</sup> eliminovali použitím funkcí G49, G80, G90, G94, G98 a G69, protože je Mikroprog nezná nebo pro ně používá jinou interpretaci. Dále jsme upravili vložením středníku před každou poznámku v programu. Pokračovali jsme v části postprocesoru *tool begin/end*<sup>10</sup>, kde bylo nutné upravit pořadí příkazů. Zatímco Fanuc nejprve používá číslo nástroje v zásobníku (případně na dalším řádku otáčky) a teprve poté funkci pro výměnu nástroje M6 (u otáček M3/M4 pro start vřetene), Mikroprog využívá obrácené pořadí. Odstranili jsme neznámý příkaz, který nejspíše sloužil pro označení následujícího nástroje, protože Mikroprog tento příkaz nepoužívá. Také jsme určili maximální hodnotu poloměru křivky a maximální otáčky pro stroj FCM 22 CNC. Vypnuli jsme funkci

---

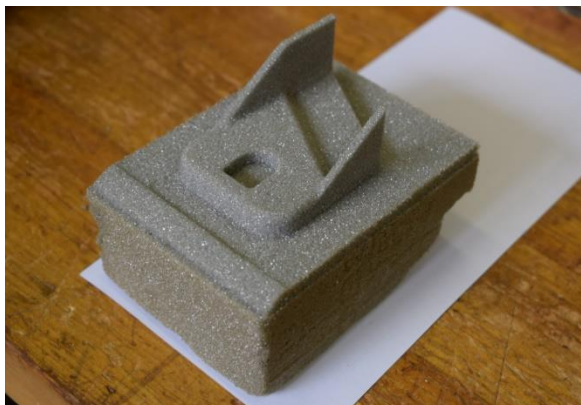
<sup>9</sup> Začátek/konec programu

<sup>10</sup> Začátek/konec nástroj

*feedrate mode*<sup>11</sup>, která určuje způsob zápisu posuvu. Mikroprog tuto funkci nezná a posuv je povinně v mm/min. Upravili jsme použití funkcí G40 a G41, které slouží k vypnutí a zapnutí korekcí na nástroj. „Natvrdo“ jsme zapsali použití pomocné funkce G90 (absolutní rozměry) pro najetí do „domovské“ pozice o absolutní rozměry. Poslední změnou byla úprava interpolačních parametrů. Použili jsme absolutní programování tak, aby parametry udávaly polohu středu od počátku souřadného systému.

Po dokončení úprav jsem provedl simulaci v Mikroprog a následně i v řídicím systému stroje. Obě simulace vypadaly správně, a proto jsem mohl přejít k obrábění na stroji. Všechny použité, ale i původní nevhodné NC programy pro použití na stroji jsem vložil do Přílohy 8.

První obrábění bylo spíše testovací, a proto jsem začal obráběním šedé aranžovací hmoty. V průběhu jsem si všiml, že řídicí systém má vypnutý režim kontinuálního načítání bloků. Doba načítání bloků se tak započítala do výsledného času obrábění, který byl výrazně vyšší než čas vypočítaný SW NC SIMUL, kde jsem nastavil nulový čas načítání bloků. Zároveň jsem si všiml, že plocha dokončená frézou T45 byla mírně podřezaná, a proto jsem provedl novou korekci nástrojů. Na výsledném modelu nebyly vidět detaily, proto jsem pro další obrábění zvolil zelenou aranžovací hmotu, která je výrazně jemnější.



*Obr. 5-1 Obrobený model elektrody-první pokus*

Při obrábění zelené aranžovací hmoty jsem aktivoval režim kontinuálního načítání bloků a zaznamenal výsledné časy obrábění. Doba obrábění jednotlivými nástroji se díky kontinuálnímu načítání výrazně zkrátila, například doba obrábění frézou T54 se zkrátila z původních 9 minut 26 sekund na 6 minut 14 sekund a pro nástroj T45 z 1 minuty 53

---

<sup>11</sup> Režim zápisu posuvu

sekund na 1 minutu 41 sekund. Nicméně výsledný čas se nepodobal času vypočtenému SW NC SIMUL. Všechny časy jsem zaznamenal do tabulky na Obr. 5-2 Tabulka s naměřenými a vypočítanými časy a vypočetl jsem procentuální rozdíl mezi skutečnou a virtuální dobou obrábění.

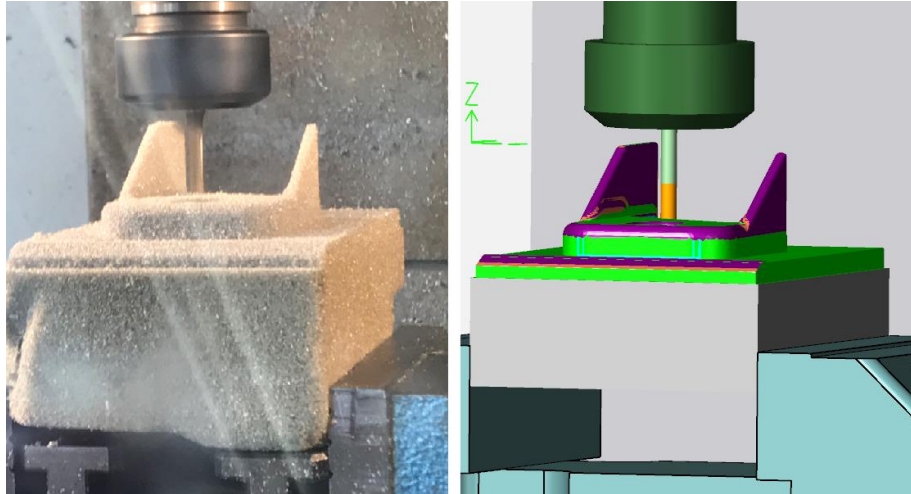
nástroj	skutečná doba obrábění [hod:min:sek]	doba obrábění NC SIMUL [hod:min:sek]	Rozdíl skutečného času od času v SW NC SIMUL [%]
výměna nástroje	0:00:15	0:00:15	0.00
T50	0:22:12	0:17:43	25.31
výměna nástroje	0:00:15	0:00:15	0.00
T45	0:01:41	0:01:20	26.25
výměna nástroje	0:00:15	0:00:15	0.00
T43	0:00:38	0:00:26	46.15
výměna nástroje	0:00:15	0:00:15	0.00
T60	0:13:04	0:10:36	23.27
výměna nástroje	0:00:15	0:00:15	0.00
T54	0:06:14	0:04:20	43.85
celkový čas obrábění	0:44:54	0:35:40	25.89

Obr. 5-2 Tabulka s naměřenými a vypočítanými časy

Přestože jsem aktivoval režim kontinuálního načítání bloků, řídicí systém ve skutečnosti vždy načel pouze několik bloků programu. Program tedy neběžel zcela plynule a náhodně se zastavoval, kvůli načítání souvislých bloků. Přesnou délku „zastavení“ nešlo definovat a počet načtených bloků se zřejmě odvíjel podle složitosti programu. Provedl jsem náhodný pokus a natočil jsem načítání bloků programu pro válcovou frézu T50. Ze zpomaleného záběru jsem zjistil, že mezi bloky 243 až 443 došlo přesně k 50 „zastavením“. To by znamenalo, že řídicí systém průměrně načítal jen po 4 blocích.

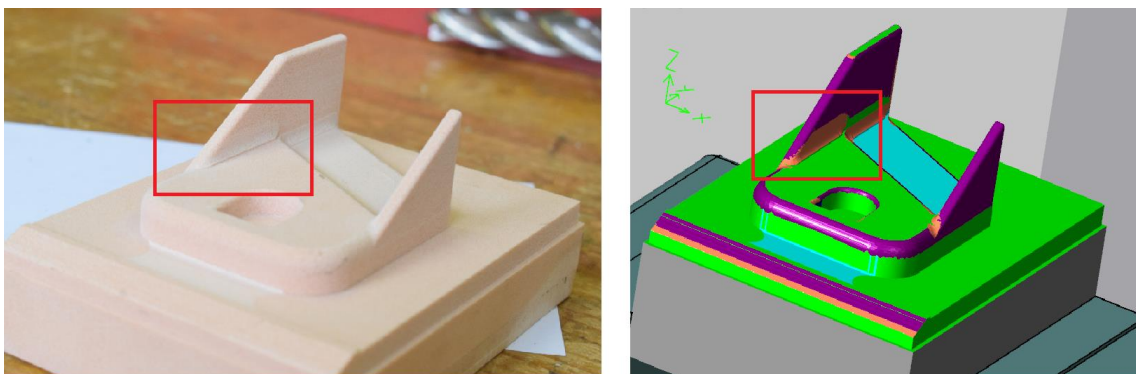
Během obrábění jsem také sledoval stroj v určitých pozicích, jestli se pohybuje stejně jako kinematický model. Fotoaparátem jsem zdokumentoval skutečný stroj v různých polohách, ke kterým jsem doplnil obrázky ze SW NC SIMUL. Kromě jediného kritického místa (Obr. 5-3) v NC programu jsem zbylé srovnání vložil do přílohy 8.





*Obr. 5-3 Porovnání přiblížení držáku nástroje k dílci*

Přestože na dílci ze zelené aranžovací hmoty byly vidět téměř všechny details, rozhodl jsem se finální model vyrobít z umělého dřeva. Vygeneroval jsem nové NC programy, u kterých jsem zredukoval rychlost posuvu. Na ukázkovém modelu ze dřeva je krásně vidět nedokončený rádius na boku žebra, který byl pro dostupné frézy příliš malý.



*Obr. 5-4 Nedořezaný rádius na boku žebra*

Kinematický model fungoval správně, jak by měl. Ovšem výsledný čas obrábění byl průměrně větší o 25 % oproti vypočtenému času SW NC SIMUL. Odchylna vypočteného času by mohla být způsobena například odlišným řídicím systémem stroje, který se náhodně „zastavoval“ při načítání bloků. Přesto si nemyslím, že by odchylna byla způsobená pouze prodlevou způsobenou načítáním bloků, ale bude ovlivněna kombinací více faktorů.

## 6 Závěr

Cílem mé bakalářské práce bylo sestavení kinematického modelu frézky Slovtos FCM 22 CNC s využitím programu NC SIMUL MACHINE. Rovněž jsem měl ověřit funkčnost vytvořeného kinematického modelu.

Ve své práci jsem nejprve vysvětlil možnosti simulace a verifikace v moderních CAM SW. Navázal jsem popisem speciálního SW NC SIMUL, který se zabývá simulací, verifikací a optimalizací obráběcího procesu a rozšiřuje možnosti výrobní přípravy pro uživatele CAD/CAM systémů. V praktické části jsem rozebral postup sestavení kinematiky stroje pro školní frézku Slovtos FCM 22 CNC. Vytvořil jsem několik ukázkových partprogramů, pomocí kterých jsem otestoval funkčnost možností kinematického modelu. Virtuální kinematický model se mi povedlo nastavit správně, protože jsem během testování a verifikace navrženého řešení nenarazil na žádný závažný problém. Zároveň jsem s využitím NC SIMUL našel všechny záměrně vytvořené chyby v partprogramech.

Obrábění modelu finální elektrody jsem zrealizoval na skutečném stroji a oba obráběcí procesy mezi sebou porovnal. Zjistil jsem, že virtuální kinematický model stroje funguje stejně jako skutečný stroj. Ovšem čas obrábění jednotlivých nástrojů na reálném stroji byl ve skutečnosti vyšší v průměru až o 26 %. Jednou z příčin rozdílu doby obrábění mohl být odlišný řídicí systém. Zatímco Fanuc v SW NC SIMUL pracoval plynule, Mikroprog při kontinuálním načítání bloků občas „zastavoval“. V mé práci bohužel již nezbyl prostor pro zkoumání hlavních příčin výrazně delšího času obrábění.

Rád bych na tuto problematiku navázal ve své diplomové práci a vyzkoušel možnosti tohoto programu pro složitější víceosé obrábění. Zároveň bych se chtěl zaměřit na optimalizaci výpočtu času obrábění, abych našel veškeré příčiny výpočtu kratšího času obrábění.

## 7 Použitá literatura

- [1] *Technický týdeník: CAD/CAM ve výrobě* [online]. Praha, 2011 [cit. 2017-03-21].  
Dostupné z: [http://www.technickytydenik.cz/rubriky/serialy/cad-cam-ve-vyrobe/cad-cam-ve-vyrobe-9\\_8491.html](http://www.technickytydenik.cz/rubriky/serialy/cad-cam-ve-vyrobe/cad-cam-ve-vyrobe-9_8491.html)
- [2] *MM Průmyslové spektrum: Simulace reálného NC kódu pro obrábění* [online].  
2011, (7) [cit. 2017-03-21]. ISSN 1212-2572. Dostupné z:  
<http://www.mmspektrum.com/clanek/simulace-realneho-nc-kodu-pro-obrabeni.html>
- [3] *MM Průmyslové spektrum: Verifikace a optimalizace NC programů* [online]. 2003,  
(4) [cit. 2017-03-21]. ISSN 1212-2572. Dostupné z:  
<http://www.mmspektrum.com/clanek/verifikace-a-optimalizace-nc-programu.html>
- [4] HOMOLA, Jan. Simulace obrábění jako virtuální realita.: *Průmysl.cz* [online]. Nová  
Média, 2012 [cit. 2017-03-21]. Dostupné z: <http://www.prumysl.cz/simulace-obrabeni-jako-virtualni-realita/>
- [5] *SPRING Technologies: NCSimul* [online]. [2017] [cit. 2017-03-21]. Dostupné z:  
<https://www.ncsimul.com/>
- [6] *CAD: NCSIMUL - software nejen pro simulaci* [online]. [cit. 2017-03-21]. ISSN  
1802-6168. Dostupné z: <https://www.cad.cz/strojirenstvi/38-strojirenstvi/6775-ncsimul-software-nejen-pro-simulaci.html>
- [7] *CENTERSOFT s.r.o.: NCSIMUL* [online]. Praha, [2016] [cit. 2017-03-21].  
Dostupné z: <http://www.centersoft.estranky.cz/clanky/ncsimul.html>
- [8] *Mastercam CAD/CAM: Verification. Mastercam* [online]. c2016 [cit. 2017-03-21].  
Dostupné z: <http://www.mastercam.com/en-us/solutions/3rd-party-solutions/verification>
- [9] *EditNC: editor a verifikace NC programů. Technology-support* [online]. Praha,  
c2017 [cit. 2017-03-21]. Dostupné z: <http://www.t-support.cz/kat/editnc-editor-a-verifikace-nc-programu>
- [10] *EditNC. NFR partners* [online]. c2017 [cit. 2017-03-21]. Dostupné z:  
<http://www.nfrpartners.com/index.htm>

- [11] SPRING Technologies: why NCSimul over Vericut. *3 HTi* [PDF]. c2017 [cit. 2017-03-21]. Dostupné z: <http://3hti.com/wp-content/uploads/documents/why-ncsimul-over-vericut.pdf>
- [12] AXIOM TECH: Vericut [online]. [cit. 2017-03-21]. Dostupné z: <http://www.axiomtech.cz/24753-vericut>
- [13] CGTech: Vericut [online]. c2017 [cit. 2017-03-21]. Dostupné z: <http://www.cgtech.com/>
- [14] Majenta PLM: Siemens PLM Software and Technology [PDF]. c2017 [cit. 2017-03-21]. Dostupné z: <http://majentapl.com/wp-content/uploads/NX-CAM-High-Productivity-Part-Manufacturing.pdf>
- [15] NX: Siemens PLM Software [online]. c2017 [cit. 2017-03-21]. Dostupné z: [http://www.plm.automation.siemens.com/cz\\_cz/products/nx/](http://www.plm.automation.siemens.com/cz_cz/products/nx/)

## 7.1 Ostatní použitá literatura

- [16] VRABEC, Martin a Jan MÁDL. *NC programování v obrábění*. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2004. ISBN 80-01-03045-8.
- [17] SADÍLEK, Marek. *Počítačová podpora výroby*. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava, 2011. ISBN 978-80-248-2738-4.
- [18] BILÍK, Oldřich a Martin VRABEC. *Technologie obrábění s využitím CAD/CAM systémů*. Ostrava: VŠB-Technická univerzita, 2002. ISBN 80-248-0034-9.
- [19] KOTAS, Michal. *METODIKA SESTAVENÍ PARTPROGRAMU PRO 3D FRÉZOVÁNÍ V TECHNOLOGICKÉM CAMU*. Praha, 2012. Bakalářská práce. ČVUT, Fakulta strojní, Ústav technologie obrábění, projektování a metrologie. Vedoucí práce doc. Ing. Martin Vrabec CSc.

## 8 Seznam obrázků

Obr. 2.1-1 Rozdělení simulace obrábění [2].....	10
Obr. 2.2-1 Modulární systém NCSIMUL SOLUTIONS.....	12
Obr. 2.2.1-1 Simulace G kódu šestiosého robota KUKA KR 125 .....	13
Obr. 2.2.1-2 Stroj se třemi kanály řídicího systému .....	13
Obr. 2.2.1-3 Simulace dvou nástrojových hlav obráběcího centra Index G200.....	14
Obr. 2.2.2-1 Ze vstupních dat 4CAM okamžitě pomocí integrovaných postprocesorů generuje správné a odladěné G kódy pro různé stroje [5] .....	14
Obr. 2.2.2-2 Simulace výroby rámu na 3D kinematickém modelu stroje pomocí odladěného G kódu .....	15
Obr. 2.2.2-3 Kopírování NC kódu na více totožných součástí.....	15
Obr. 2.2.2-4 Ukázka výroby jedné součásti na dvou různých CNC strojích.....	16
Obr. 2.2.3-1 Fréza v knihovně nástrojů NCSIMUL TOOL [5].....	16
Obr. 2.2.4-1 Přehled používaných CNC strojů v NCSIMUL DNC [5].....	17
Obr. 2.2.5-1 Standardizovaná dokumentace NCSIMUL PUBLISHER [5] .....	18
Obr. 2.3.1-1 Ukázka 3D vizualizace v editNC [9].....	19
Obr. 2.3.2-1 Ukázka simulace v prostředí VERICUT v7.3 [12] .....	20
Obr. 2.3.3-1 Ukázka simulace řízené G kódem v NX [14] .....	21
Obr. 4.1-1 Chyba dekodování NC programu.....	23
Obr. 4.1-2 Opačná orientace souřadného systému .....	24
Obr. 4.1-3 Změna směru orientace v NCMOTION.....	25
Obr. 4.1-4 Přidání kolizního objektu pro odstranění varovného hlášení .....	25
Obr. 4.2.1-1 Okno pro vytvoření knihovny nástrojů .....	26
Obr. 4.2.1-2 Válcová fréza D10.....	27
Obr. 4.2.1-3 Model držáku nástroje.....	27
Obr. 4.2.1-4 Parametry nástroje.....	28
Obr. 4.2.1-5 Kompletní knihovna nástrojů .....	29
Obr. 4.2.2-1 Import modelu svěráku.....	30
Obr. 4.2.2-2 Kolizní objekty na svěráku.....	30
Obr. 4.2.3-1 Polotovár s původním a novým nulovým bodem.....	31
Obr. 4.2.5-1 Funkční uspořádání práce.....	33
Obr. 4.2.5-2 Použití inicializace .....	34
Obr. 4.3.1-1 Varovné hlášení překročení limitů .....	35

Obr. 4.3.1-2 Rychlá editace NC programu .....	36
Obr. 4.3.2-1 Editace řádku N1920 .....	37
Obr. 4.3.2-2 Ztráta dat v NC programu .....	37
Obr. 4.3.2-3 Úprava použitých nástrojů v NC programu .....	38
Obr. 4.3.2-4 Použití textu v NC programu .....	38
Obr. 4.3.2-5 Nalezené chyby v NC kódu.....	38
Obr. 4.3.2-6 Nahrazení existujícím nástrojem.....	39
Obr. 4.3.2-7 Nastavení kolizí nástroje s modelem.....	40
Obr. 4.3.2-8 Odhalení špatné velikosti frézy pomocí "kolize" nástroje s modelem.....	40
Obr. 4.3.2-9 Napojení NC kódu.....	41
Obr. 4.3.2-10 Analýza a porovnání s modelem .....	42
Obr. 4.3.3-1 Kolize nástroje se svěrákem.....	43
Obr. 4.3.3-2 Pohyb nástroje nad svěrákem jako kolize .....	44
Obr. 4.3.3-3 Nebezpečná trajektorie frézy mezi čelistmi svěráku.....	44
Obr. 4.3.4-1 Opakující se NC program.....	45
Obr. 4.3.4-2 Grafy úběru materiálu pro T50.....	46
Obr. 4.3.5-1 Obrábění neřeznou částí frézy T50 .....	47
Obr. 4.3.5-2 Frézování držákem nástroje .....	47
Obr. 4.3.5-3 Změna vyložení nástroje .....	47
Obr. 4.3.5-4 Optimalizační varovné hlášení .....	48
Obr. 4.3.6-1 Kolize s modelem součásti .....	49
Obr. 4.3.6-2 Odstranění víceosého zbytkového obrábění.....	50
Obr. 4.3.6-3 Ukázka trajektorií nástroje mimo polotovár.....	50
Obr. 4.3.7-1 Nejmenší vzdálenost držáku od modelu.....	51
Obr. 4.3.7-2 Hrubé porovnání s modelem .....	52
Obr. 4.3.7-3 Důkladnější porovnání finálního dílce s modelem.....	52
Obr. 5-1 Obrobený model elektrody-první pokus .....	54
Obr. 5-2 Tabulka s naměřenými a vypočítanými časy .....	55
Obr. 5-3 Porovnání přiblížení držáku nástroje k dílci .....	56
Obr. 5-4 Nedořezaný rádius na boku žebra .....	56

## 9 Seznam příloh

- Příloha 1: Tvorba partprogramu a NC programu pro model písmena „Č“
- Příloha 2: Tvorba partprogramu a NC programu pro model písmena „V“
- Příloha 3: Tvorba partprogramu a NC programu pro model kapsy písmena „V“
- Příloha 4: Tvorba partprogramu a NC programu pro model kapsy písmena „T“
- Příloha 5: Tvorba dvou partprogramů pro model elektrody určené k finální verifikaci a simulaci
- Příloha 6: Podrobný postup sestavení kinematického modelu stroje
- Příloha 7: Vytvořené 3D filmy testování partprogramů pro NC SIMUL PLAYER
- Příloha 8: NC programy použité na stroji