

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta strojní

Ústav technologie obrábění, projektování a metrologie

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Ověřování NC programů pro frézování ve FeatureCAM

Praha 2017

Matouš Tichý



ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE



Prohlášení

Prohlašuji, že jsem svou bakalářskou práci vypracoval samostatně a použil jsem pouze podklady (literaturu, projekty, SW, atd.) uvedené v příloženém seznamu.

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

V Praze dne 12. 1. 2017

.....

Podpis



Poděkování

Úvodem chci poděkovat vedoucímu bakalářské práce Ing. Janu Tomíčkoví, Ph.D. za poskytnuté rady a čas, který mi věnoval.



Anotace

Jméno autora:	Matouš Tichý
Název bakalářské práce:	Ověřování NC programů pro frézování ve FeatureCAM
Rozsah práce:	43 stran, 23 Obr., 3 přílohy
Akademický rok vyhotovení:	2016/2017
Ústav:	Ústav technologie obrábění, projektování a metrologie
Vedoucí bakalářské práce:	Ing. Jan Tomíček, Ph.D.
Zadavatel tématu:	ČVUT - FS
Využití:	Práce lze využít, jako návod při tvorbě virtuálního stroje ve FeatureCAMu a také při tvorbě partprogramu součásti.
Klíčová slova:	Postprocesor, FeatureCAM, Simulace, Virtuální stroj
Anotace:	Tato bakalářská práce se zabývá tvorbou postprocesoru a následnou kontrolou se simulací stroje. Práce obsahuje písemný návod k tvorbě postprogramu ve FeatureCAMu a postup pro vytvoření virtuálního stroje, pomocí importu digitálního modelu částí stroje s následným nastavení kinematických a polohových vazeb. Pro ověření funkce postprocesoru a modelu stroje práce obsahuje také kontrolní partprogram a NC kódy a také postup k jeho vytvoření.



Annotation

Author:	Matouš Tichý
Titul of bachelor thesis:	Milling NC program verification in FeatureCAM
Extent:	43 page, 23 fig.
Academic year:	2016/2017
Department:	Department of Machining, Process Planning and Metrology
Supervisor:	Ing. Jan Tomíček, Ph.D.
Submitter of the theme:	ČVUT - FS
Application:	This thesis can be used as a manual for making a virtual machine in FeatureCAM and also for making a component part programme.
Keyword:	Postprocessor, FeatureCAM, Simulation, Virtual Machine
Annotation:	This thesis deals with creation of the post processor and checking the machine simulation. Work includes written instructions for creating postprogramu in FeatureCAM and how to create a virtual machine by importing a digital model of machine parts with subsequent adjustment kinematic and positional relationships. The work also contains verification of the postprocessor and machine model function. In next part author included controlling partialprogramme as well as NC codes and steps for creating them.



Obsah

Přehled použitých zkratk a symbolů:	9
1 Úvod	10
2 CAM systém	11
2.1 Procesor	11
2.2 CL data	11
2.3 Postprocesor	12
2.4 Možnosti vytváření postprocesoru	12
2.5 NC program	13
3 Digitální 3D model stroje	17
3.1 Vlastnosti 3D digitálního modelu	17
4 Importování a definování kinematických vlastností stroje	18
4.1 Importování a umístění stroje	18
4.2 Definování lokálních souřadných systémů	20
4.3 Definování pohybů součástí	22
4.4 Vztah rodič/potomek	23
4.5 Definování Top-most table	25
4.6 Umístění nástroje	26
4.7 Definování zobrazovacích vlastností	27
5 Tvorba postprocesoru	29
5.1 Generátor postprocesoru	29
5.1.1 Tvorba postprocesoru	29
5.2 Propojení postprocesoru s virtuálním modelem stroje	34
6 Ověření funkčnosti	35
6.1 Návrh kontrolní součásti	36



6.2	Kontrola Simulace obrábění	37
6.2.1	Kontrola kolize nástroje s upínacím přípravkem.....	38
6.2.2	Kontrola překročení limitů stroje.....	38
6.3	Spuštění simulace stroje.....	39
6.4	Simulování NC kódu.....	40
7	Závěr.....	42
8	Seznam příloh.....	43
8.1	Seznam textových příloh	43
8.2	Seznam elektronických příloh.....	43
9	Seznam použité literatury:.....	44



Přehled použitých zkratk a symbolů:

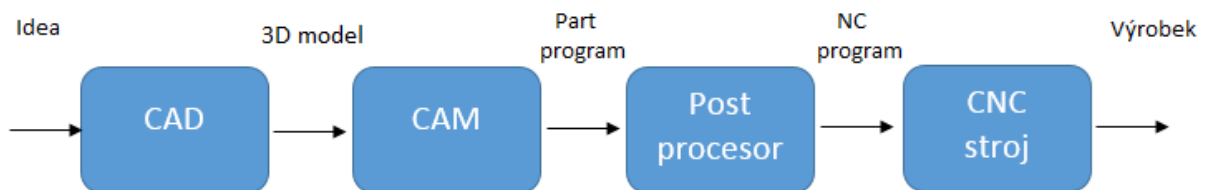
CAD	Computer Aided Design
CAM	Computer Aided Machinig
CL data	Cutter Locastion data
CNC	Computer Numerical Control
NC	Numeric Control
UCS	User Coordinate Systém
PP	Postprocesor
ŘS	Řídicí systém

1 Úvod

V dnešní době si už člověk nedokáže představit dobu bez elektroniky, natož si představit dobu bez využití NC obrábění, ať už soustružení, frézování či jiným způsob. Číslicové řízení nám značnou mírou ovlivnilo přesnost a sériovost strojírenské výroby.

V práci se zabývám ověřováním NC dat v softwaru FeatureCAM. Tento software je dostupný v laboratořích ústavu technologie obrábění, projektování a metrologie. NC data jsou velmi rozsáhlá. Bez počítačové podpory jsou velmi těžko kontrolovatelná. Proto jsem se rozhodl k vybraní tohoto tématu. Budu se zabývat importováním a následným nadefinováním všech potřebných parametrů stroje frézky VMC 500 tak, abychom byli schopni po spuštění NC programu vizuálně zkontrolovat správnost programu. Poté uživatelé softwaru FeatureCAM budou schopni kontrolovat jakýkoliv NC program s pomocí virtuální simulace.

Tato práce popisuje podrobný postup a jak postupovat při definování všech kroků.



Obrázek 1 Schéma výroby součásti pomocí CAD/CAM systémů [1]

2 CAM systém

Od doby svého vzniku se CAM software dělí na dvě moduly, a to procesor a postprocesor. K těmto částím jsou dnes už nabízeny další doplňující moduly např. pro simulaci vygenerovaných NC programů, dekodování NC programů na CL data atd. [1]

2.1 Procesor

Výběr procesoru závisí na požadující technologii a druhu obrábění. To proto, že jiný procesor je vhodný pro různé druhy obrábění například soustružení, frézování, elektroerozivní drátové řezačky atd. Je to pochopitelné, protože např. soustružení, kde je obrobek definován 2D nákresem a vykonává rotační pohyb, je prostředí jiné, než prostředí u frézování. Kde může být nástroj v pohybu hned ve všech třech osách. Kinematika soustružnického nože je zcela odlišná od dráh frézovacího nástroje. Jiná kinematika je nutná pro frézování rovinných ploch, jiná pro frézování tvarových ploch, a jiná kinematika nástroje je nutná pro frézování ozubení či závitování. Procesor musí tedy podle svého určení, být schopen umožnit zadání dané technologie. Řada CAMů dnes umožňuje uživateli dodefinovat si své osvědčené strategie vedení nástroje či nadefinovat novou technologii. Produktem procesoru jsou informace o poloze nástroje a to tzv. CL data. [1]

2.2 CL data

CL data jsou složeny ze dvou částí, a to z technologických a geometrických informací, které jsou potřeba k obrábění. Do technologických informací patří např. otáčky vřetena, posuv, chlazení atd. do geometrických informacích patří dráhy řezných nástrojů (souřadnice koncových bodů). [1]

Jedná se o text v čisté podobě, bez jakýchkoliv přídavných informací (tvar a velikost písma, vzhled, atd.) Formát těchto dat je určen normou ČSN ISO 3592 [3] Přesto ho různé CAD/CAM systémy vytvářejí s drobnými odlišnostmi, které jsou vytvořeny výrobcem daných systémů.



Schéma formátu CL dat [4]:

- Hlavičku Drah nástroje
- Hlavičku procedury
- Definici činností
- Definice souřadnic nutných k určení pohybu nástroje
- Zakončení procedury
- Zakončení drah nástroje

Prováděly se pokusy se zpracování CL dat, bohužel se ukázalo jako problematické. Je tedy nutno převádět CL data do srozumitelného jazyka pro řídicí systémy strojů.

Kompletní forma a obsah CL dat je podrobně popsán v literatuře. [3]

2.3 Postprocessor

Každý stroj může mít jedinečný řídicí systém. Proto i postprocessor, CAM je vždy upraven přesně na daný stroj. Z toho vyplývá, že neexistuje univerzální postprocessor. Z toho vyplývá, že zdokonalování obráběcích strojů stoupá a tím se zvyšují požadavky na postprocessor. Je tedy nutné na nich neustále pracovat a zdokonalovat je a připravovat je k dalšímu a dalšímu vývoji, použití kvalitnějších materiálů rezných nástrojů, aktualizace softwarů atd. [1]

Postprocessor je softwarový převodník dat z CAD/CAM systému do datového jazyka konkrétního obráběcího stroje. Kvalitní postprocessor v sobě obsahuje veškeré informace o vlastnostech daného stroje, tak aby bylo optimálně a efektivně využito všech jeho funkcí v souladu s CAD/CAM systémem. [2]

2.4 Možnosti vytváření postprocesoru

Vyhovující postprocessor můžeme získat mnoha způsoby. Závisí to na mnoha faktorech, třemi největšími faktory jsou časová a finanční náročnost a také znalost postprocesingu. [2]

Způsoby pořízení postprocesoru:

- a) použít postprocessor dodaného k zakoupenému CAMu



- Nejjednodušší varianta
- Nízká pořizovací cena
- Ne vždy pracuje správně se strojem

b) objednat si postprocesor na míru.

- Dlouhá dodací doba
- Vysoká cena
- Není nutná znalost problematiky postprocesingu

c) prohledat databázi existujících postprocesorů CAM

- Časově náročné
- Nízké procentu úspěšnosti

d) vytvoření vlastního postprocesoru

- Komplikované
- Nutná znalost programovacího jazyka
- Znalost struktury CL dat

Správnost postprocesoru lze kontrolovat v simulaci na počítači v softwaru s řídicím systémem, který je shodný s CNC strojem. Pokud tato možnost není možná, pak můžeme simulaci provést až na stroji.

2.5 NC program

NC program je soubor číselných informací srozumitelně přeložený postprocesorem pro obráběcí stroj. Program se skládá z bloků (vět), zapsaný v jednom řádku. Každý blok obsahuje:

- Geometrické informace – výsledkem jsou pohyby nástrojů v jednotlivých směrech os
- Technologické informace – např. nastavení otáček, zapnutí chlazení, atd[5].



Hlavička. Každý NC program začíná Hlavičkou. Jedna se o příkazový řádek (řádky), který jasně charakterizuje typ CNC řídicího systému a způsob, jakým je program vykonáván. Dále jsou v hlavičce NC programu předvoleny modální G-kódy, které jsou výchozí pro celý NC program. Modální znamená, že neplatí jen na jedné příkazové řádce, ale že jsou aktivní až do řádku, kdy je změněn jiný kód. Příkladem je G0, tedy povel pro přesun po přímce rychloposuvem, který není nutno opakovat, až do řádku, kdy je potřeba změnit typ pohybu na pohyb po kružnici (šroubovici) G2, G3 nebo pohyb po přímce G1 posuvem pracovním F. Konec programu M2, nebo M30 zastaví vykonávání příkazových řádků a řádky za těmito příkazy tak budou ignorovány [6].

Každý blok (věta) se skládá ze slov. Slovo popisuje jeden příkaz a je složeno z adresy a číselného kódu. Adresa určuje, kam bude informace směřována. Číselný kód určuje konkrétní hodnotu. Slovo může být [5]:

- **Rozměrové** – má významnou část tvořenou fyzikální veličinou a představuje např. polohu v příslušné ose, velikost otáček vřetene, velikost posuvu, atd.

Označení	Funkce
F	Posuv
S	Otáčky vřetene
X	Poloha v příslušné ose

Tab. č.2.1. příklad použitých rozměrových slov [8]

- **Bezrozměrové** – jsou dána normou ČSN 20 0670 [8]. Podle významu je rozlišujeme na, přípravné funkce a pomocné funkce.
 - **Přípravné** - sdělují jakým způsobem bude prováděn tzv. G-kódy. Tato funkce, připravuje řídicí systém na určitý režim práce. Celý soubor G-kódů je možno rozdělit do několika skupin [5]:

Skupina 1

G00	Rychloposuv po přímce
G01	Lineární interpolace pracovním posuvem
G02	Kruhová interpolace posuvem ve směru hodin



G03	Kruhová interpolace posuvem proti směru hodin
------------	---

Tab. č. 2.2. Příklady interpolačních kódů [9]

Skupina 2

G04	časová prodleva
------------	-----------------

Tab. č. 2.3. Příklad kódu časové prodlevy [9]

Skupina 3

G17	Interpolace v rovině XY
G18	Interpolace v rovině XZ
G19	Interpolace v rovině YZ

Tab. č. 2.4. Příklady interpolací v rovině [9]

Skupina 4

G40	Zrušení korekce
G41	Korekce pro nástroj vlevo od obrobku
G42	Korekce pro nástorje vpravo od obrobku

Tab. č. 2.5. Příklady korekce na nástroj [9]

Skupina 5

G53	Zrušení posunutí počátku
G54	Posunutí počátku č.1
G55	Další možná posunutí počátku (většinou alespoň 3)
G58	Programovatelné (aditivní) posunutí počátku

Tab. č. 2.6. Volba posunutí počátku [9]

Skupina 6



G90	Absolutní programování (od nulového bodu obrobku W)
G91	Přírůstkové programování

Tab. č. 2.7 Volba způsobů programování [9]

- **Pomocné** – neboli strojní funkce, tzv. M-kódy. Vyvolávají určité činnosti stroje a technologické informace, např. spuštění otáček vřetena, zapnutí chlazení. [9]

Skupina 1

M00	Nepodmíněné přerušení program (technologický STOP)
M01	Podmíněné přerušení program

Tab. č. 2.8. Přerušení automatických cyklů [9]

Skupina 2

M02	Konec program a skok na začátek program následujícího
M17	Konec podprogramu s návratem do hlavního programu
M30	Konec hlavního program s návratem na začátek

Tab. č. 2.9. Ukončení program [9]

Skupina 3

M03	Start vřetena ve směru hodinových ručiček
M04	Start vřetena proti směru hodinových ručiček
M05	Zastavení vřetena
M19	Orientované zastavení vřetena

Tab. č. 2.10. Ovládání vřetena [9]

Konec program je odjezdem rezného nástroje do nulového bodu a příkazem označujícím konec programu.

3 Digitální 3D model stroje

Digitální 3D model stroje je trojrozměrná virtuální podoba stroje, která nám umožňuje zjednodušení a zrychlení při ověřování správnosti NC programů. 3D model stroje je možno získat dvěma způsoby. Prvním způsobem je ruční odměření a následné vymodelování. Druhým způsobem je požádání o 3D model výrobce stroje. Ten je ve většině případech na tuto možnost je připraven a je schopen model poskytnout. [10] V dnešní době už je toto zobrazení nedílnou součástí CAM softwarů. Je možné ihned reagovat na nalezené chyby v NC programech a tak můžeme předejít možným kolizím a finančním ztrátám.

3.1 Vlastnosti 3D digitálního modelu

Digitální model stroje je trojrozměrná součást, která představuje reálný stroj. Toto zobrazení nám umožňuje spuštění simulace, kde se stroj pohybuje a my jsme schopni kontrolovat dráhu stroje a jeho možné kolize. Důležité je si uvědomit, že digitální model musí co nejpřesněji odpovídat reálnému stroji. Pokud se stane, že se nějaká část stroje bude odchylovat od reálu, může dojít ke špatnému umístění obroku a následným nepřesnostem. V horším případě může dojít i ke kolizi. [10]



4 Importování a definování kinematických vlastností stroje

V této kapitole se budu věnovat postupnému importování modelu stroje VMC 500 do softwaru FeatureCAM. Poskytnutý model budu postupně importovat do modulu pro tvorbu virtuálního stroje. Následně dám stroji reálný tvar a zkontroluji správné umístění. Frézka je přístupná v laboratořích ústavu technologie obrábění, projektování a metrologie.

V dalších krocích budu postupně definovat souřadné systémy a veškeré pohyby, které je stroj schopný provádět. Poté jsou všem součástím stroje dány kinematické vlastnosti. A na závěr je definováno umístění polotovaru a nástroje.

V ostatních podkapitolách budou podrobně popsány všechny kroky. A tato kapitola by měla sloužit jako podrobný návod pro uživatele softwaru FeatureCAM.

4.1 Importování a umístění stroje


Máme-li k dispozici kompletní model stroje, jsme připraveni k importování do modulu konstrukce stroje pro simulaci ve FeatureCAMu

Po naběhnutí softwaru FeatureCAM se jako první objeví průvodce **Dokumentací nové součásti**. Je zde výběr ze dvou možností, a to **Nové součásti** nebo **Otevření existující součásti**. Pro náš účel vybereme první možnost a to **Nové součásti**, poté potvrdíme tlačítkem Další. V dalším okně máme na výběr mnoho možností, ale my zvolíme **Konstrukce stroje pro simulaci**. Hlavně nezapomenout vybrat správné jednotky, pro nás to jsou milimetry. Poté zmáčknutím tlačítka **Dokončit** ukončíme průvodce a načte se nám prostředí daného modulu.

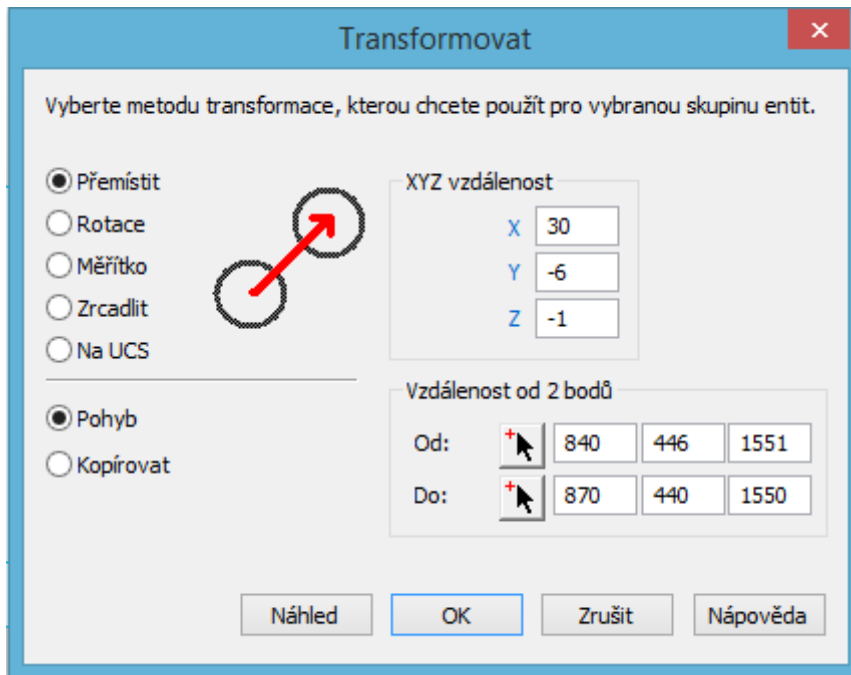
Importování modelu do modulu se provádí pomocí Exchange. V záložce **Soubor** zvolíme možnost **Import pomocí Exchange....** Pomocí toho průvodce vybereme solid. Daný solid nesmí být otevřen v žádném jiném programu. Kdyby ano, import nemůže proběhnout a musíme tak daný program vypnout a import opakovat. Automaticky se otevře dialogové okno Import, kde vybereme solid. Po importování se nám automaticky otevře dialogové okno **Import výsledků**.



Toto okno nám nabízí umístění součásti a definování souřadného systému. Definování souřadného systému se budu věnovat v následující kapitole. My zvolíme možnost **Akceptovat data, jak jsou a ukončit průvodce**. Poté klikneme na tlačítko **Dokončit**. Na levé straně ve stromě klikneme na záložku **Solidy** a objeví se seznam všech importovaných solidů. Jelikož se při importování názvy součástí nezobrazí, je dobré si všechny solidy přejmenovat, k lepší orientaci. Kliknutím pravím tlačítkem myši na solid se otevře možnosti solidu. Zvolením možnosti **Přejmenovat**, pojmenujeme solid podle jeho reálného umístění ve stroji. Tento příkaz lze také vyvolat tlačítkem **F2**. Tímto postupem přejmenujeme všechny součásti stroje.

Jestli se stane že některé součásti se importují na nesprávné místo, je nutné ho přesunout na správné místo. K tomu slouží příkaz **Transformace**. Abychom mohli použít tento příkaz, jako první musíme mít daný solid označený a poté kliknutím na ikonu transformace  se otevře dialogové okno průvodce (nebo je možná tento příkaz najít v záložce **Úprava** -> **Transformace**). Pomocí tohoto příkazu můžeme solid přemísťovat a otáčet. Na Obrázku 2 můžeme vidět, jaké možnosti přemístění máme k dosažení výsledku. První možnost je přemístění pomocí **XYZ vzdáleností** (zadání přírůstkových hodnot), přemístění probíhá v osách. Je zde nutné vědět přesné hodnoty, o které se má solid posunout. Druhou možností je **Vzdálenost 2 bodů**. Funguje to tak, že první bod se určuje na solidu, který chceme přemístit. Druhý bod je tam, kam se má daný solid posunout. Poté si sám program spočítá o kolik se solid musí posunout. Po dokončení nastavení nesmíme zapomenout zkontrolovat, zda máme označenou možnost **Pohyb**. Když tuto možnost neoznačím, solid se nám nepřemístí, nýbrž se zkopíruje do námi zvoleného bodu. Pro ověření přesunu solidu do správné polohy použijeme tlačítko **Náhled**. Tímto předejdete následným komplikacím, protože po zmáčknutí tlačítka **OK**

se nám dialogové okno zavře, součást se nám přesune a nemáme tak žádnou možnost úkon opravit.

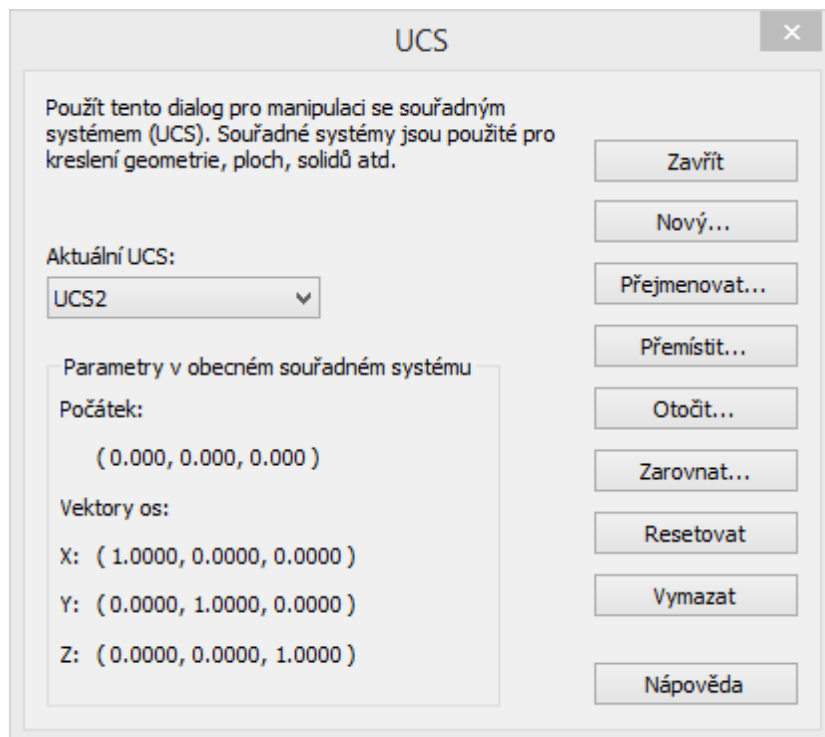


Obrázek 2 Dialogové okno k Transformaci ve FeatureCAMu

4.2 Definování lokálních souřadných systémů

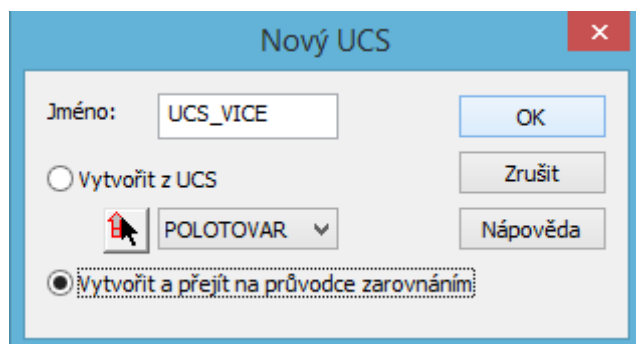
Lokální souřadné systémy neboli UCS jsou důležitým úkonem částí stroje při konstrukci virtuálního stroje. Je velmi důležité aby všechny importované součásti, které budou konat nezávislý pohyb, měly své vlastní UCS. UCS ovlivňuje rotační a přímý pohyb součástí stroje.

UCS se definuje následujícím způsobem: v záložce **Konstrukce** vybereme příkaz **UCS**. A objeví se nám dialogové okno, které je znázorněné na obrázku 3. V okně je záložka **Aktuální UCS**, ve které je předdefinováno několik souřadných systému. Všechny tyto systémy se překrývají a určují absolutní počátek.



Obrázek 3 Dialogové okno k UCS

Jako první se nadefinuje UCS svěráku. Příkazem **Konstrukce -> UCS** se zobrazí dialogové okno. Zde klikneme na tlačítko **Nové**. Zobrazí se nám další dialogové okno **Nový UCS**, kde si pojmenujeme UCS jako UCS_VICE. Dále zvolíme možnost **Vytvořit a přejít na průvodce zarovnáním**, znázorněné na obrázku 4. Potvrdíme tlačítkem OK.



Obrázek 4 Dialogové okno k Nový UCS

Následně se nám objeví dialogové okno průvodce s možnostmi zarovnání UCS. Volíme možnost **3 body** a tlačítkem **Další** pokračujeme na další okno. Následně určujeme směr od X a Y. Postup je podobný jako u **Transformace dvěma body**. UCS svěráku (UCS_VICE) definujeme do předního rohu svěráku, jak je možno vidět na obrázku 5

Tímto postupem nadefinujeme lokální součásti dalších pohyblivých částí stroje. U zbylých součástí není tak důležité umístění UCS jako u svěráku. Pohyb po různých osách se počítá od definovaného bodu, a proto je důležité mít u všech pohyblivých součástí definované UCS. Bezpodmínečně je nutné dodržet stejný směr nadefinovaných os. Jinak bude pohyb částí probíhat v jiných směrech a vyskytnou se chyby. Nalezení těchto chyb je obtížné. Byli bychom nuceni znova definovat lokální UCS.



Obrázek 5 Lokální UCS u svěráku

4.3 Definování pohybů součástí

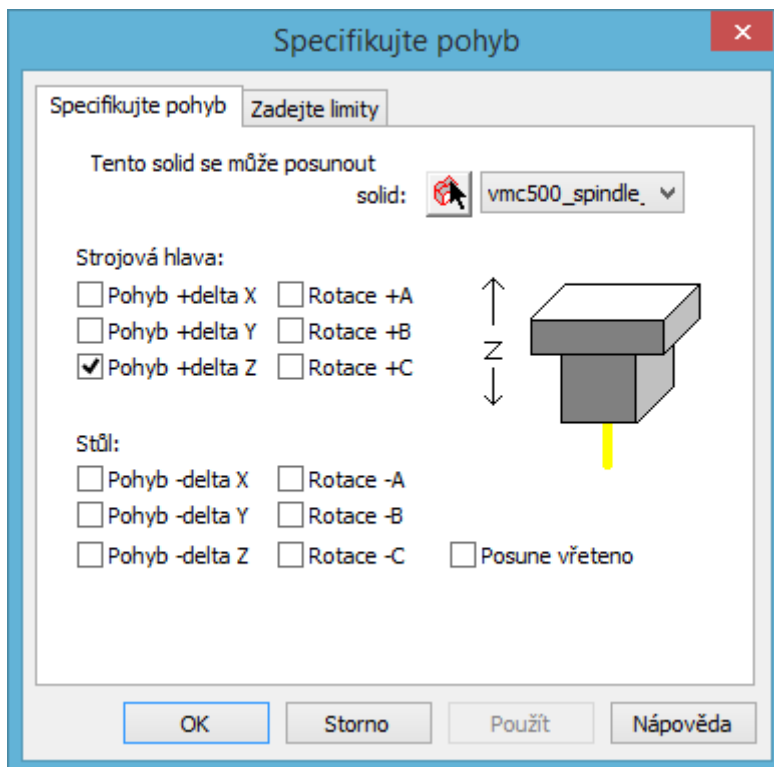
Po úspěšném definování lokálních UCS, můžeme přejít na definování pohybu pohyblivých součástí.

V záložce **Osnova obrábění** si zvolíme příkaz **Upřesnit pohyby**. Poté se nám zobrazí dialogové okno **Specifikujte pohyb**, které je možné vidět na obrázku 6. V příkazu **Solid** si vybereme součást pro definování pohybu.

Moje pohyblivé součásti jsou Table_Y, Table_X a SPINDLE. **TABLE_Y** vykonává pouze pohyb v ose Y. A jedná se o stůl, budeme vybírat pohyby, které jsou pro něho definované. A to je **Pohyb –delta Y**.

Stůl **TABLE_X** se pohybuje nejen v ose X, jak patrné z názvu, ale i v ose Y. Pohyb v ose Y převzal ze stolu Y, a proto definujeme pouze jeden pohyb, kterým je **Pohyb –delta X**.

SPINDLE vykonává pouze pohyb Z. Zde se už nejedná o stůl, ale o vřeteno. Vybíráme pohyb definovaný pro Strojovou hlavu, **Pohyb +delta Z**, a potvrdíme tlačítkem **Použít**.



Obrázek 6 Dialogové okno pro definování pohybů

4.4 Vztah rodič/potomek

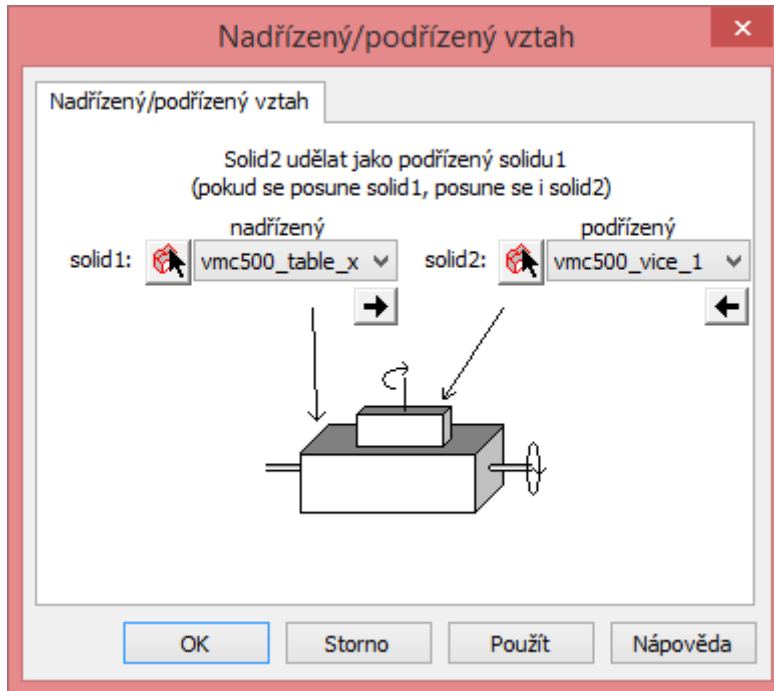
Ke správné funkci všech částí stroje je důležité přesně definovat jejich vzájemný vztah. Dalším nepostradatelným krokem při řešení kinematiky stroje je definování vztahu rodič/potomek. Jako příklad můžu uvést TABLE_X, která koná pohyb po ose X a je zde definován jako rodič. A VICE (svěrák) je zde definován jako potomek, protože vždy vykonává stejný pohyb jako TABLE_X.



Definovat tento vztah můžeme příkazem, který nalezneme v záložce **Osnova obrábění**, kde vybereme příkaz **Vztah rodič/potomek**. Poté se nám zobrazí dialogové okno **Nadřazený/podřazený vztah**, kde jsou dvě záložky. První záložka **Solid 1** určuje nadřazenou součást neboli rodiče. V tomto případě volíme solid `vmc500_table_x_1`. Druhá záložka **Solid 2** určuje podřazenou součást neboli potomka. V tomto případě volíme solid `vmc500_vice_1`, jak je znázorněno na obrázku 7. Protože v mém případě je svěrák (VICE) složen z více částí, musím nadefinovat i ostatní části svěráku. Tímto postupem nadefinujeme i `TABLE_Y` jako rodič a `TABLE_X` jako potomek. Stejně jako u svěráku, se `TABLE_X` skládá z více částí, je tedy nutné nadefinovat všechny jeho části. Vřeteno máme složené z více solidů, je nutné provázat i to. Rozbalíme tedy **Solid 1**, kde zvolíme solid `vmc500_spindle_1`, který bude definován jako rodič. V okénku **Solid 2** budeme postupně vybírat solidy `vmc500_spindle_2` až `vmc500_spindle_7`, které budou definovány jako potomek a budou přebírat pohyb nadřazeného solidu.

Teď máme provázené všechny pohyblivé součásti. Aby nám stroj při simulaci pracoval správně, je nutné provázat všechny součásti, včetně těch nepohyblivých. V okénku **Solid 1** vybereme solid **machine**, který reálně neexistuje. Najdeme ho na levé straně obrazovky v záložce **Stroj**. Výše popsaný postup aplikujeme na zbylé součásti a podřídíme je solidu `machine`. Kromě solidu `TABLE_X` a `VICE`, které už jsou podřícené solidu `TABLE_Y`.

Díky tomuto příkazu má systém nadefinováno a přesně určeno, které součásti stroje se při simulaci zobrazí a které ne.

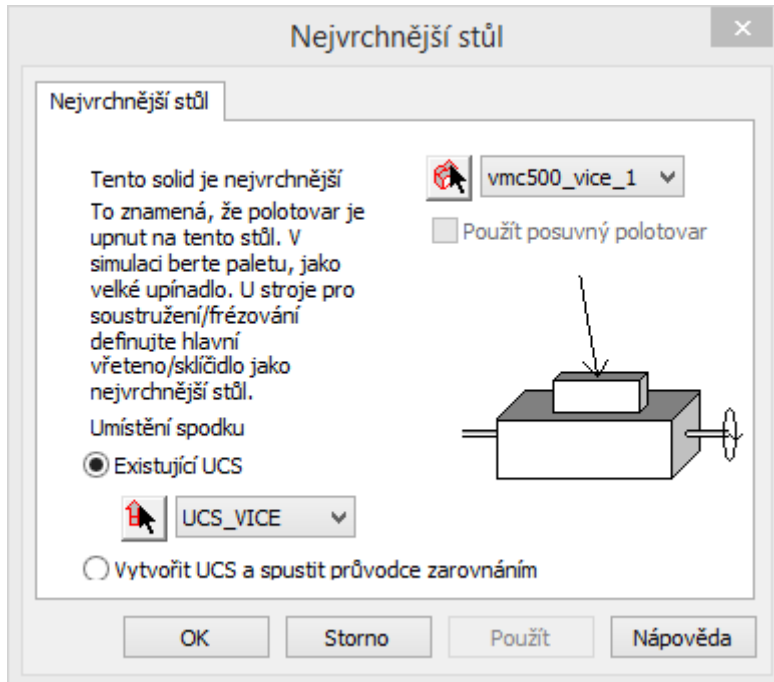


Obrázek 7 Dialogové okno ke vztahu rodič/potomek

4.5 Definování Top-most table

Definováním Top-most table (Nejvyšší stůl) říkáme softwaru kam má umístit obráběný polotovár při simulaci stroje.

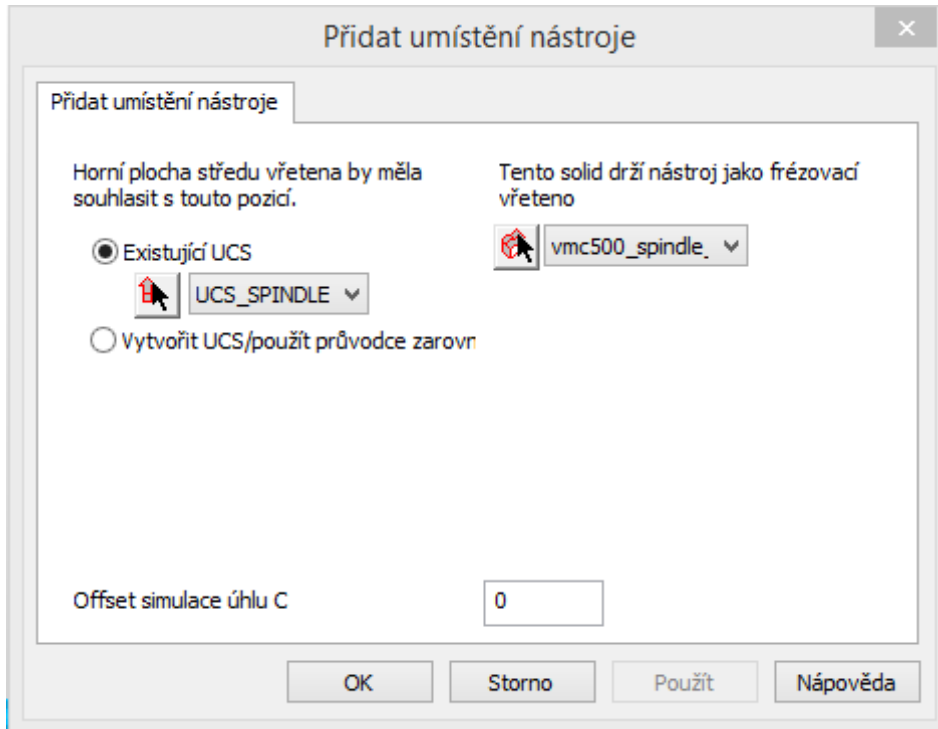
Tento úkon nalezneme v záložce **Osnova obrábění**, kde vybereme příkaz **Nejvyšší stůl**. Poté se zobrazí dialogové okno Nejvrchnější stůl, které je znázorněné na obrázku 8. V okně jsou dvě roletky. Rozbalením vrchní vybereme požadovaný solid. V mém případě se jedná od solid **vmc500_vice_1**. Při definování lokálních UCS jsem už s tímto krokem počítal a nadefinoval si UCS_VICE, což značně ulehčilo práci. Jestli toto UCS ještě nadefinované nemáme, zaškrtneme druhou možnost a postupujeme podle bodu 3.2. Zaškrtneme **Existující UCS**, a v roletce vybereme **UCS_VICE**. A potvrdíme tlačítkem **Použít**. Tímto úkonem jsem dokončil definování umístění polotovaru při virtuální simulaci stroje ve FeatureCAMu.



Obrázek 8 Dialogové okno k Nejvyššímu stolu

4.6 Umístění nástroje

Jednou z posledních kroků je definování umístění nástroje. V mém případě je tento krok ulehčen tím, že stroj nemá více nástrojových hlav. Kdyby tomu tak bylo, museli bychom přidat více míst. Takto přidáme pouze jedno. Umístění nástroje nalezneme v záložce **Osnova obrábění**, kde vybereme příkaz **Přidat umístění nástroje**. Poté se nám zobrazí dialogové okno **Přidat umístění nástroje**, kde rozbalením pravé roletky vybereme solid, do kterého přijde nástroj. V našem případě je to solid **vmc500_spindle_2**. Na levé straně zaškrtneme **Existující UCS** a vybereme UCS_SPINDLE. Pokud jsme toto UCS nedefinovali v bodu 3.2, zaškrtneme možnost **Vytvořit UCS a spustit průvodce zarovnáním** a postupujeme podle bodu 3.2. Potvrdíme tlačítkem **Použít** a tím jsme ukončili umístění nástroje. Teď máme nedefinované místo, kam systém bude automaticky umisťovat frézy.



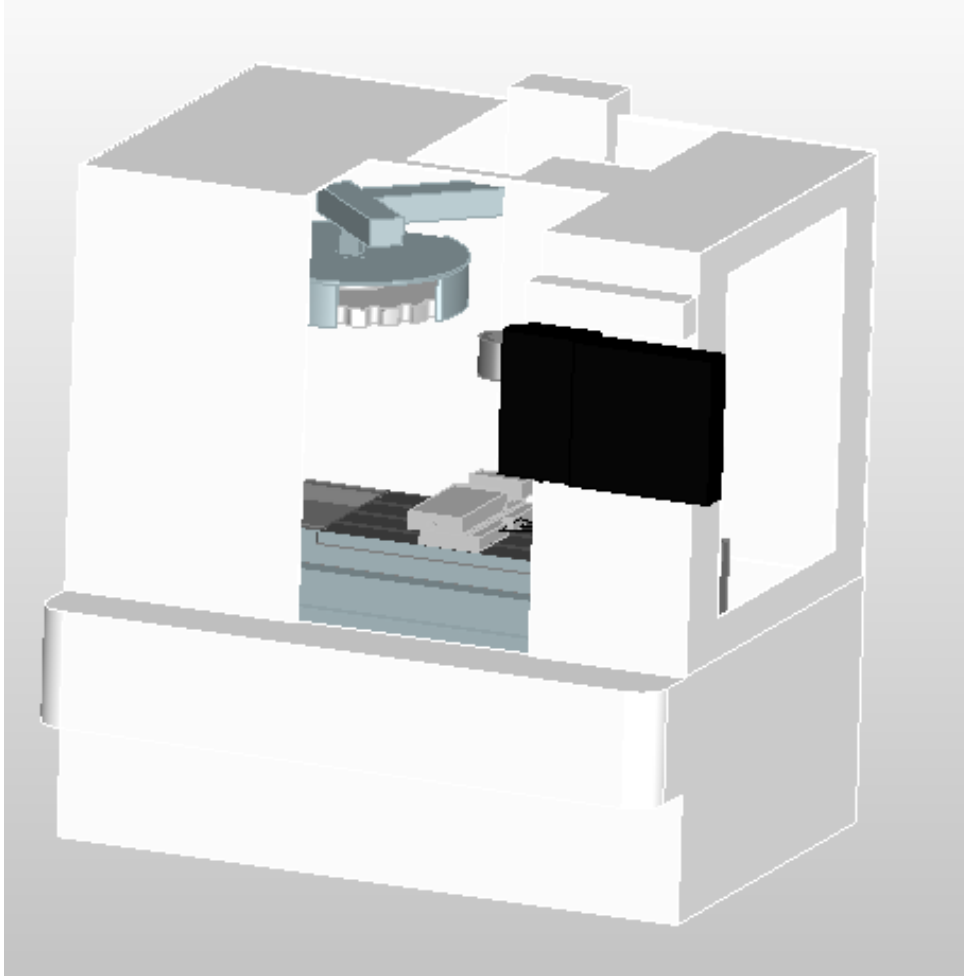
Obrázek 9 Dialogové okno k umístění nástroje

4.7 Definování zobrazovacích vlastností

V modulu pro konstrukci stroje je možné zobrazení barev, stínů a průhlednosti jednotlivých součástí. To nám umožňuje rychlejší a jednodušší orientaci v námi importovaném stroji.

Označíme-li určitou součást stroje ve stromu v levé části, přes **Možnosti->Barvy->Změnit vybrané** se nám zobrazí dialogové okno, ve kterém lze měnit barvu součásti na jakoukoliv ze zobrazené nabídky. Pokud nám nabídka nestačí, klikneme na tlačítko **Více barev**. Poté se zobrazí okno pro definování vlastního odstínu.

Chceme-li změnit barvu jen určité plochy součásti, stačí danou plochu označit a aplikací stejného postupu ji můžeme změnit na libovolnou barvu. Vybranou plochu nevybíráme ve stromu součásti, nýbrž přímo v modelu.



Obrázek 10 Zobrazení stroje VMC 500

Pod příkazem **Osnova obrábění->Vlastnosti zobrazení** můžeme nastavit další kvalitu zobrazení. V dialogové okně vybíráme solid pomocí příslušného okénka **Solid**. A do kolonky jemnost napíšeme požadovanou hodnotu mezi 1-200, kde jedna je velmi jemné a dvě stě je velmi hrubé. Dále je v tomto okně možné nastavit průhlednost součástí a to zaškrtnutím příkazu **Průhlednost**. Toto zobrazení doporučuji u součástí, které nehrají důležitou roli při simulaci např. dveře nebo okna. V mém případě jsem tuto možnost zvolil u krytu stroje a ovládacího panelu, z důvodu lepšího zobrazení a sledování simulace.

5 Tvorba postprocesoru

5.1 Generátor postprocesoru

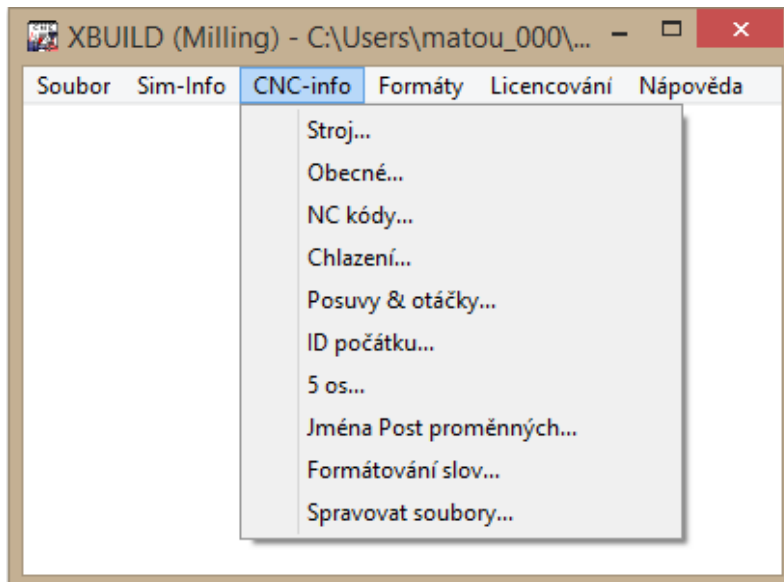
Generátor, ve kterém jsem prováděl tvorbu postprocesoru, se nazývá XBUILD a je součástí FeatureCAMu. XBUILD je aplikace určená pro tvorbu, ale i opravy již vytvořených PP. Musí však být vytvořené v této aplikaci. Zobrazení všech definovaných částí v postprocesoru je k nalezení v příloze 1.

5.1.1 Tvorba postprocesoru

Po prostudování a zjištění nároků stroje jsem přistoupil k tvorbě postprocesoru. Porovnávací tabulka, kde je možno vidět shodné pohyby a pevné cykly FeatureCAMu a ŘS, je v příloze 1.

5.1.1.1 Obecné nastavení

Tvorbu PP jsem začal definováním obecných vlastností v záložce **CNC-info**, která slouží k základnímu nastavení. Zde jsem se zaměřil na prvních pět bodů.

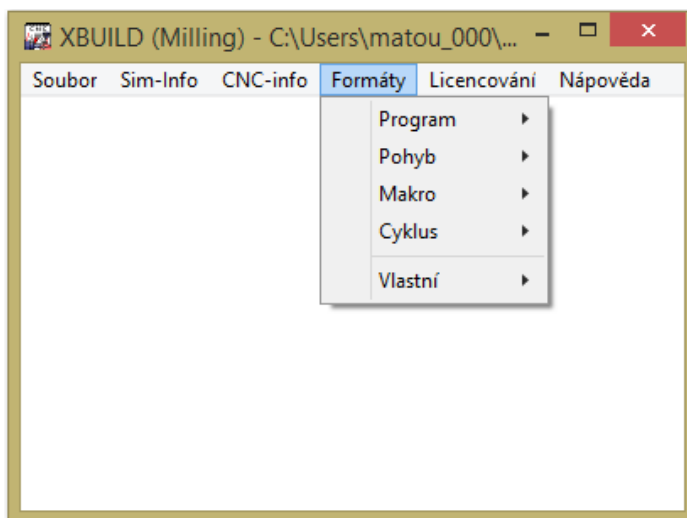


Obrázek 11 Obecné nastavení

Jako první jsem definoval **Stroj...** Zde jsem definoval informace o stroji jako je název, typ obrábění, výrobce ŘS a model ŘS. Další byla záložka **Obecné...**, kde jsem se zaměřil na správnost metrických rozměrů a tříosého obrábění. **NC kódy...** definuje G a M kódy k jednotlivým příkazům ŘS. V **Chlazení...** lze definovat až 10 typů chlazení a jeho zapnutí/vypnutí. **Posuv & otáčky...** umožňuje definování rozsahu otáček a posuvu.

5.1.1.2 Definování formátů

V této záložce se podíváme na pokročilé nastavení a tím je nastavení pohybů, vzhledu NC kódu atd. Zde se nám vývojáři FeatureCAMu snažili ulehčit tvorbu i opravu PP. Jako velké plus je určení chyby při překladu CL dat. Není tedy nutné prohlížet celý NC kód, ale stačí si vyhledat danou část, ve které je chyba.



Obrázek 12 Záložka Formáty

Ve své práci jsem použil jen určitou část programovacích formátů. Je to **Program**, kde jsem definoval začátek a konec programu a výměnu nástroje. Dále **Pohyb**, kde jsem definoval základní pohyby jako je pracovní posuv, rychloposuv a kruhové posuvy. A jako poslední jsem použil **Cyklus**, kde jsem definoval základní cykly, např. vrtání, navrtávání, frézování děr, atd.

Nejprve jsem definoval počátek programu neboli hlavičku NC programu (Obrázek 13), která poskytuje obsluze CNC stroje informace o programu.

;Software: FeatureCAM<EOB>
;Polotovar: X<STOCK-XMAX> Y<STOCK-YMAX> Z<STOCK-ZMIN><EOB>
;Datum vytvoření programu: <DATE> <TIME><EOB>
;Celkový čas obrábění: <MACH-TIME> (m:s)<EOB>
;-----<EOB>
;Obrobek: <SEGM-ID><EOB>
;Nástroj: <TOOL-NAME><EOB>
;Programový průměr stroje: <TOOL-DIAM><EOB>
;-----<EOB>
<EOB>
{N<SEQ> }M6 T<TOOL><EOB>
{N<SEQ> }M3 S<SPEED><EOB>
{N<SEQ> }G0 X<X-COORD> Y<Y-COORD><EOB>
{N<SEQ> }G0 Z<Z-COORD> <COOLANT><EOB>" data-bbox="115 95 878 362"/>

```
Soubor Upravit Formáty Nápověda
;Program: <PROG-NAME><EOB>
;Software: FeatureCAM<EOB>
;Polotovar: X<STOCK-XMAX> Y<STOCK-YMAX> Z<STOCK-ZMIN><EOB>
;Datum vytvoření programu: <DATE> <TIME><EOB>
;Celkový čas obrábění: <MACH-TIME> (m:s)<EOB>
;-----<EOB>
;Obrobek: <SEGM-ID><EOB>
;Nástroj: <TOOL-NAME><EOB>
;Programový průměr stroje: <TOOL-DIAM><EOB>
;-----<EOB>
: <EOB>
{N<SEQ> }M6 T<TOOL><EOB>
{N<SEQ> }M3 S<SPEED><EOB>
{N<SEQ> }G0 X<X-COORD> Y<Y-COORD><EOB>
{N<SEQ> }G0 Z<Z-COORD> <COOLANT><EOB>
```

Obrázek 13 Hlavička NC programu v aplikaci XBUILD

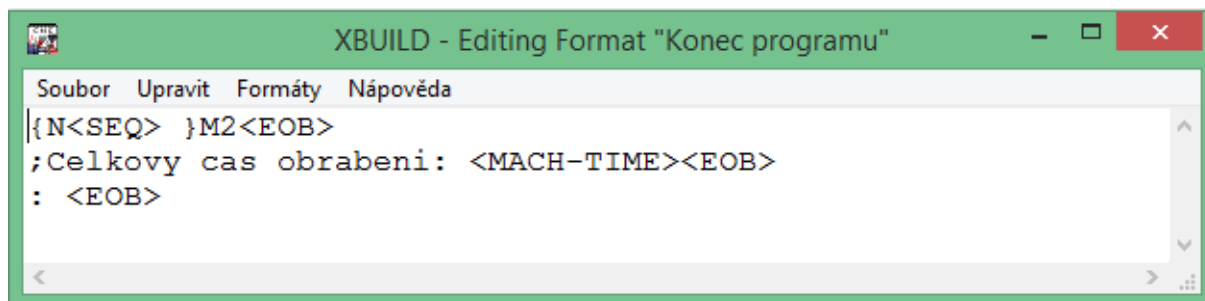
Postprocesor funguje jako podmínková aplikace. Aplikace jako takové musí mít jednoznačně danou strukturu a formu. Každá proměnná musí být ohraničena hranatými závorkami. Tyto proměnné se po převodu na NC kód přemění na hodnoty z FeatureCAMu.

Jak jsem již zmínil, hlavička programu je informativní a je dobré do ní umístit informace o daném programu, např. datum, čas tvorby NC programu, velikost polotovaru, číslo nástroje, celkový čas obrábění. Tyto informace pomáhají obsluze CNC stroje k rychlejší orientaci v programu. Občas je dobrá vložit do hlavičky poznámku, ve které tvůrce programu může obsluze sdělit důležité informace. Musíme si však dávat pozor, aby každý řádek začínal středníkem. ŘS neumí vynechat bloky, které se nemají zobrazovat v NC kódu. Pokud by na začátku věty nebyl středník, systém by to vyhodnotil jako chybu a zastavil by tvorbu NC kódu.

```
;Program: Model_BP_Tichý  
;Software: FeatureCAM  
;Polotovár: X80.0 Y80.0 Z-80.0  
;Datum vytvoření programu: 1-13-2017 19:17:29  
;Celkový čas obrábění: 23:51.6 (m:s)  
:  
;Obrobek: FREZ3D1  
;Nástroj: válcováM1200:4reg  
;Programový průměr stroje: 12.0  
:  
:  
N65 M6 T01  
N70 M3 S1500.0  
N75 G0 X40.0 Y86.39  
N80 G0 Z25.0  
N85 G0 Z3.0
```

Obrázek 14 Hlavička NC programu

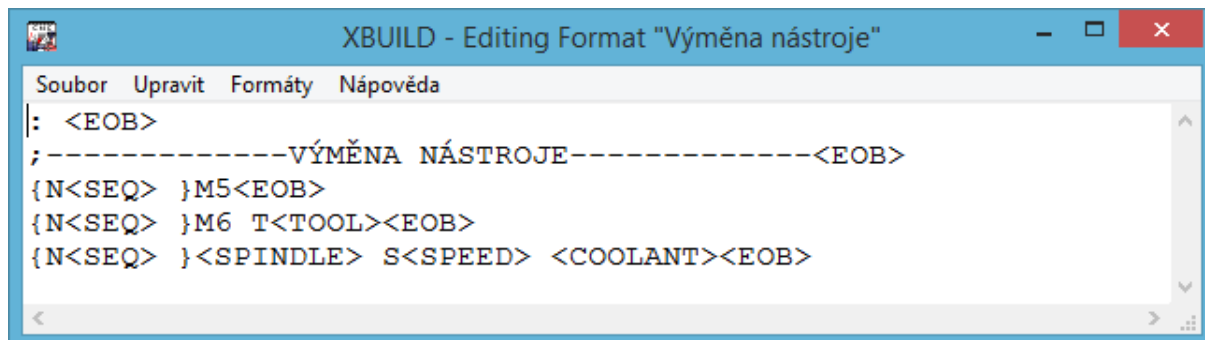
Stejně důležité jako hlavička programu je i konec programu (Obrázek 15). Ten ve většině případů obsahuje M-kód, který ukončí program a najede s nástrojem do referenčního bodu a ukáže celkový čas obrábění dané operace.



```
Soubor Upravit Formáty Nápověda  
{N<SEQ> }M2<EOB>  
;Celkový čas obrábění: <MACH-TIME><EOB>  
: <EOB>
```

Obrázek 15 Konec programu

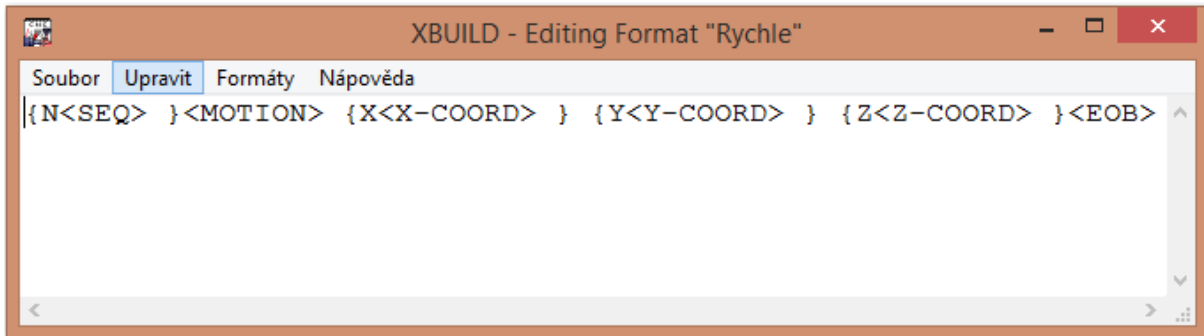
Další část zajišťuje výměnu nástroje. Součástí této výměny je i následné roztočení vřetene (Obrázek 16). Tvůrce programu tedy nesmí zapomenout nadefinovat bod, kde bude docházet k bezpečné výměně nástroje.



```
Soubor Upravit Formáty Nápověda  
: <EOB>  
;-----VÝMĚNA NÁSTROJE-----<EOB>  
{N<SEQ> }M5<EOB>  
{N<SEQ> }M6 T<TOOL><EOB>  
{N<SEQ> }<SPINDLE> S<SPEED> <COOLANT><EOB>
```

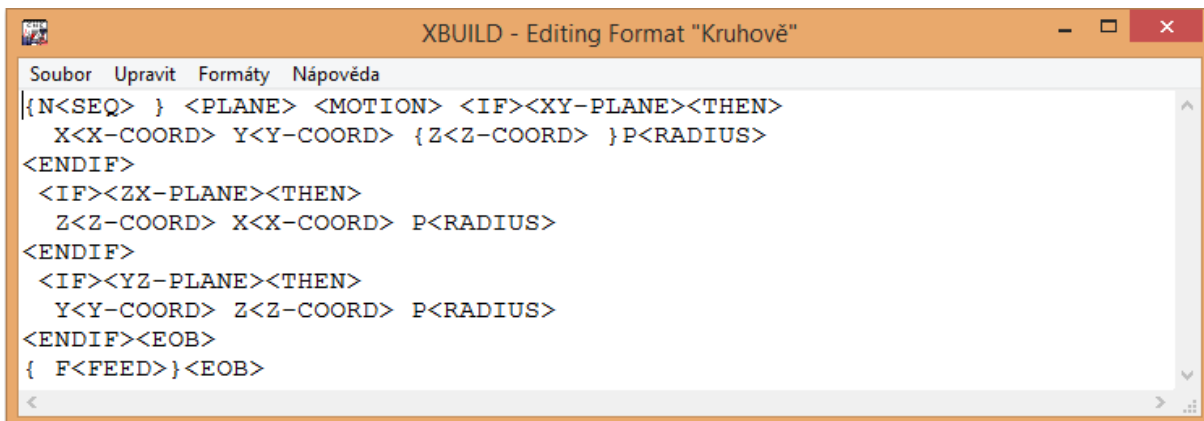
Obrázek 16 Výměna nástroje

Po naprogramování formátů programu jsem přešel na programování formátů pohybových. Zde je to rozdělené na rychloposuv (Obrázek 17) a na rychloposuv Z. Dále na lineární neboli pracovní posuv a kruhový posuv (Obrázek 18). Rychloposuv a rychloposuv Z jsou totožně zapsané, jediným rozdílem je, že u rychloposuvu Z mám definovanou pouze osu Z. Pracovní posuv je definován stejně jako rychloposuv, jen k tomu ještě přidán krok.



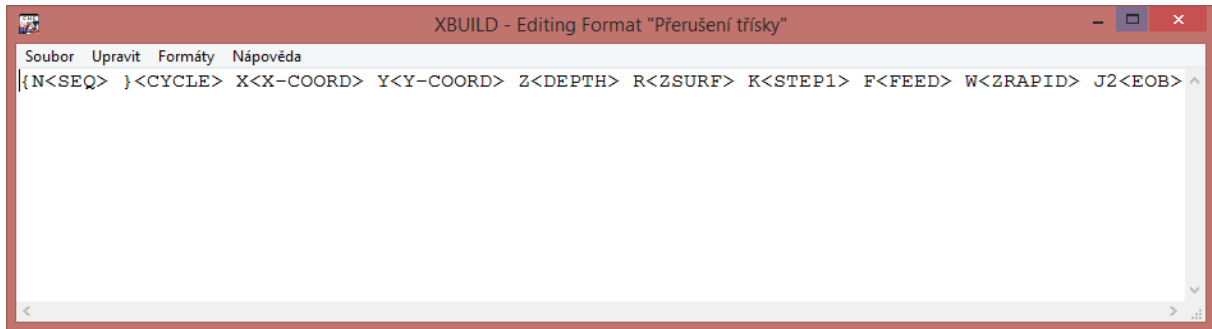
Obrázek 17 Rychloposuv

Jedním dosti zajímavým pohybem je pohyb kruhový (Obrázek 18) . Tento pohyb je možný zapsat dvojnásobným způsobem. Prvním způsobem, který jsem použil ve své práci, je pomocí poloměru kruhového oblouku R. Druhým způsobem je použití adresy interpolačních parametrů I, J, K.

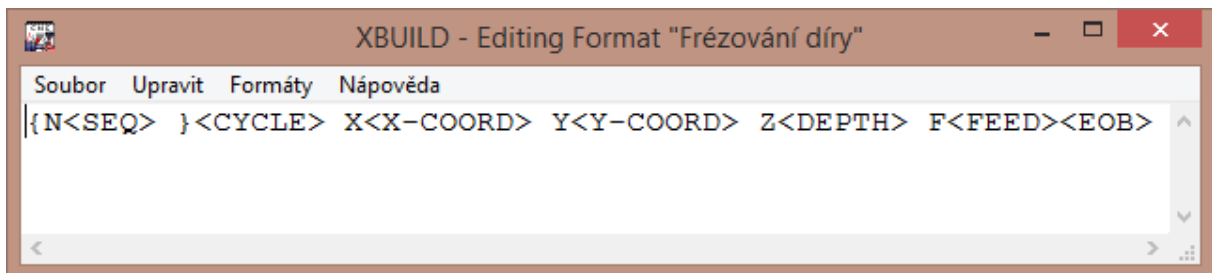


Obrázek 18 Kruhový pohyb

Po definování pohybů jsem nadefinoval pevné obráběcí cykly, které se používají při základních frézařských nebo vrtacích operacích. Základním požadavkem u cyklů je podpora ze strany CAMu a také podpora ze strany CNC stroje. U kombinace FeatureCAM a frézky VMC 500 jsem zvolil základní cykly jako je vrtání a vrtání s přerušením třísky.



Obrázek 19 cyklus vrtání s přerušením třísky



Obrázek 20 Cyklus frézování díry

XBUILD nám umožňuje nadefinování vlastních formátů. Je možné naprogramovat cokoliv, jen se musíme držet stejné podmínky jako u cyklů. CAM a CNC stroj musí být schopný námi nadefinovaný formát provést. Vlastní formát vyvoláme přes proměnnou **<INCLUDE:>**. Za dvojtečku se doplní název vlastního formátu.

5.2 Propojení postprocesoru s virtuálním modelem stroje

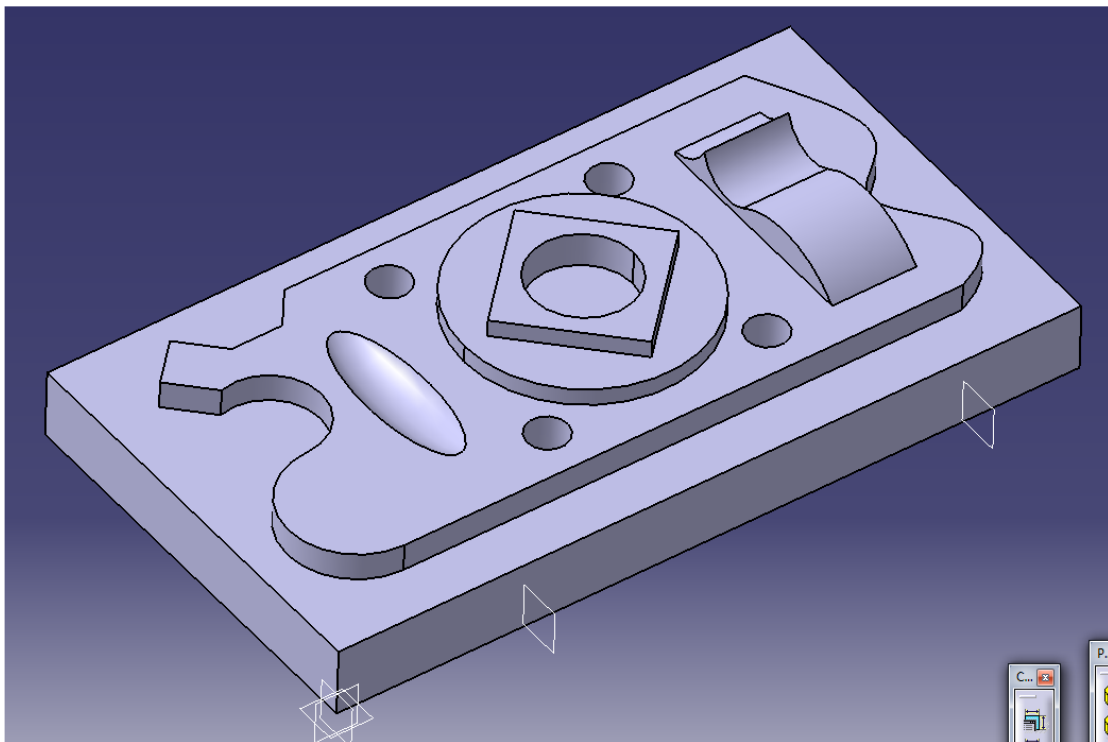
Zvolení správného postprocesoru je nejdůležitějším krokem k tvorbě správného NC kódu. Postprocesor volíme pod ŘS stroje. V mém případě volím PP **VMC500_3osy_TICHY_2016**.

Máme zvolený PP a provedeme jeho propojení. Otevřeme XBUILD a v pomoci příkazu **Soubor->Otevřít** otevřeme námi zvolený PP. Následné propojení vytvoříme příkazem **Sim_info->Nastavit MD**. Otevře se nám dialogové okno **Informace simulace**. Zde pomocí příkazu **Procházet** vyhledáme příslušný MD soubor stroje a potvrdíme. Pokud je příslušný MD soubor ve stejné složce jako daný PP, stačí vepsat název MD souboru a potvrdit. Nesmíme zapomenout soubor uložit pomocí příkazu **Soubor->Uložit CNC** a poté už můžeme XBUILD vypnout.

6 Ověření funkčnosti

Pro ověření funkčnosti Simulace stoje a PP jsem navrhl kontrolní součást. Pro tu jsem vytvořil NC program, na kterém budu kontrolovat správnost mnou vytvořeného PP a správný pohyb virtuálního modelu stroje. Postup na vytvoření NC programu pro danou součást si můžete prohlédnout v příloze 3, kterou najdete na konci této práce.

Ověřování funkčnosti se provádí na normalizovaných součástech, kde jsou obsaženy všechny druhy ploch, např. přímé, obecné a 3D plochy. Také obsahuje velké množství tvarů, na kterých se dá ověřit správnost cyklů.



Obrázek 21 Kontrolní součást [13]

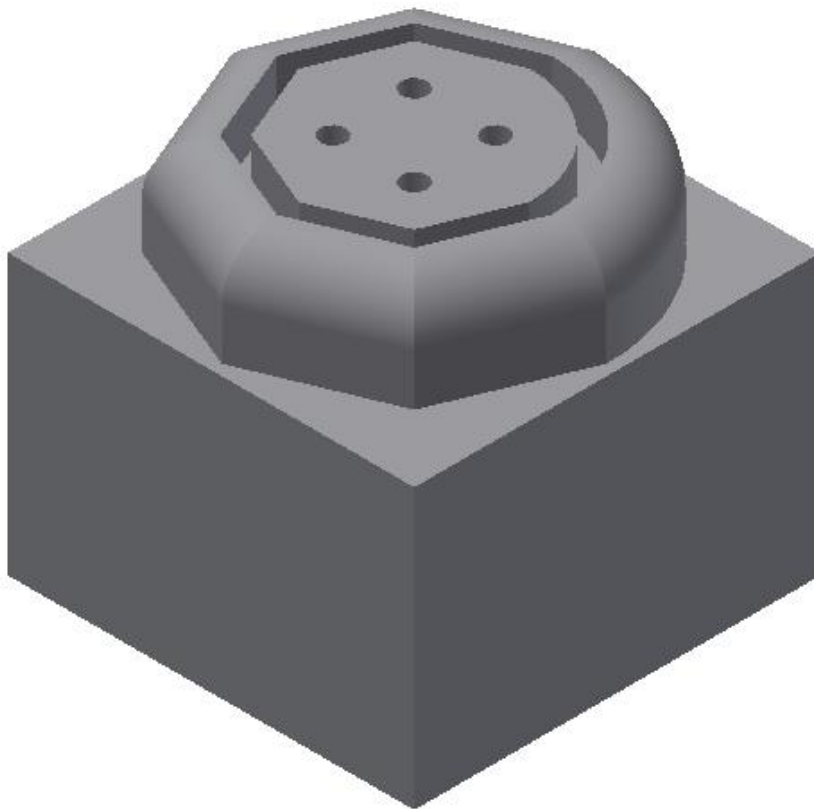
Tato součást mi byla poskytnuta vedoucím mé práce, panem Ing Janem Tomíčkem, Ph.D., který součást navrhl v rámci své disertační práce (Obrázek 24). Tato součást obsahuje velké množství prvků. Z toho důvodu jsem se rozhodl navrhnout vlastní kontrolní součást, která bude obsahovat prvky, na kterých zkontroluji mnou nadefinované pohyby a cykly.

6.1 Návrh kontrolní součásti

Aby bylo možné ověřit PP na stroji, je nutné tvoření kontrolní součásti. Kontrolní součást musí obsahovat námi nadefinované pohyby. Proto tedy i návrh kontrolní součásti je ovlivněn těmito podmínkami. Podle nich tato kontrolní součást obsahuje tyto pohyby a cykly:

- Lineární interpolaci
- Kruhová interpolaci
- Vrtací cyklus
- Drážkovací cyklus

Součást jsem vymodeloval v programu Autodesk Inventor. Následně byla importovaná do FeatureCAMu v formátu .ipt. Tento import už je v praxi běžný a nebyl s tímto krokem žádný problém. Polotovar součásti byla krychle 80x80x80 mm.



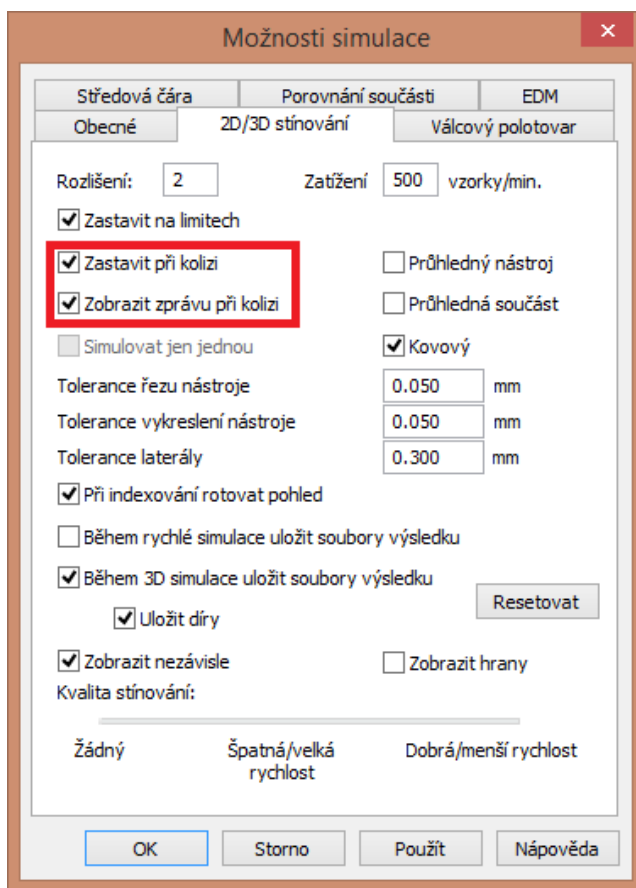
Obrázek 22 Kontrolní součást

6.2 Kontrola Simulace obrábění

Virtuální stroj již má všechny potřebné údaje nadefinované a je také propojen s postprocesorem. Můžeme se tedy pustit do kontroly simulace při obrábění. Teď budu testovat upozornění softwaru na různé technologické chyby vzniklé během procesu výroby.

Abychom dostali od softwaru upozornění na vzniklé chyby, musíme toto hlášení nastavit. Hlášení obnovíme pomocí příkazu **Možnosti->Simulace**. Otevře se dialogové okno (Obrázek 21), ve kterém nadefinujeme příslušná opatření. V záložce **2D/3D stínování** zaškrtneme možnosti **Zastavit při kolizi** a **Zobrazit zprávu při kolizi**.

Kdybychom toto nastavení neprovedli, FeatureCAM by na kolize nereagoval. Nehlásil by vzniklé chyby a simulace by neplnila svůj účel.

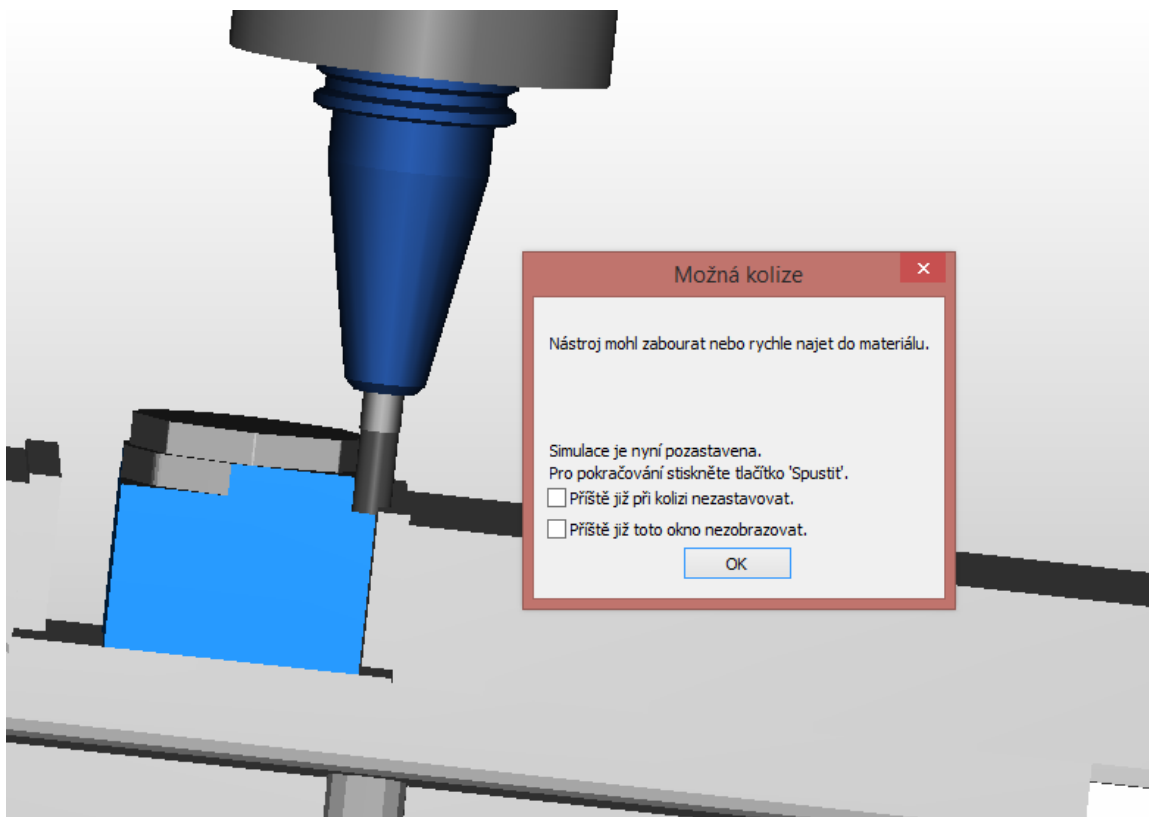


Obrázek 223 Definování kolize

6.2.1 Kontrola kolize nástroje s upínacím přípravkem

Pro kontrolu kolize nástroje s upínacím přípravkem byl záměrně nadefinován menší polotovár.

Z Obrázku 22 je vidět námi očekávaná kolize nástroje s pohyblivou částí nástroje upínacího přípravku. Software správně vyhodnotil kolizi, zastavil simulaci a následně kolizi nahlásil. Pro kontrolu jsem pustil simulaci bez stroje, abych si byl jistý, že obrobení proběhne v pořádku bez jakékoliv kolize. Můžu říci, že si systém uvědomuje vzájemnou pozici nástroje a upínacího přípravku.



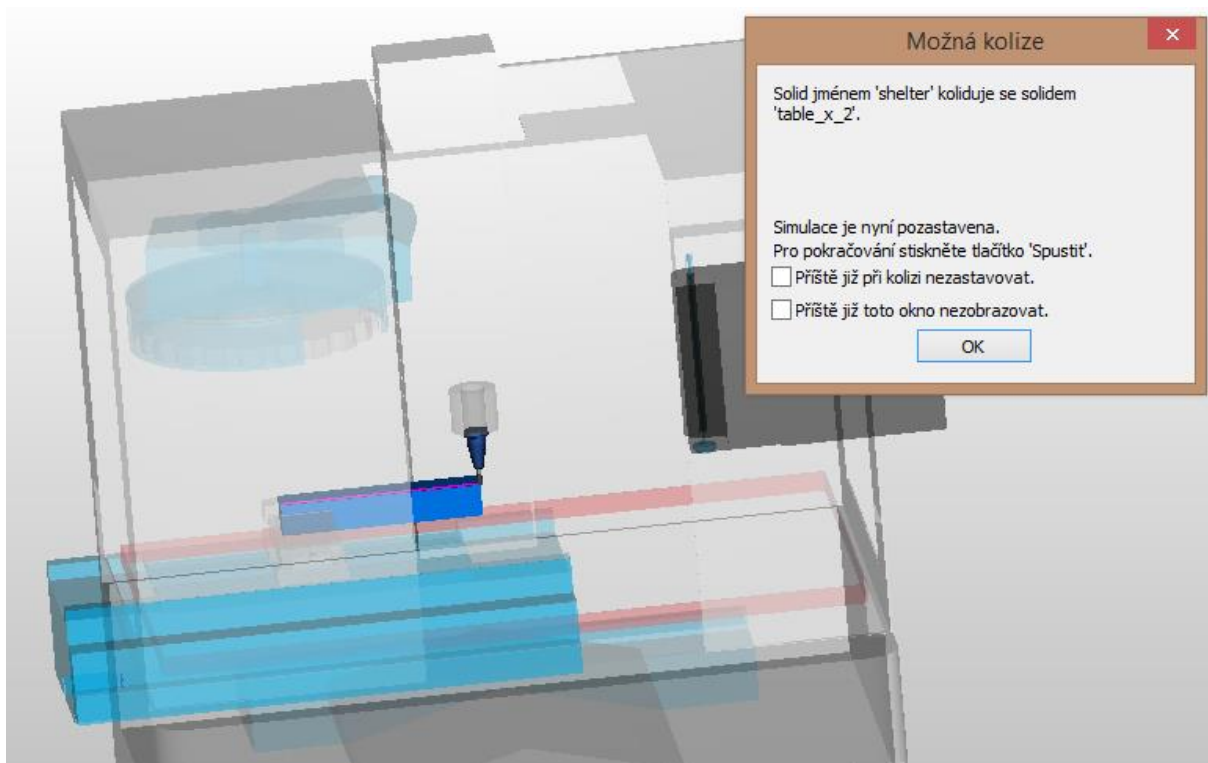
Obrázek 24 Kolize nástroje s upínacím přípravkem

6.2.2 Kontrola překročení limitů stroje.

Pro kontrolu překročení limitů stroje byl vložen polotovár, který přesahuje pracovní prostor. Mnou zvolená kolizní součást má rozměry 80x80x600mm. Vzhledem ke konstrukci stroje a zvolenému způsobu obrábění a upnutí polotovaru je zapotřebí, aby vrchní stůl překonal pracovní prostor stroje k dokončení obráběcí operace (Obrázek 23). Software tedy správně vyhodnotil vzniklou kolizi, zastavil simulaci a následně vše ohlásil, jak je vidět na Obrázku 23.

Jelikož mnou zvolená situace nikdy nenastane, vložil jsem do modelu stroje součást, která tam ve skutečnosti není, ale znázorňuje nám limity pracovního stroje. Tuto součást jsem pojmenoval **Limity_XY**. Ve skutečnosti je rozsah stroje po osách X a Y shodný. Tento rozsah je 500mm v obou směrech.

Jak je vidět na Obrázku 23, stůl musel vykonat pohyb, který ho dostal na limitní hranici stroje. Systém tuto situaci vyhodnotil jako kolizní a ohlásil kolizi Table_X s Limity_XY. Toto opatření dělá simulaci více realistickou.



Obrázek 235 Překročení limitů stroje

6.3 Spuštění simulace stroje

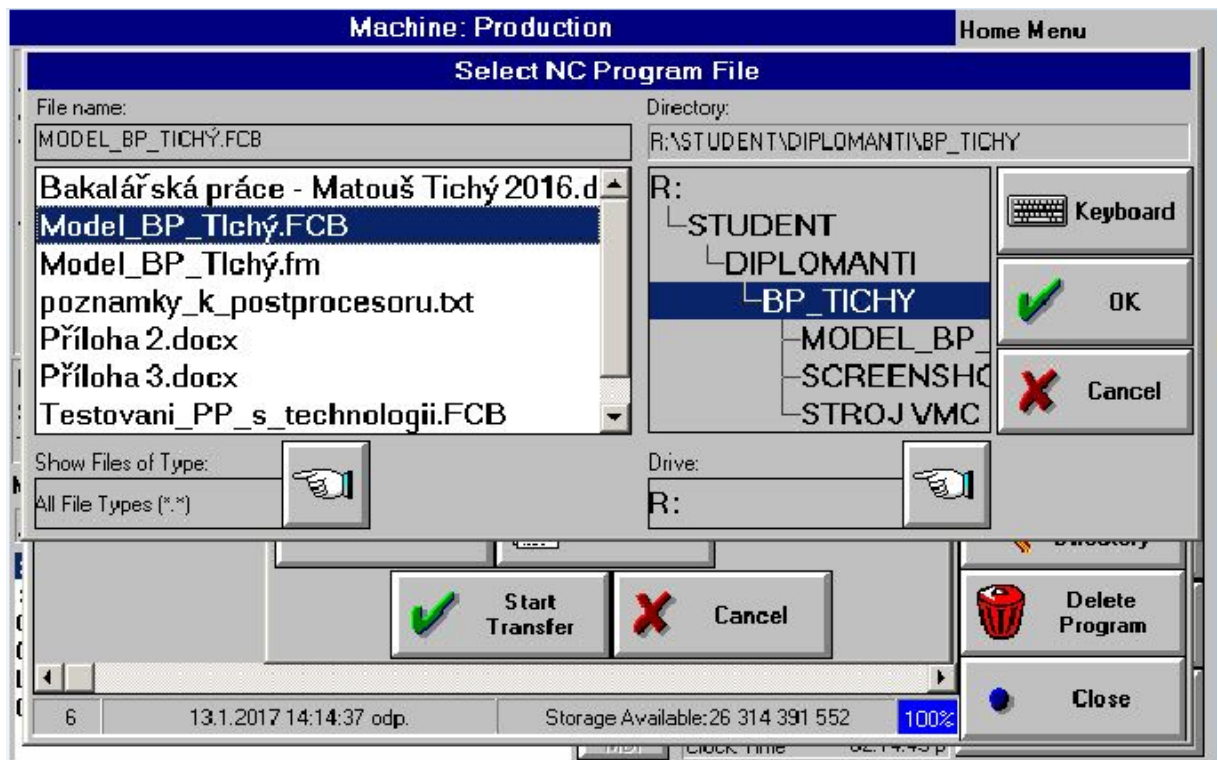
Když máme nastavené a zkontrolované kolizní parametry, můžeme přejít ke spuštění NC programu. Zjistíme, zda námi vytvořený program obrábí bez jakýchkoliv kolizí. Tvorba NC programu a spuštění simulace stroje je popsán v příloze 4.

Simulace vytvořeného NC programu ke kontrolní součásti proběhla bez problémů. Během simulace nevznikla žádná kolize nástroje ani jiných částí stroje.

6.4 Simulování NC kódu

Nejprve jsem z vytvořeného NC programu vytvořil NC kód, který jsem uložil s příponou PTP. Vytvořený NC kód, jsem následně nahrál do simulačního programu, kde jsem byl schopen spustit simulaci NC kódu.

První krok mého ověřování bylo načtení NC kódu do programu. Přes příkaz **Transfer program->Transfer program In** (Obrázek 26) vyhledám příslušný NC kód a potvrdím tlačítkem **OK**. Po otevření NC kódu přejdu příkazem **Run This Program** do simulačního okna, kde následně spustíme simulaci.

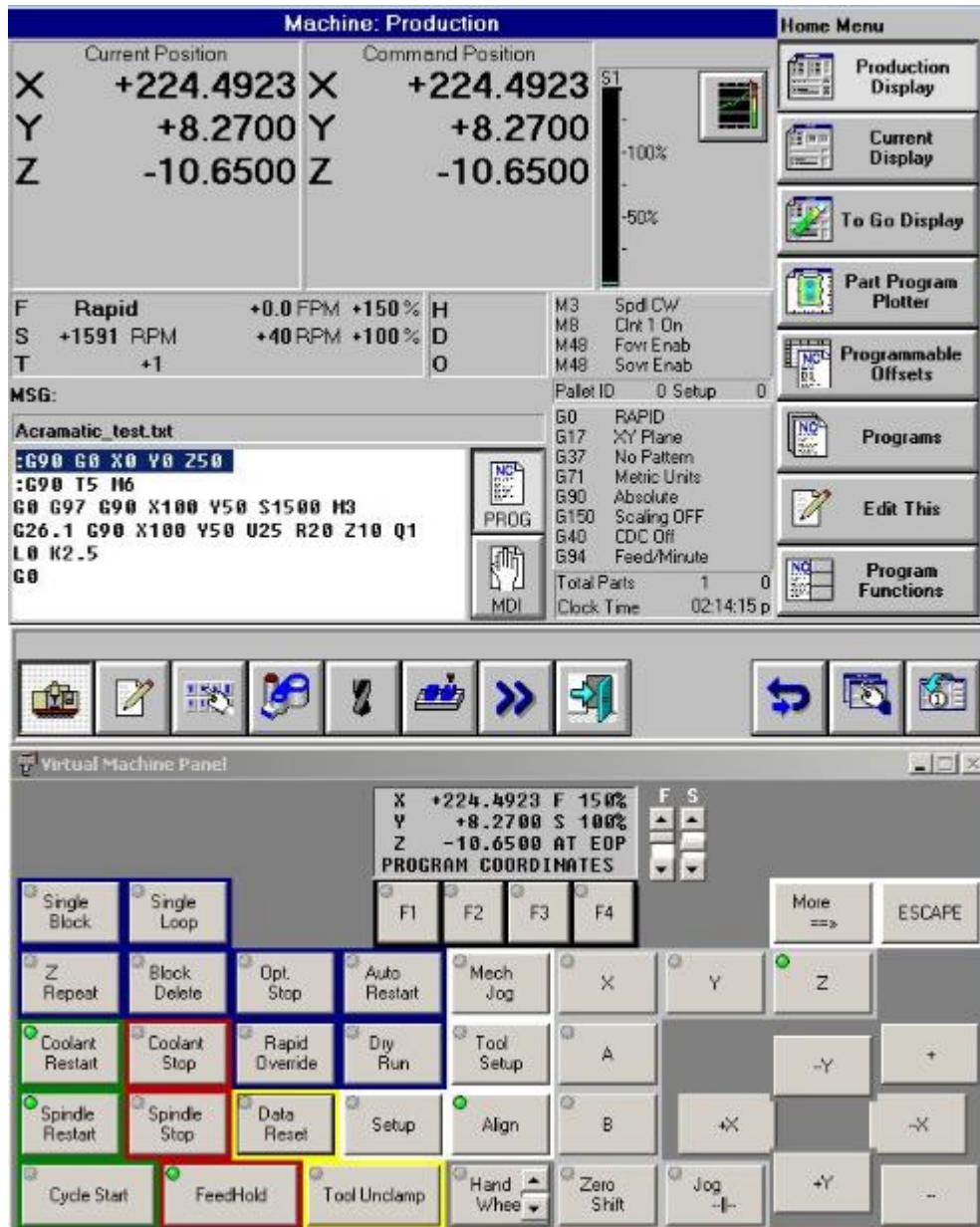


Obrázek 24 Načtení NC kódu do simulačního programu

V dalším kroku spustím simulaci. Jako první si musíme dát pozor, aby byl kurzor na začátku NC kódu. Když mám toto zkontrolované, můžu spustit simulaci. Spuštění simulace provedu příkazem **Cycle Start**, který se nachází v levém dolním rohu simulačního okna. Program následně začne simulovat NC kód (Obrázek 26), kde projíždím větu po větě. Ohlašování chyb v NC kódu provádí program ihned během simulace tak, že simulaci zastaví a chybu ohlásí pomocí varovného okna.



Proběhne-li simulace v pořádku a program neohlásí žádnou chybu, můžu program prohlásit za zprávně napsaný. A tedy i připravený k obrábění.



Obrázek 25 Simulace NC kódu v simulačním programu

7 Závěr

Simulace modelu stroje probíhá podle reálných pohybových podmínek stroje. Model stroje, který jsem importoval, mi byl poskytnut jakožto výsledek předchozí bakalářské práce pana Pšeničného. Import celého modelu stroje proběhl úspěšně i následné definování veškerých vlastností. Při spuštění simulaci stroje se objevily chyby, které jsem nebyl schopen odstranit. Proto jsem importování provedl znovu. Tentokrát ovšem po částech a nikoliv jako celý model stroje. Tento způsob se ukázal jako vhodný.

Kontrola kolizí byla realizována pouze s upínáním pomocí svěráku. Stroje je však schopen upnout polotovar pomocí magnetické desky. A také zde není zahrnuta kontrolní sonda, která je v tuto chvíli mimo provoz. Bylo by vhodné tyto možnosti do modelu zahrnout.

Experimenty kolizí, které jsem prováděl, tedy překročení pracovního prostoru a kolize nástroje, proběhly úspěšně. Vždy byla v čas ohlášena chyba a zobrazená zpráva kolize. Další částí mé práce byla tvorba postprocesoru. To spočívalo v definování všech možných pohybů, která jsou shodná pro software FeatureCAM a ŘS Acramatic 2100. Zde se mi povedlo nadefinovat všechny základní pohyby i pevné cykly. Všechny ostatní pohyby, které nejsou shodné, se převedou na kombinaci GO a G1. Kontrola pomocí 3D simulace proběhla v pořádku až na cyklus závitování. Z neznámých důvodů se mi tento cyklus nepodařilo upravit tak, aby byl na simulaci zprovozněn.

Správný chod postprocesoru jsem ověřil spuštěním simulace. Kde došlo k odsimulování vytvořeného NC kódu pomocí simulačního programu. Tento program zkontroloval celý vygenerovaný NC kód bez ohlášení chyby. Tímto můžu prohlásit, že mnou vytvořený postprocesor vytvořil funkční NC kód a já tím splnil zadání mé bakalářské práce.



8 Seznam příloh

8.1 Seznam textových příloh

Příloha 1 – Porovnávací tabulka definovaných pohybů a pevných cyklů mezi FeatureCAM a VMC 500

Příloha 2 – Formáty posrprocesoru FeatureCAM – Acramatic A2100

Příloha 3 – Postup na vytvoření partprogramu součásti a spuštění simulace modelu stroje VMC 500

8.2 Seznam elektronických příloh

Příloha 1 – Model virtuálního stroje

Příloha 2 – Posrtprocesor pro FeatureCAM – Acramatic 2100

Příloha 3 – Model součásti

Příloha 4 – NC program pro obrobení součásti

Příloha 5 – Vygenerovaný NC kód

9 Seznam použité literatury:

- [1] VRABEC, Martin. Postprocessing CL dat. [online]. Dostupné z <http://www.fvt.tuke.sk/journal/pdf08/3-str-18-20.pdf> [cit. 20.2.2016].
- [2] SADÍLEK, Miroslav: Postprocesor –slabé místo CAM systémů? MM. Průmyslové spektrum.
- [3] ČSN ISO 3592. Systémy průmyslové automatizace – Číslicové řízení strojů – Výstupní data z procesoru číslicového řízení – Struktura souboru a formát jazyka. Praha: Národní technická knihovna, 22. 2. 2016.
- [4] Jandečka, Karel; Česánek, Jiří; Kožmín, Pavel. Programování NC strojů. Západočeská univerzita, 2000. ISBN 80-7082-692-4.
- [5] SADÍLEK, Marek: CAM systémy v obrábění I. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, 2008. ISBN 978-80-248-2278-5
- [6] SIGMUND, Milan. Co jsou to CNC stroje [online]. 2016. www.strojnet.cz. Dostupné z <http://www.strojnet.cz/clanky/obrabeci-stroje-cnc.php>
- [7] ČSN ISO 6983-1. Číslicové řízení strojů. Formát programu a definice adres. Část 1: Formát dat pro polohovací, pravouhlé a souvislé řídicí systémy. Praha: Český normalizační institut, 1. 9. 1992. 20 s.
- [8] ČSN 20 0670. Obráběcí stroje na kovy. Číslicové řídicí systémy pro kovoobráběcí zařízení. Kódování informací řídicích programů. Praha: Český normalizační institut, 1. 7. 1985. 32 s.
- [9] OPLETAL, František. Číslicové řízení obráběcích strojů. 1. vyd. Havlíčkův Brod: Fragment, 1998. Učebnice pro odborné školy. ISBN 80-7200-294-5.
- [10] Simulátor stroje CAD/CAM systému SolidCAM. [Www.cad.cz](http://www.cad.cz) [online]. [cit. 2017-01-10]. Dostupné z: <https://www.cad.cz/strojirenstvi/38-strojirenstvi/3136-simulator-stroje-cadcam-systemu-solidcam.html>



- [11] Nápoředa systému FeatureCAM Verze 22.4.16, Copyright© 1995 – 2015 Delcam Ltd.
- [12] *A2100 iso 204 Acramatic A2100* [online]. [cit. 2017-01-12].
- [13] TOMÍČEK, Jan. *Využití CL-dat při tvorbě NC programů*. Praha, 2012. Disertační práce. ČVUT v Praze.

Příloha 1

Porovnávací tabulka definovaných pohybů a pevných cyklů mezi FeatureCAM a VMC 500

FeatureCAM	Definováno pro Acramatic 2100
Rychle	Programován jako funkce G0
Rychle Z	Programován jako rychloposuv v ose Z
Lineárně	Programován jako pracovní posuv G1
Kruhově	Programován jako kruhový pohyb G2, G3
Vrtání	Programováno jako cyklus vrtání G81
Navrtání čela	Programováno jako cyklus Navrtání čela G82
Vrtání s přerušením třísky	Programováno jako cyklus Přerušení třísky G83
Hluboká díra	Programováno jako cyklus Hluboká díra G83
Vrtání (FF)	Programováno jako cyklus vrtání G81
Vrtání (FDF)	
Vrtání (FSR)	
Vrtání (Bez odporu)	
Vrtání (FDSJ)	
Frézování díry	Převeden na kombinaci posuvů G0 a G1

Tabulka 1 Porovnávací tabulka shodujících pohybů softwaru FeatureCAM a řídicího systému Acramatic 2100 [11] [12]

Příloha 2

Formáty posprocesoru FeatureCAM – Acramatic A2100

1. Formáty Programové

;Software: FeatureCAM<EOB>
;Polotovár: X<STOCK-XMAX> Y<STOCK-YMAX> Z<STOCK-ZMIN><EOB>
;Datum vytvoření programu: <DATE> <TIME><EOB>
;Celkový čas obrábění: <MACH-TIME> (m:s)<EOB>
;-----<EOB>
;Obrobek: <SEGM-ID><EOB>
;Nástroj: <TOOL-NAME><EOB>
;Programový průměr stroje: <TOOL-DIAM><EOB>
;-----<EOB>
: <EOB>
{N<SEQ> }M6 T<TOOL><EOB>
{N<SEQ> }M3 S<SPEED><EOB>
{N<SEQ> }G0 X<X-COORD> Y<Y-COORD><EOB>
{N<SEQ> }G0 Z<Z-COORD> <COOLANT><EOB>" data-bbox="115 280 878 549"/>

Obrázek 26 Počátek programu

Obrázek 1 Zápís Počátku programu, jinak nazývaný Hlavička programu. Hlavička slouží k informování obsluhy CNC stroje. Hlavička většinou obsahuje název programu, čas obrábění, název prvního nástroje atd.

;-----VÝMĚNA NÁSTROJE-----<EOB>
{N<SEQ> }M5<EOB>
{N<SEQ> }M6 T<TOOL><EOB>
{N<SEQ> }<SPINDLE> S<SPEED> <COOLANT><EOB>" data-bbox="115 679 878 830"/>

Obrázek 27 Výměna nástroje

Obrázek 2 Výměna nástroje musí obsahovat funkci k výměně nástroje M6 výměnu nástroje, vypnutí vřetena M5 a zpětné zapnutí vřetena s nastavením otáček a chlazení. Dále může obsahovat tzv. návěstí, je to místo kde je program možno znovu spustit.

```
Soubor Upravit Formáty Nápověda
{|N<SEQ> }M2<EOB>
;Celkovy cas obrabeni: <MACH-TIME><EOB>
: <EOB>
```

Obrázek 28 Konec programu

Obrázek 3 Ukazuje zápis konce programu. Tato část obsahuje pouze funkci k ukončení programu M2 a celkový čas obrábění součásti.

2. Formáty – Pohyb

```
Soubor Upravit Formáty Nápověda
{|N<SEQ> }<MOTION> {X<X-COORD> } {Y<Y-COORD> } {Z<Z-COORD> }<EOB>
```

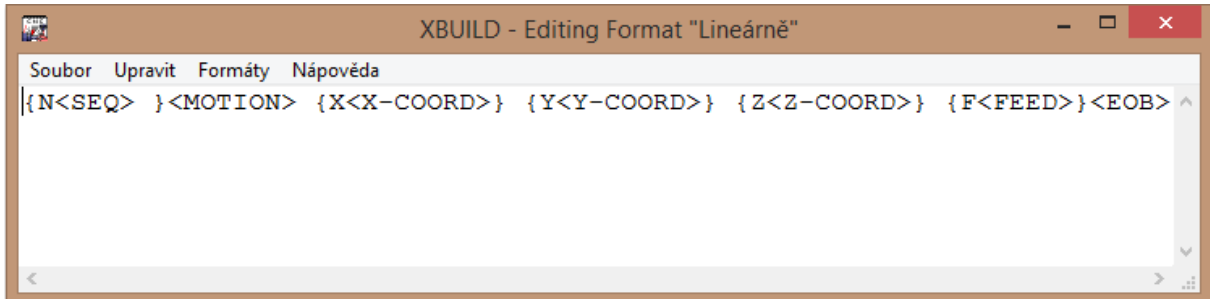
Obrázek 29 Pohyb Rychle

```
Soubor Upravit Formáty Nápověda
{|N<SEQ> }<MOTION> {Z<Z-COORD> }<EOB>
```

Obrázek 30 Pohyb Rychle Z

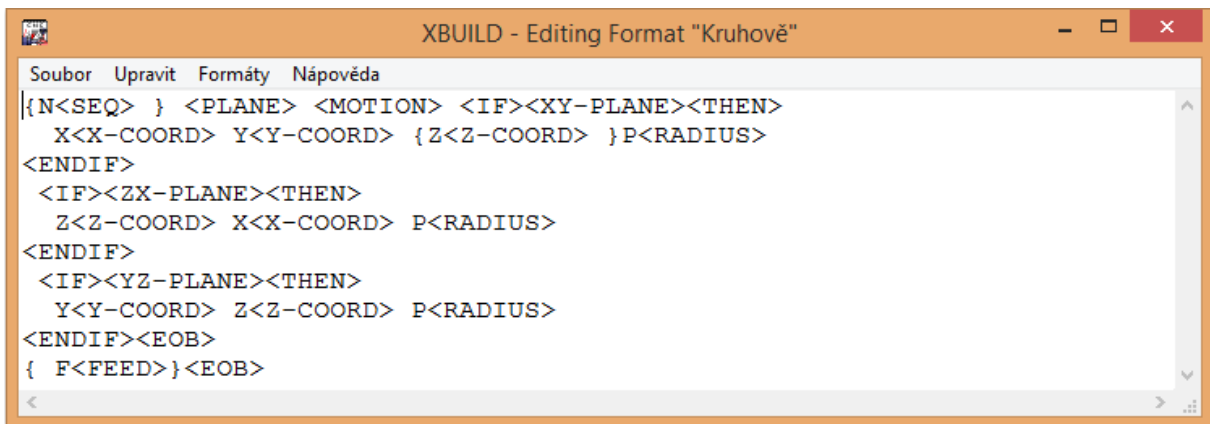


Obrázek 4 a 5 jsou funkce definující rychloposuv. Pohyb „Rychle“ umožňuje se pohybovat nástrojem ve všech hlavní osách. Když to pohyb „Rychle Z“ se pohybuje pouze v ose Z.



Obrázek 31 Pohyb Lineárně

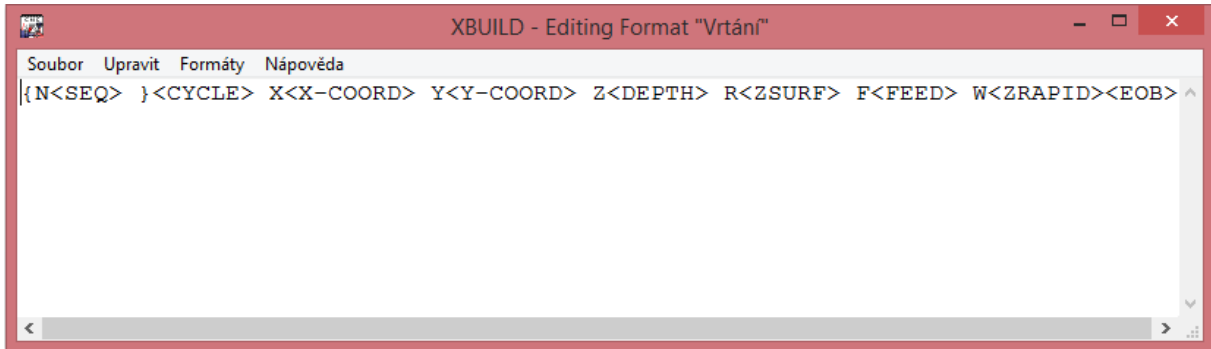
Obrázek 6 je lineární pohyb neboli pracovní posuv. Je definován podobně jako pohyb „Rychle“. Zde je navíc krok, který definuje rychlost pohybu nástroje.



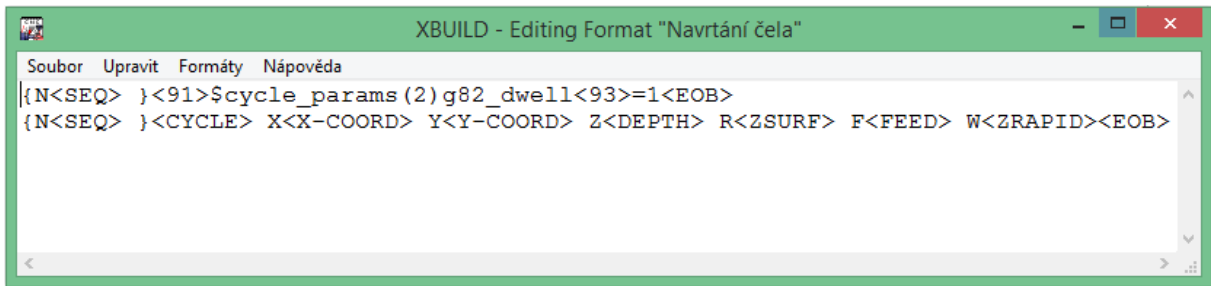
Obrázek 32 Kruhový pohyb

Obrázek 7 Definuje zápis Kruhové pohybu. Zápis pohyb je definován pomocí poloměru.

3. Formáty – Cyklus

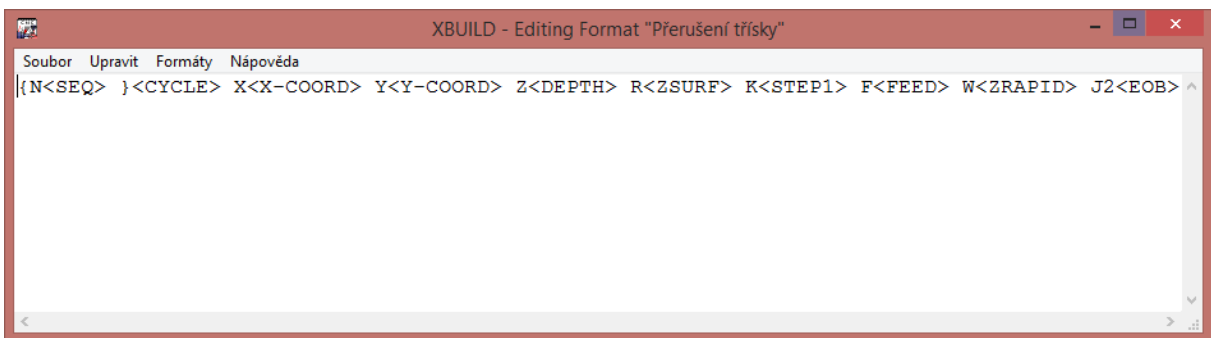


Obrázek 33 Cyklus Vrtání



Obrázek 34 Cyklus Navrtávání čela

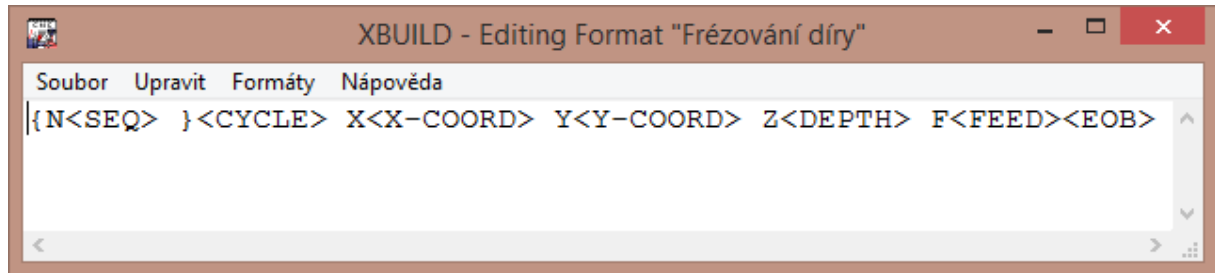
Obrázek 9 je definován souřadnicemi X, Y, hloubkou díry Z, hodnotou R která definuje referenční rovinu, posuvem, krokem, časem vyčkání po vyvrtání díry, než dojde k návratu nástroje do počáteční polohy a parametrem J.



Obrázek 35 Vrtání s přerušením třísky



Obrázek 10 je definován souřadnicemi X, Y, hloubkou díry Z, hodnotou R která definuje referenční rovinu, posuvem, krokem, časem vyčkání po vyvrtání díry, než dojde k návratu nástroje do počáteční polohy a parametrem J.



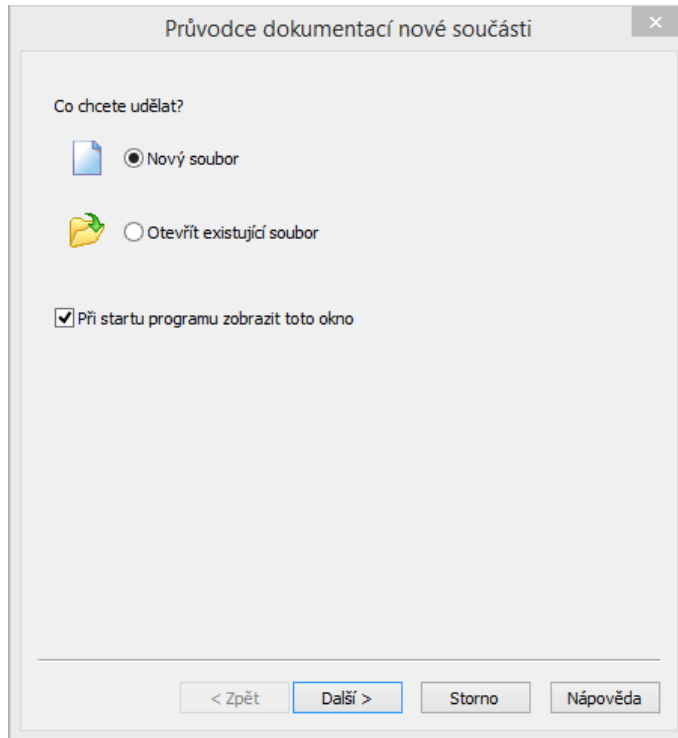
Obrázek 36 Cyklus Frézování díry



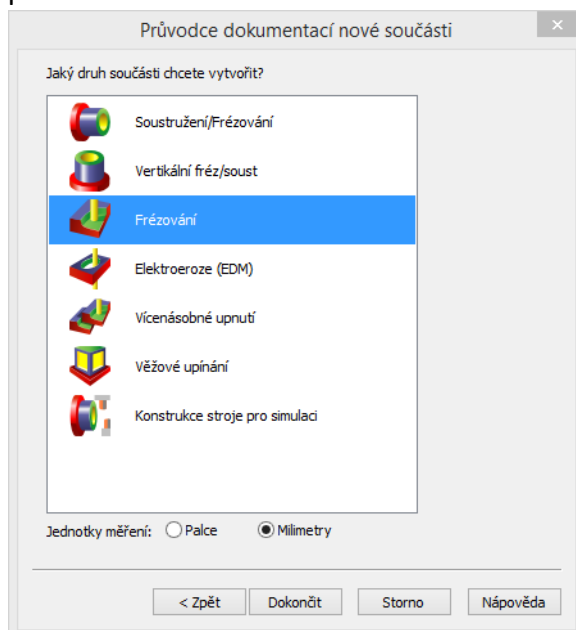
Příloha 3

Postup na vytvoření partprogramu součásti a spuštění simulace modelu stroje VMC 500

1. Spustí program FeatureCAM
2. V průvodci zaškrtni možnost **NOVÝ** a pokračuj stisknutím tlačítka **DALŠÍ**

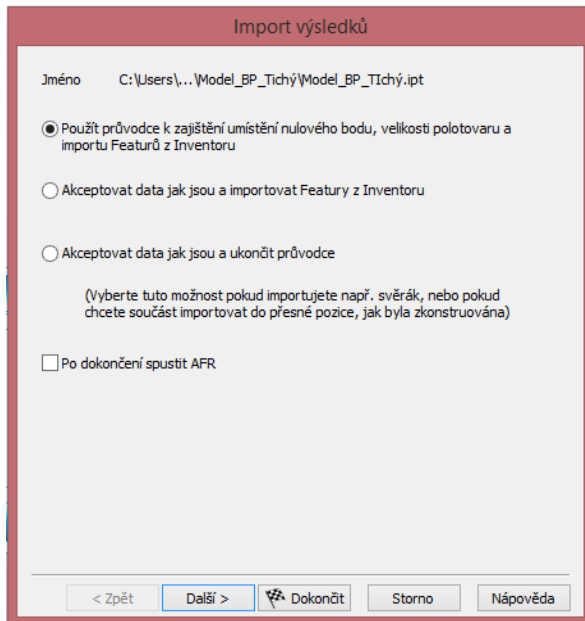


3. V druhém okně vyber možnost **Frézování** a vyber jednotky měření: **milimetry**. Ukonči průvodce tlačítkem **DOKONČIT**.

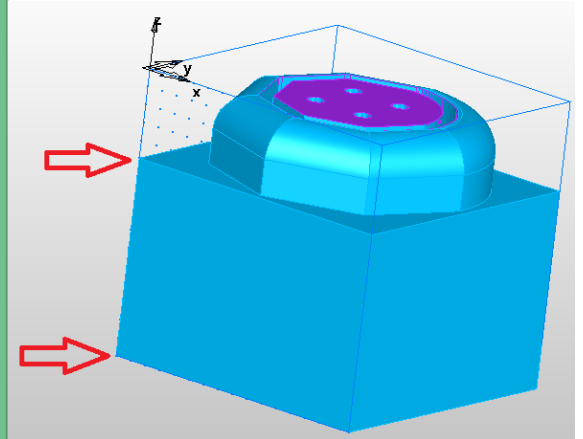
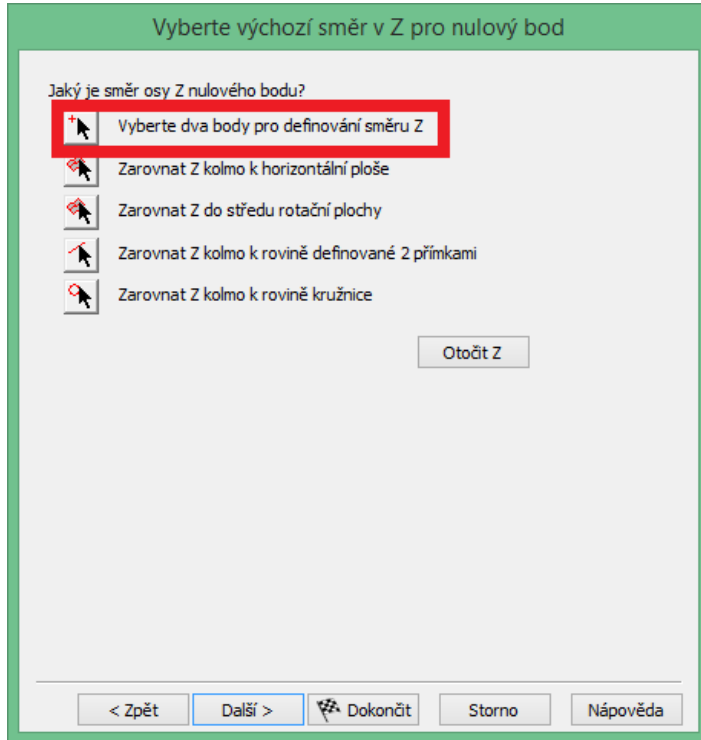




4. Po dokončení výběru úvodního průvodce, se ti otevře modul frézování. A také se otevře průvodce polotovarem, ten tlačítkem **STRONO** odmítne.
5. Pomocí příkazu **Soubor->Import**, importuj součást určenou k obrábění a potvrď tlačítkem **OTEVŘÍT**.
6. Po importování součásti se objeví okno „Import výsledků“ zvolíme první možnost znázorněnou na obrázku a pokračujeme tlačítkem **DALŠÍ**.



7. V dalším kroku budeš definovat směry os Z a X. Pomocí **výběru dvou bodů**, definuj směr osy Z. Potom, pokračuj tlačítkem **DALŠÍ**. Následně stejným způsobem definuj směr osy X a pokračuj v průvodci dále.

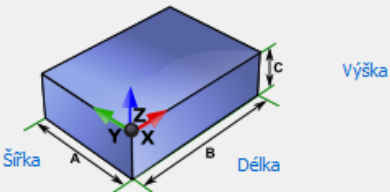


8. V dalším kroku vyber typ polotovaru a příkazem **DALŠÍ** pokračuj dále.

9. Zvol možnost **výpočet polotovaru z velikosti součásti** a v kolonce **Tloušťka** přidáme přídavek na obrábění.

Rozměry polotovaru

Zadejte specifické rozměry polotovaru
 Vypočítat velikost polotovaru z velikosti součásti

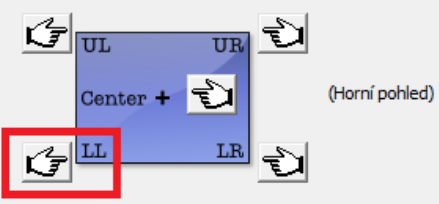


	Importovaná data	Rozměry polotovaru	Offsetovat importovaná	
Délka:	80.000	<input type="text" value="80.000"/> mm	Offset X	<input type="text" value="0.000"/> mm
Šířka:	80.000	<input type="text" value="80.000"/> mm	Offset Y	<input type="text" value="0.000"/> mm
Tloušťka:	75.000	<input type="text" value="80.000"/> mm	Offset Z	<input type="text" value="5.000"/> mm

10. Vyber výchozí pozici pro nulový bod. Ten zvol v Levé horním rohu polotovaru „LL“ A ukonči průvodce tlačítkem **DOKONČIT**. Dojde k definování polotovaru.

Vyberte výchozí polohu XYZ pro nulový bod

Jaké je umístění nulového bodu?



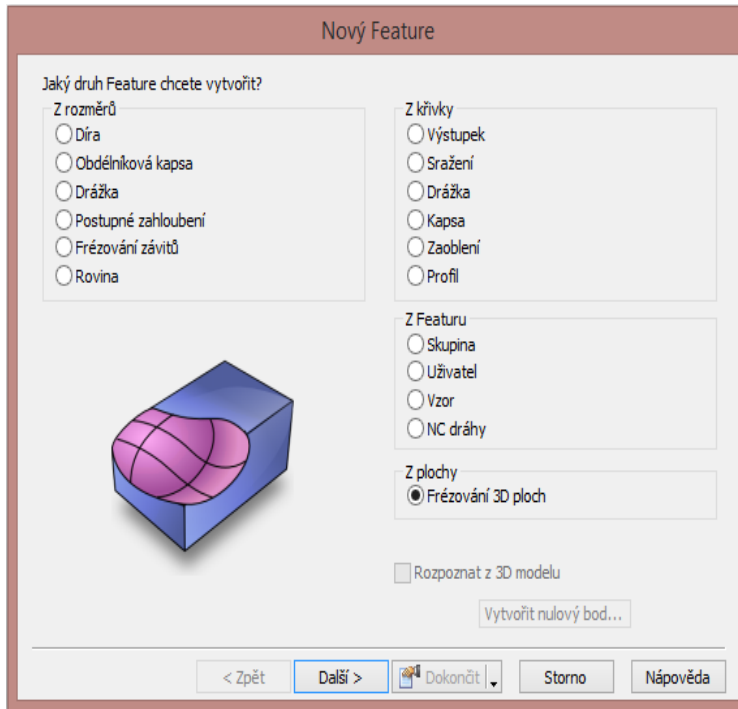
Vyberte pozici
 Střed rotační plochy

X Y Z

Umístění XYZ jsou relativní k dolnímu levému rohu polotovaru.

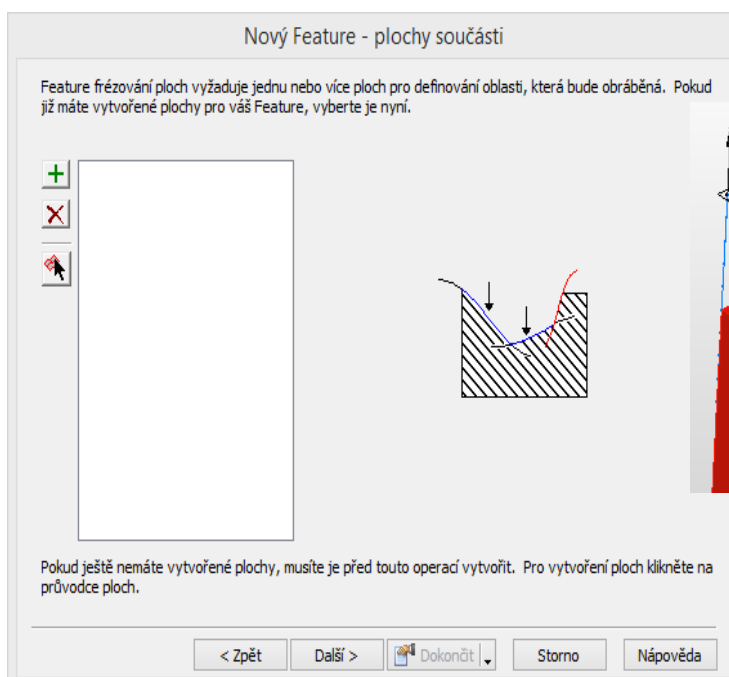


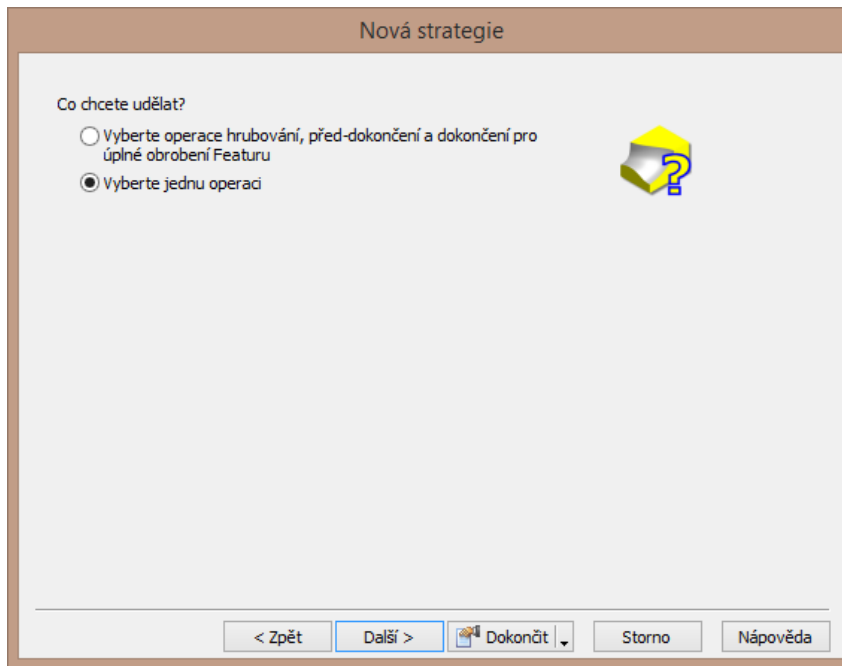
11. Vyber příkaz **FEATURY** ->Frézování 3D ploch a pokračuj tlačítkem **DALŠÍ**.



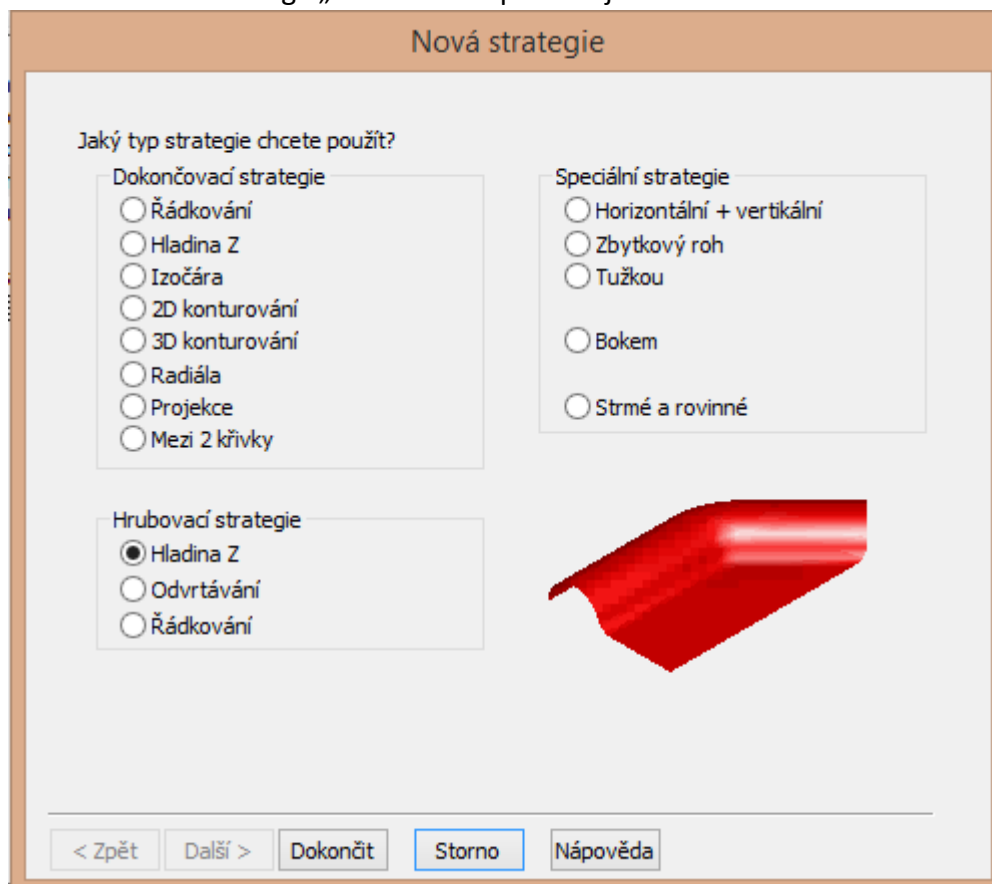
12. Vyber plochy k obrobení a pokračuj tlačítkem **DALŠÍ**.

13. Zvol strategii „jednu operaci“ a pokračuj tlačítkem **DALŠÍ**.

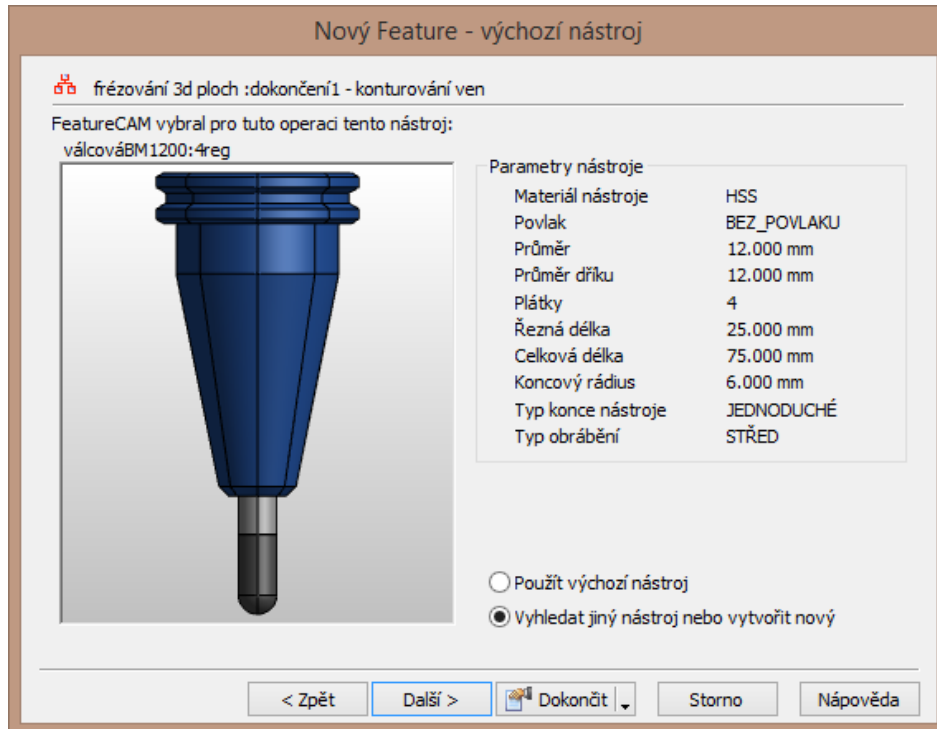




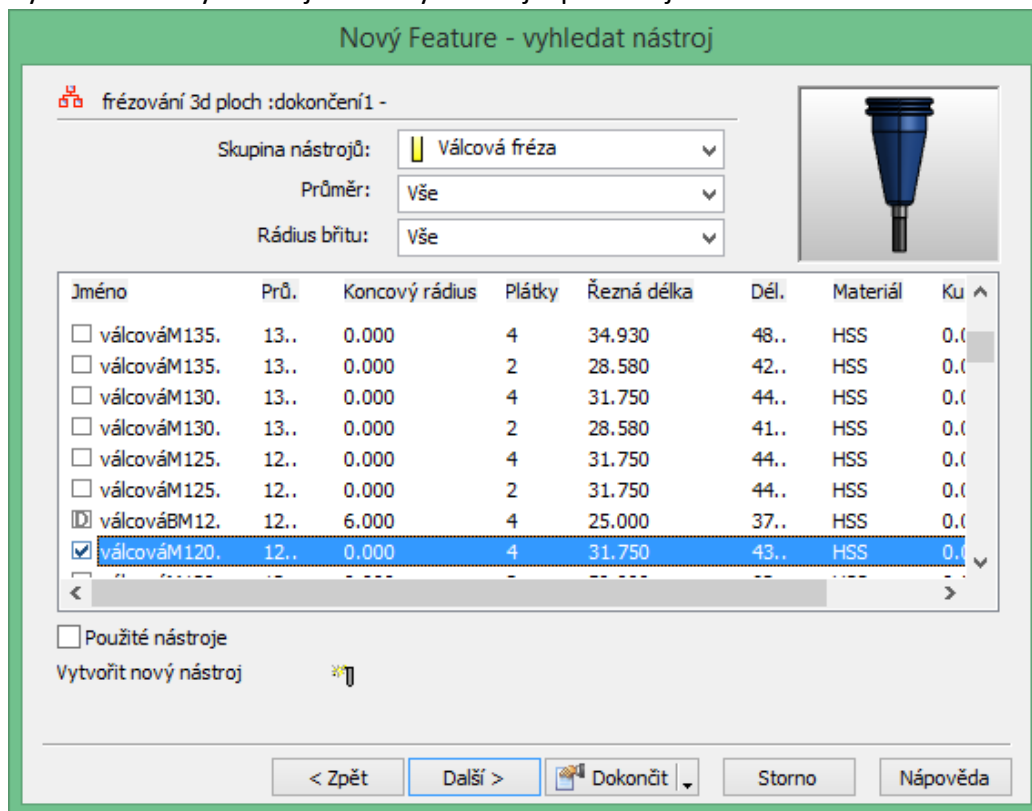
14. Zvol hrubovací strategii „Hladina Z“ a pokračuj dál tlačítkem **DALŠÍ**.



15. Pokračuj tlačítkem **DALŠÍ**, až k příkazu **výchozí nástroj**. Zde zvol možnost „**vyhledání dalšího nástroje**“ a pokračuj dál.



16. Vyber z nabídky nástrojů vhodný nástroj a pokračuj dále.

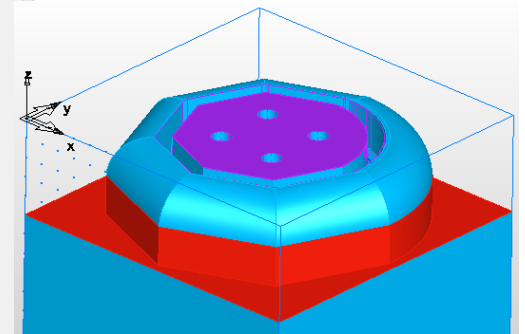
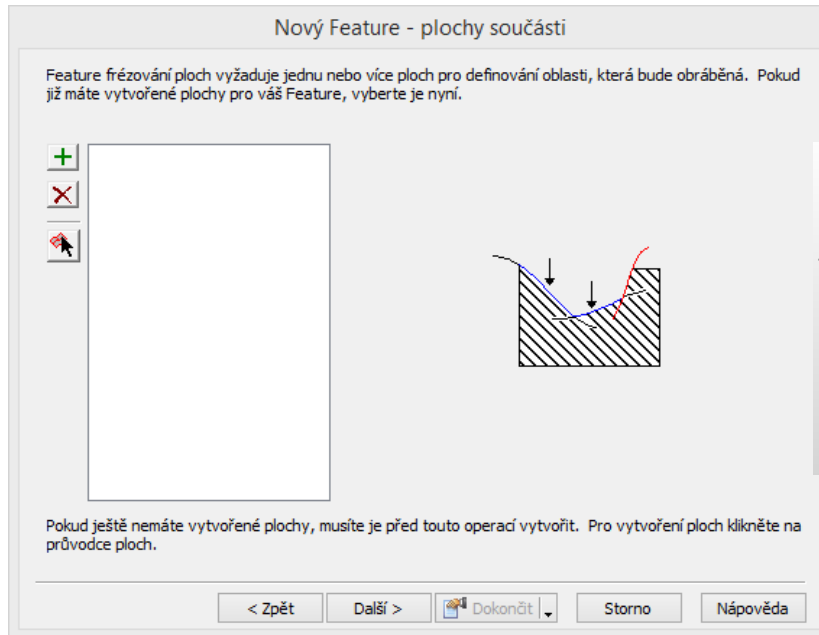


17. Otáčky a posuv nechte dle doporučení a zvol možnost **DOKONČIT**.

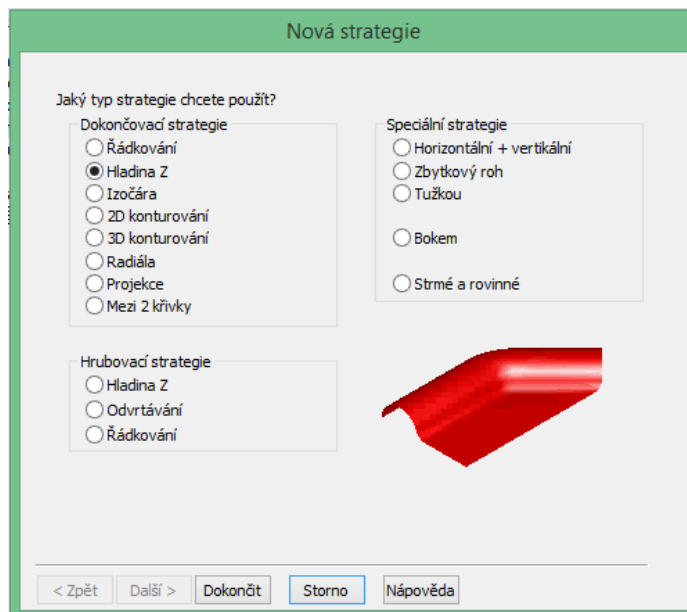


18. Znovu vybereme příkaz **FEATURY** ->Frézování 3D ploch a pokračuj tlačítkem **DALŠÍ**.

19. Vybereme další plochy k obrobení a pokračujeme tlačítek **DALŠÍ**.

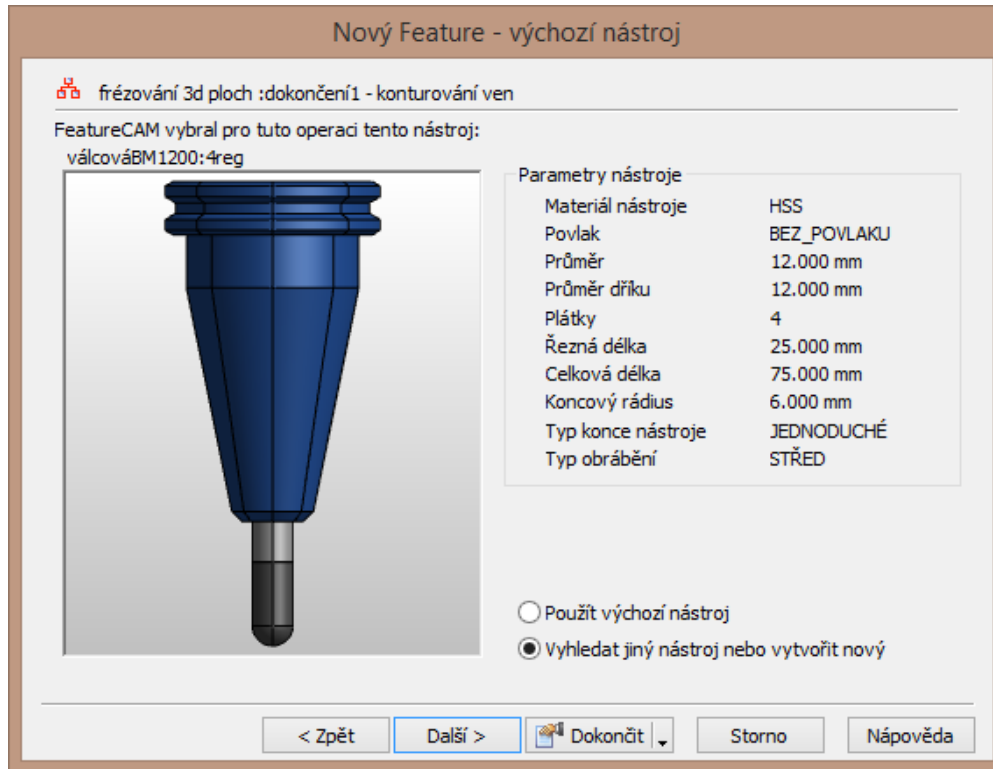


20. Vyber možnost **jedna operace**. Zvol dokončovací strategii „Hladina Z“ a pokračuj v tlačítkem **DALŠÍ**.

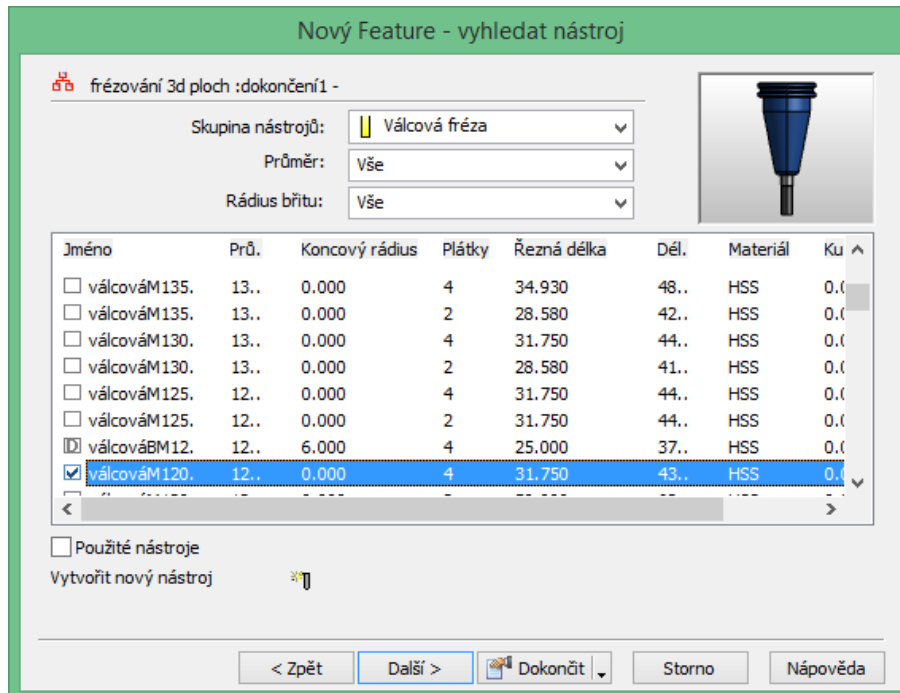




21. Pokračuj tlačítkem **DALŠÍ**, až k příkazu **výchozí nástroj**. Zde zvol možnost „**vyhledání dalšího nástroje**“ a pokračuj dál.



22. Vyber z nabídky nástrojů vhodný nástroj a pokračuj dále.



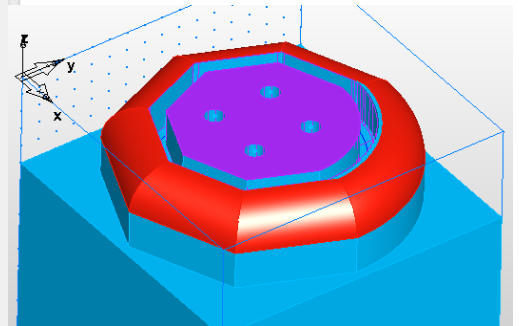
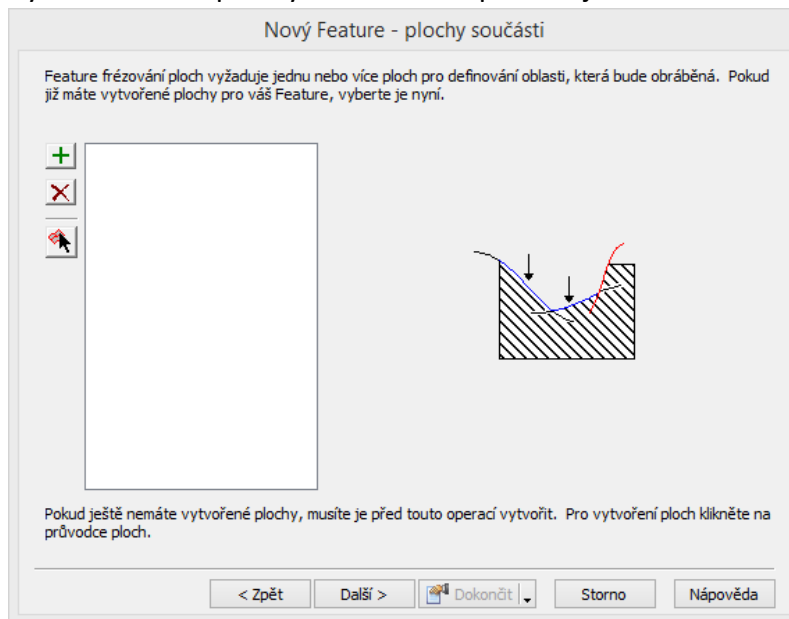


23. Otáčky a posuv nechte dle doporučení a zvol možnost **DOKONČIT**.

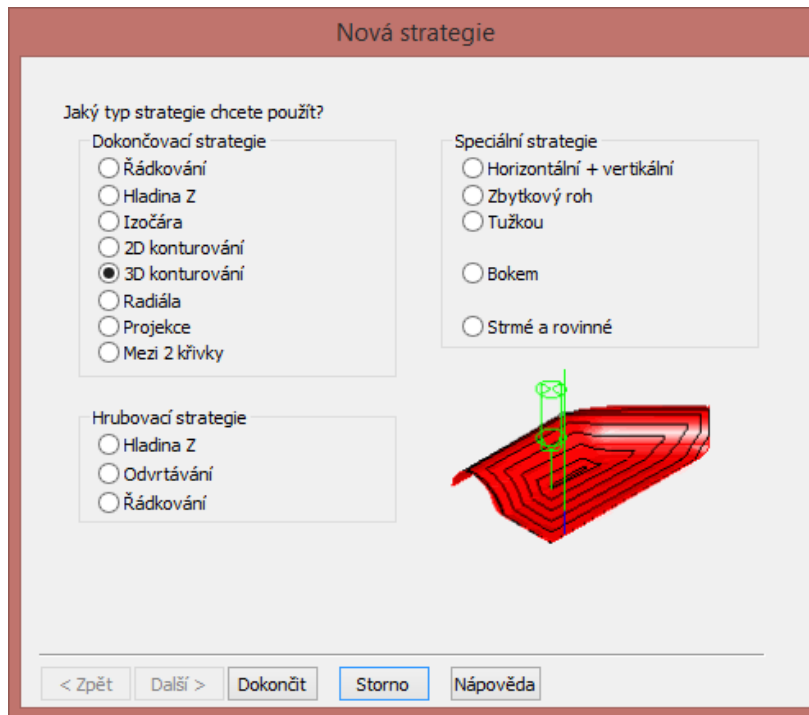


24. Znovu vybereme příkaz **FEATURY** ->Frézování 3D ploch a pokračuj tlačítkem **DALŠÍ**.

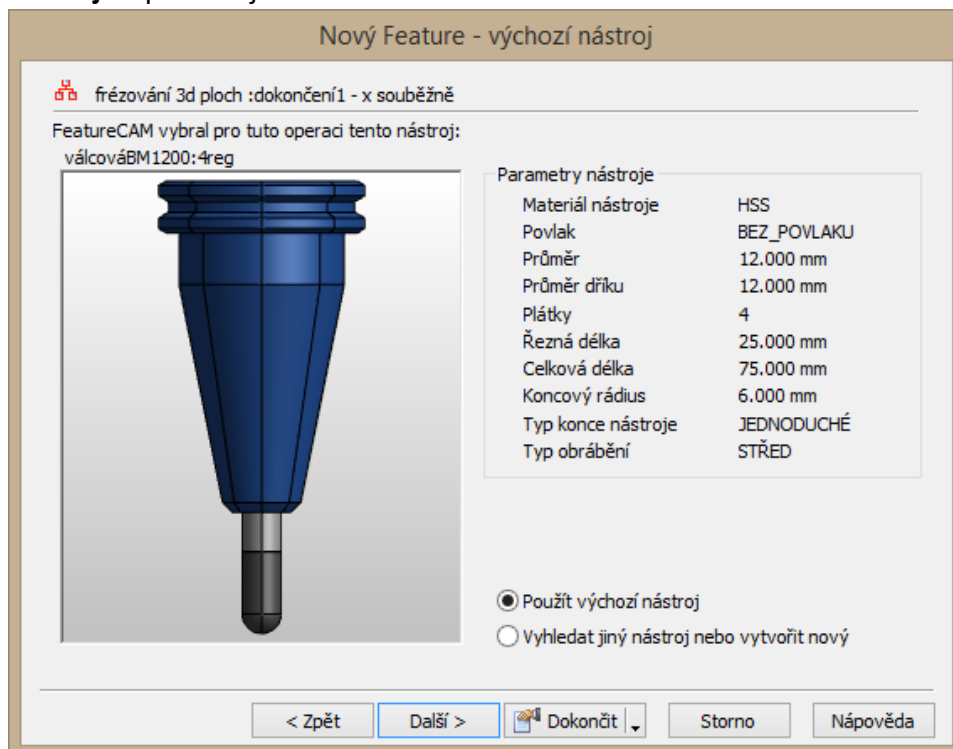
25. Vybereme další plochy k obrobení a pokračujeme tlačítek **DALŠÍ**.



26. Vyber možnost **jedna operace**. Zvol dokončovací strategii „**3D konturování**“ a pokračuj v tlačítkem **DALŠÍ**.



27. Pokračuj tlačítkem **DALŠÍ**, až k příkazu **výchozí nástroj**. Zde zvol možnost „**Použit výchozí nástroj**“ a pokračuj dál.

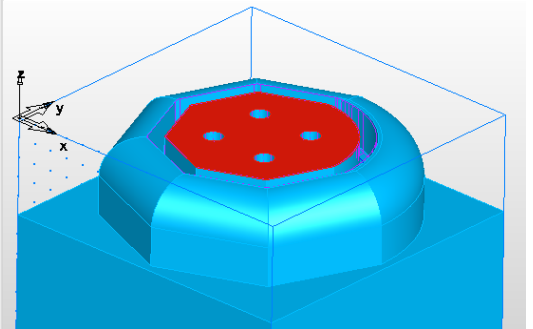
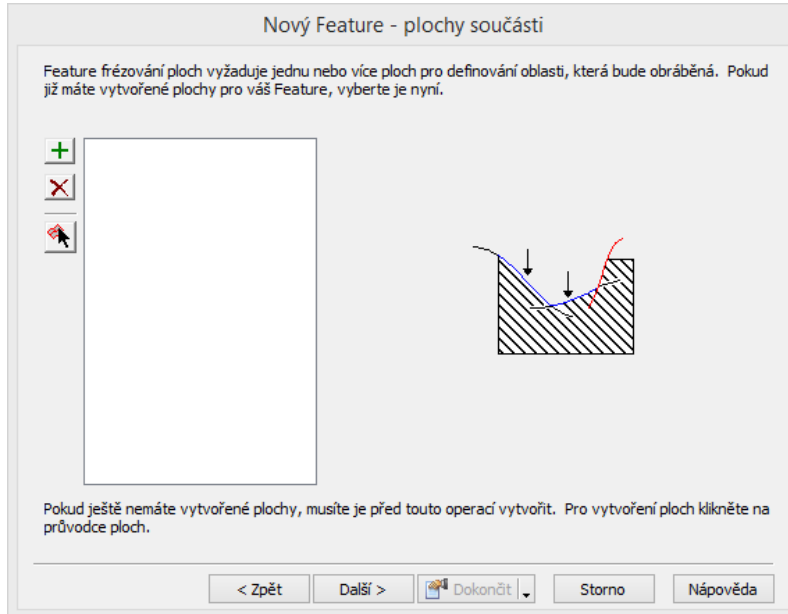


28. Otáčky a posuv nechte dle doporučení a zvol možnost **DOKONČIT**.

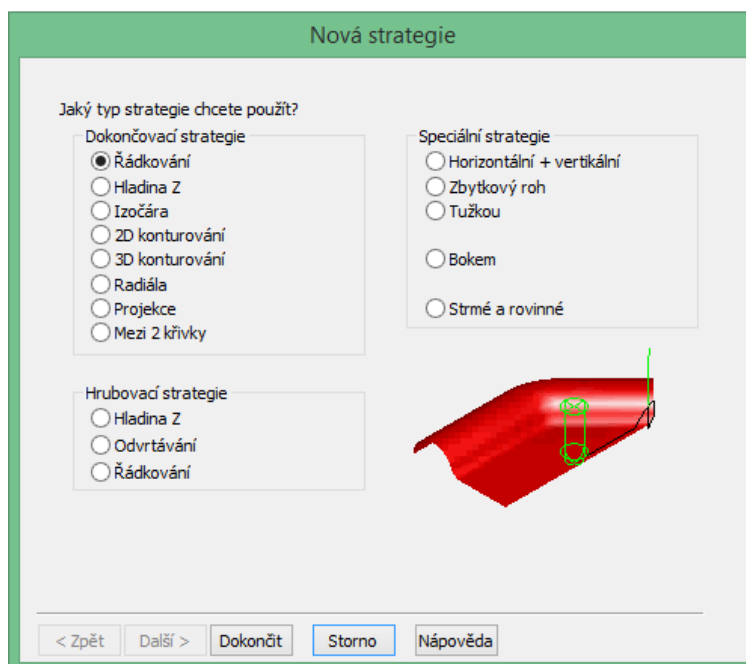


29. Znovu vybereme příkaz **FEATURY** ->Frézování 3D ploch a pokračuj tlačítkem **DALŠÍ**.

30. Vybereme další plochy k obrobení a pokračujeme tlačítek **DALŠÍ**.

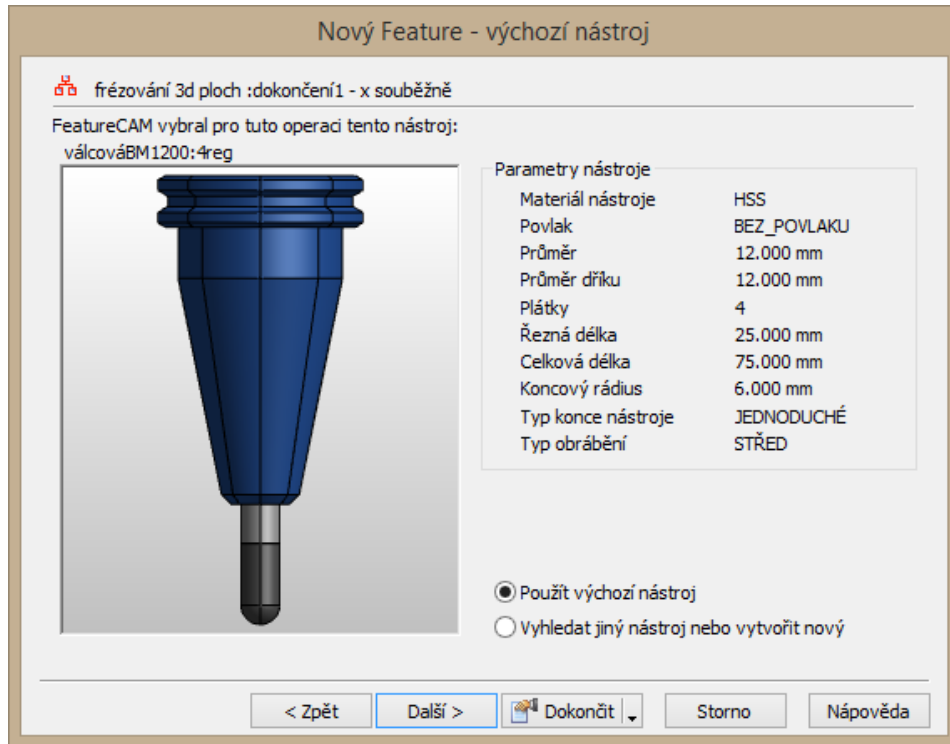


31. Vyber možnost **jedna operace**. Zvol dokončovací strategii „Řádkování“ a pokračuj v tlačítkem **DALŠÍ**.

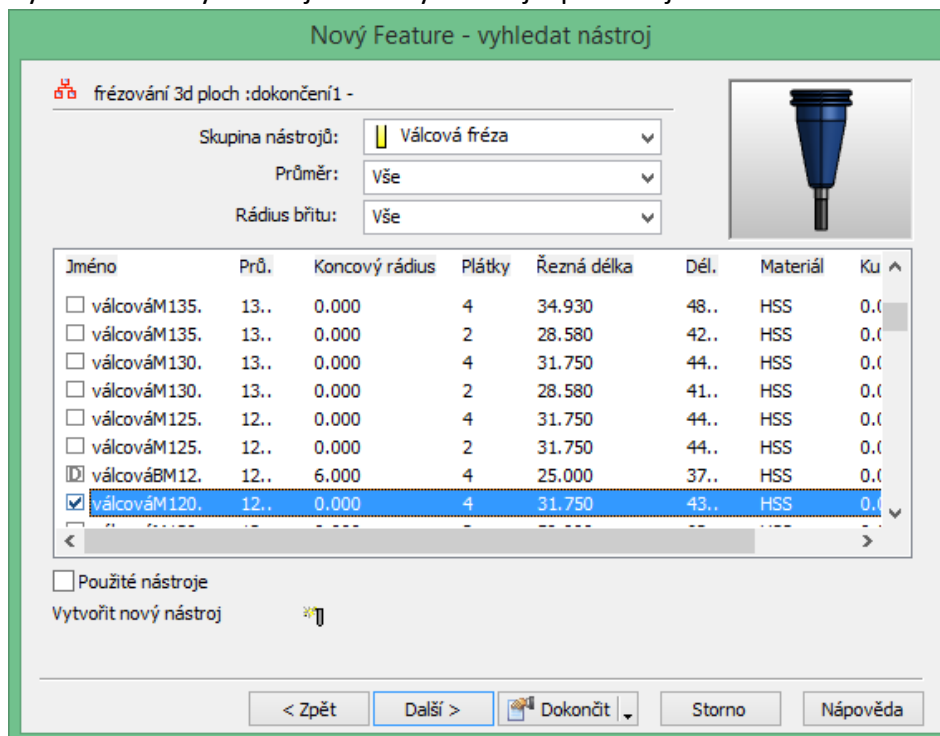




32. Pokračuj tlačítkem **DALŠÍ**, až k příkazu **výchozí nástroj**. Zde zvol možnost „**Vyhledat jiný nástroj**“ a pokračuj dál.

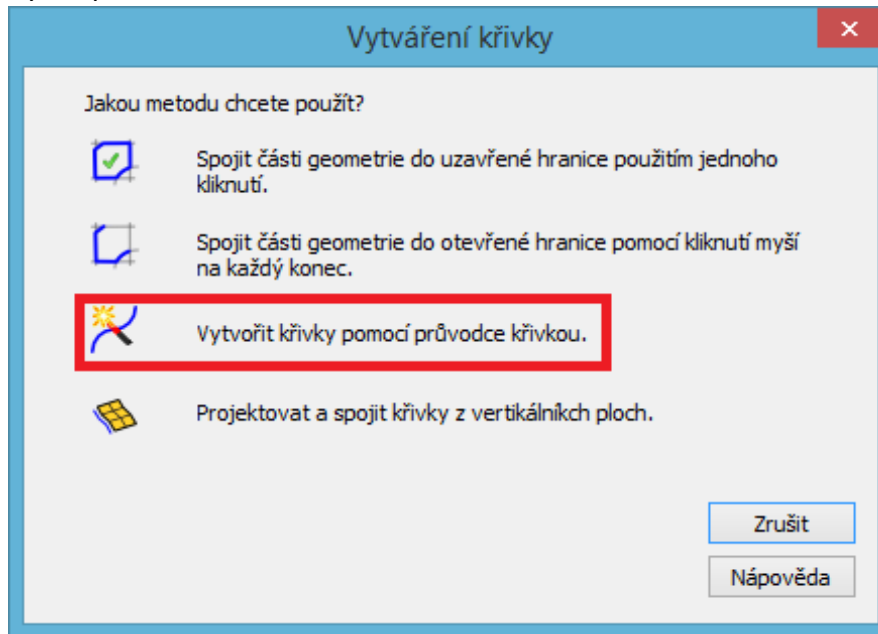


33. Vyber z nabídky nástrojů vhodný nástroj a pokračuj dále.

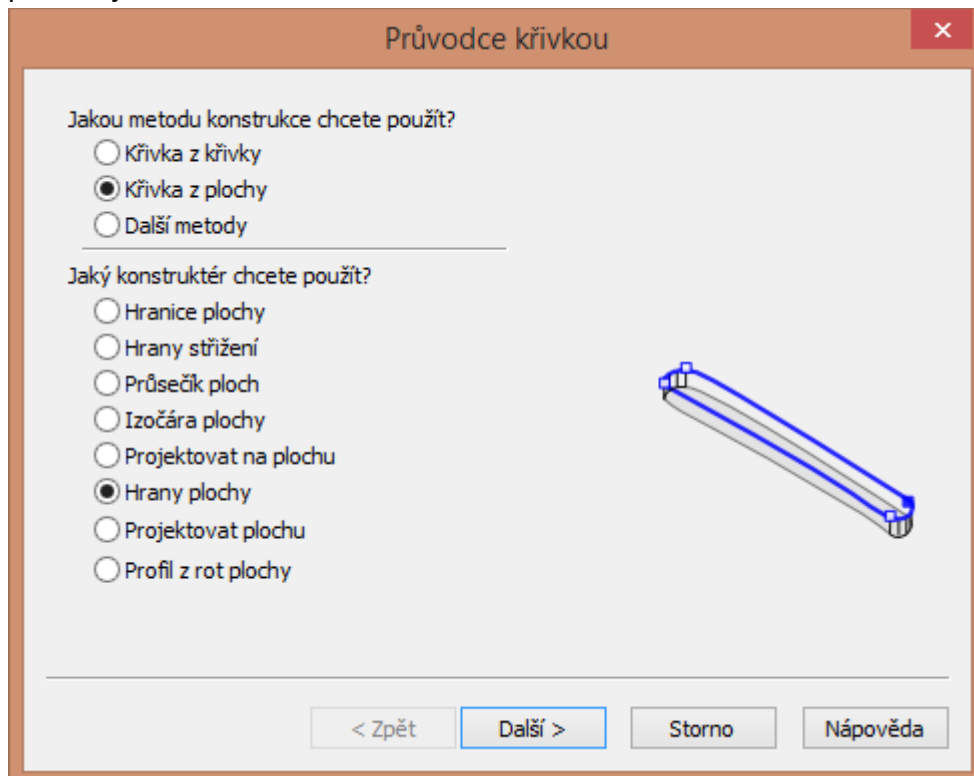


34. Otáčky a posuv nechte dle doporučení a zvol možnost **DOKONČIT**.

35. Vyber příkaz **KŘIVKY**  3. Křivky -> **VYTVOŘIT KŘIVKU POMOCÍ PRŮVODCE KŘIVKOU**.

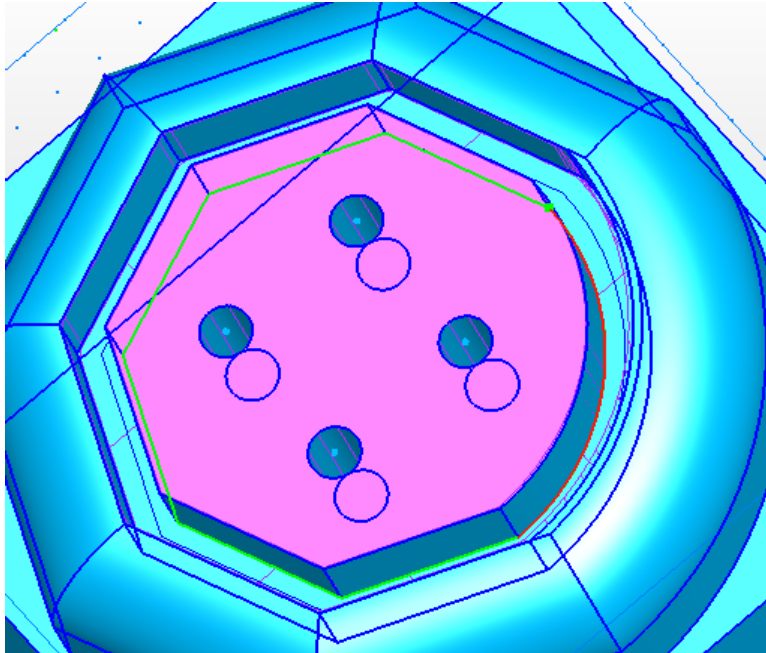


36. Po zobrazení okna vyber metodu **KŘIVKA Z PLOCHY** a konstrukci **HRANY PLOCHY**. Poté pokračuj tlačítkem **DALŠÍ**.





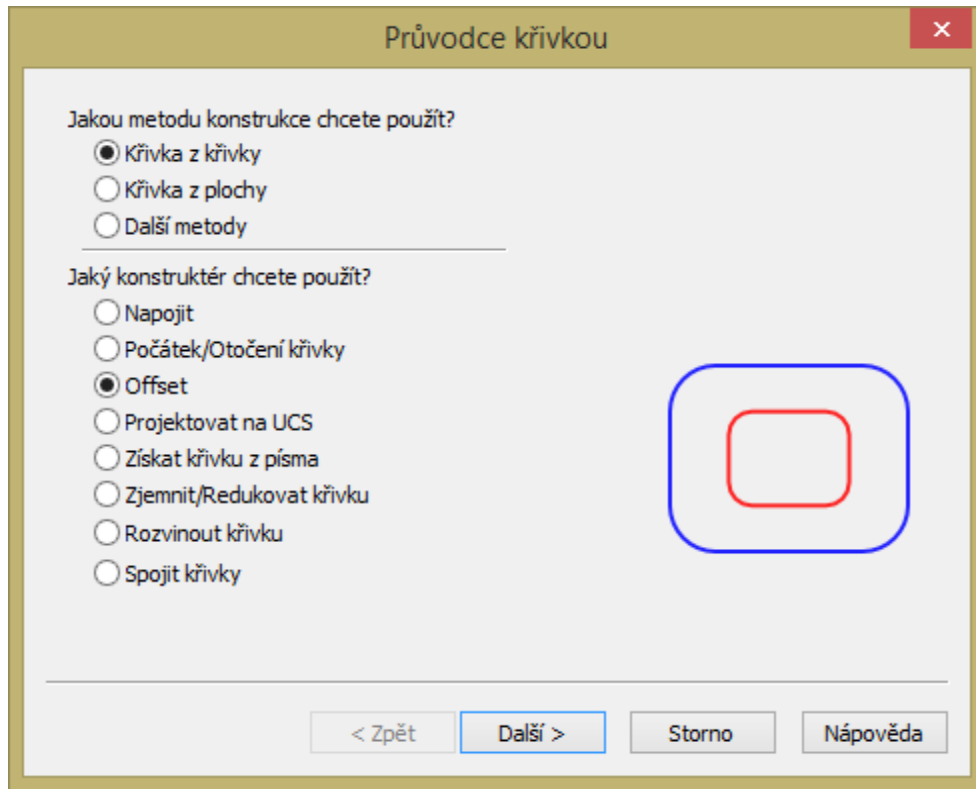
37. Vyber křivky podle obrázku a dokonči průvodce.



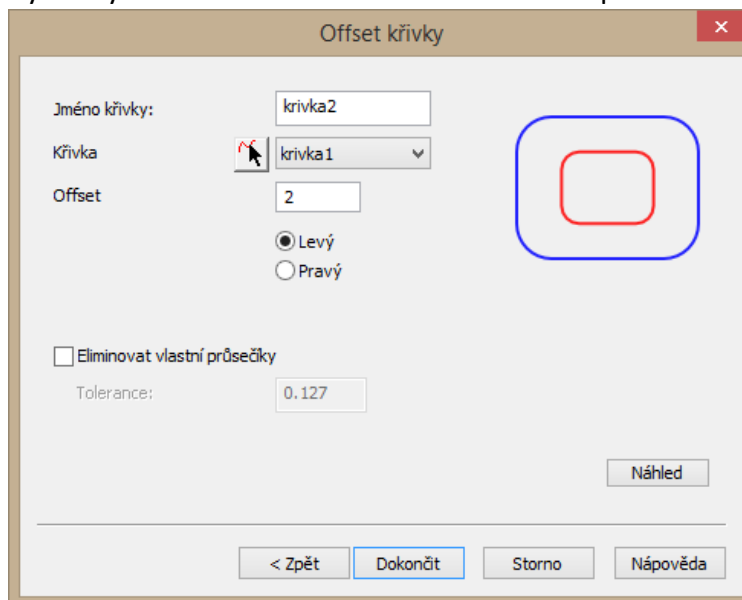
38. Znovu vyber příkaz **KŘIVKY**  3. Křivky ->VYTVOŘIT KŘIVKU POMOCÍ PRŮVODCE KŘIVKOU.



39. Zvol metodu **KŘIVKA Z KŘIVKY** pomocí konstrukce **OFFSET** a pokračuj tlačítkem **DALŠÍ**.

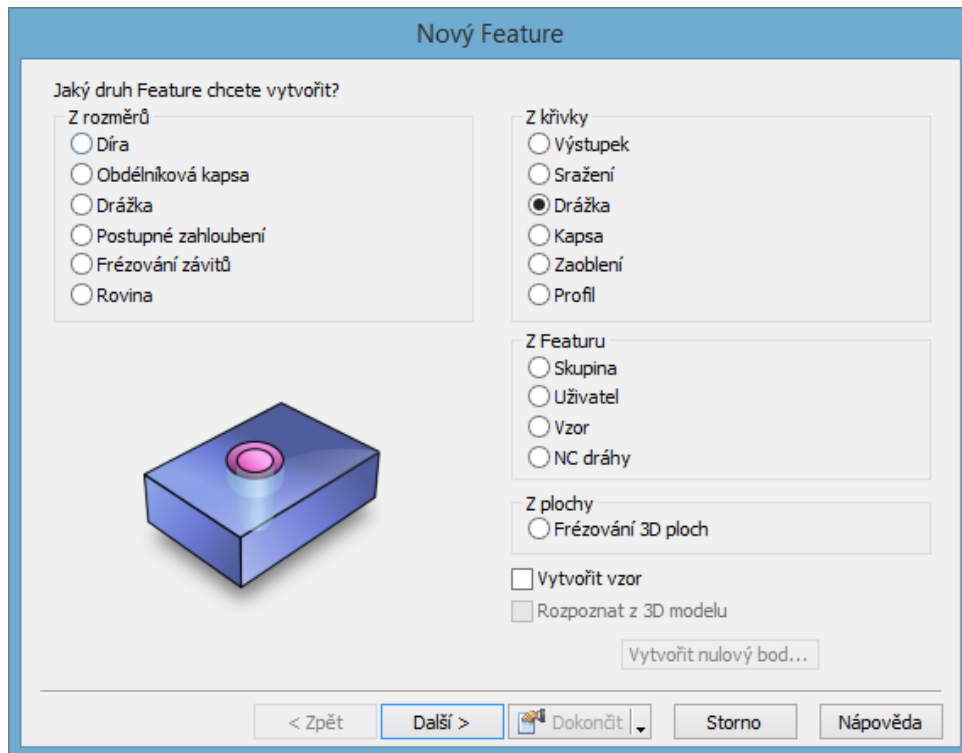


40. Vyber vytvořenou křivku a v okénku Offset napiš číslo 2 a dokonči průvodce



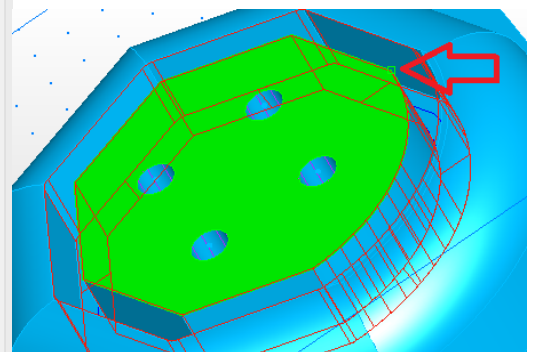
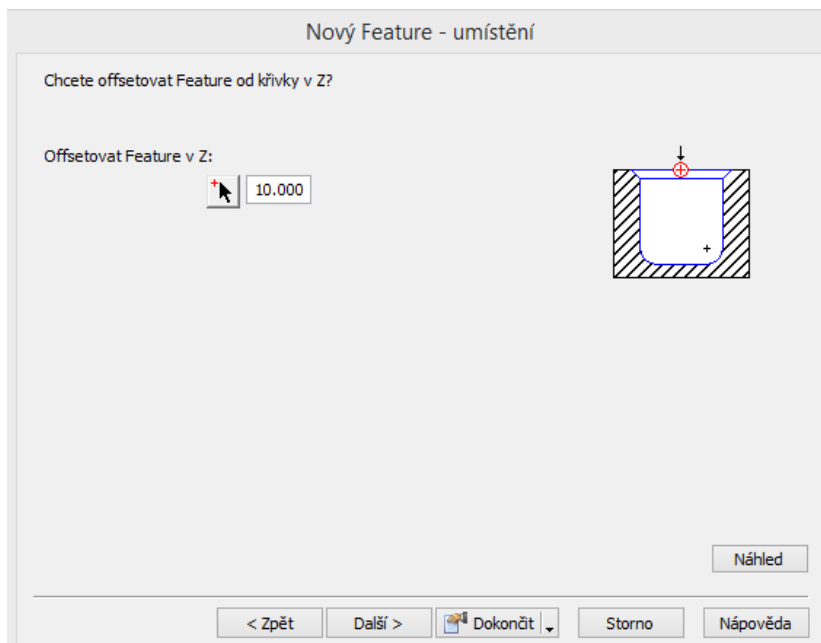


41. Vybereme příkaz **FEATURY** -> **Drážka** strategie z křivky a pokračuj tlačítkem **DALŠÍ**.



42. Vyber křivku, po které pojede střed nástroje. Pokračuj tlačítkem **DALŠÍ**.

43. Vyber umístění Featureu, podle obrázku vyber jakýkoliv bod na horní ploše součásti, poté pokračuj tlačítkem **DALŠÍ**.



44. Zadej rozměry drážky. Pokračuj tlačítkem **DLAŠÍ** až k volbě nástroje.

Nový Feature - rozměry

Zadejte rozměry drážky:

Čelo

Jednoduchý Průchozí

Vnitřní/vnější

Šířka: 4

Hloubka: 10

Spodní rádius: 0.0

Náhled

< Zpět **Další >** Dokončit Storno Nápověda

45. Zde zvol možnost „**Vyhledat jiný nástroj**“ a pokračuj dál.

Nový Feature - výchozí nástroj

frézování 3d ploch :dokončení1 - konturování ven

FeatureCAM vybral pro tuto operaci tento nástroj:
válcováBM1200:4reg

Parametry nástroje

Materiál nástroje	HSS
Povlak	BEZ_POVLAKU
Průměr	12.000 mm
Průměr dřívku	12.000 mm
Plátky	4
Řezná délka	25.000 mm
Celková délka	75.000 mm
Koncový rádius	6.000 mm
Typ konce nástroje	JEDNODUCHÉ
Typ obrábění	STŘED

Použít výchozí nástroj

Vyhledat jiný nástroj nebo vytvořit nový

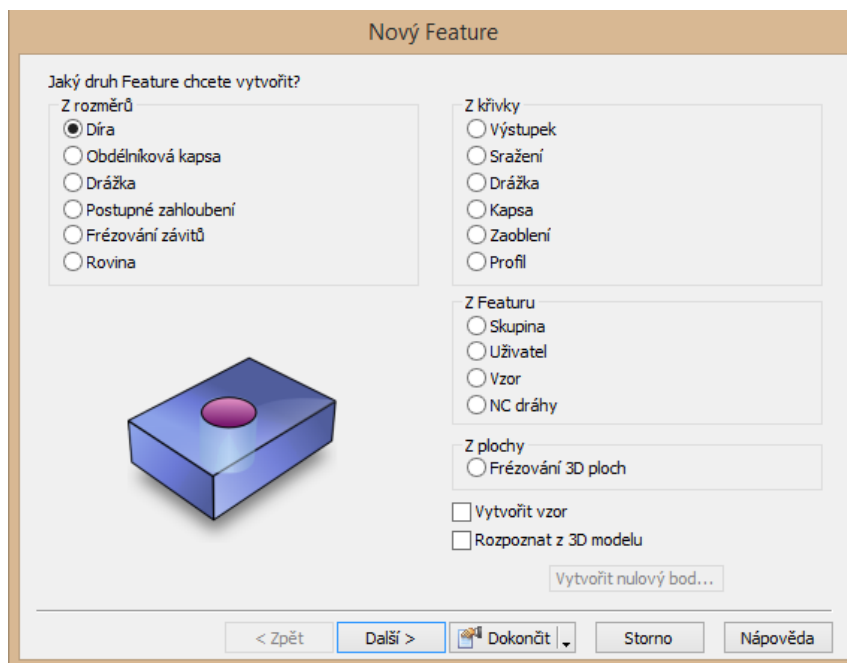
< Zpět **Další >** Dokončit Storno Nápověda



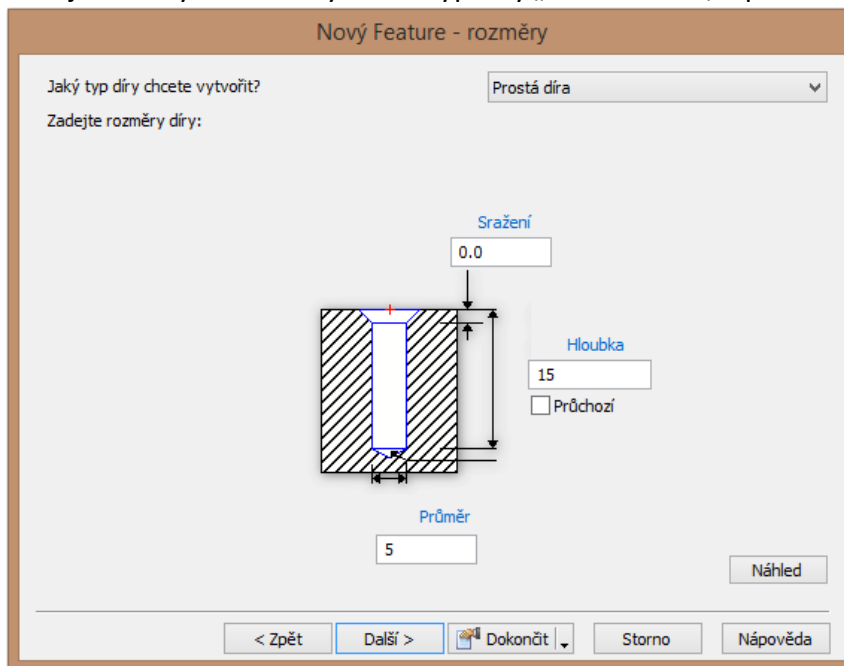
46. Vyber z nabídky nástrojů vhodný nástroj a pokračuj dále

47. Otáčky a posuv nechte dle doporučení a zvol možnost **DOKONČIT**.

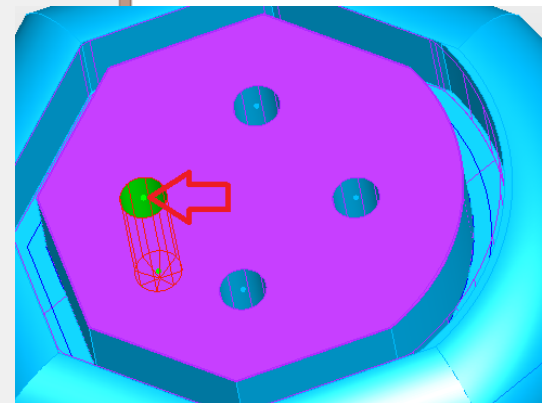
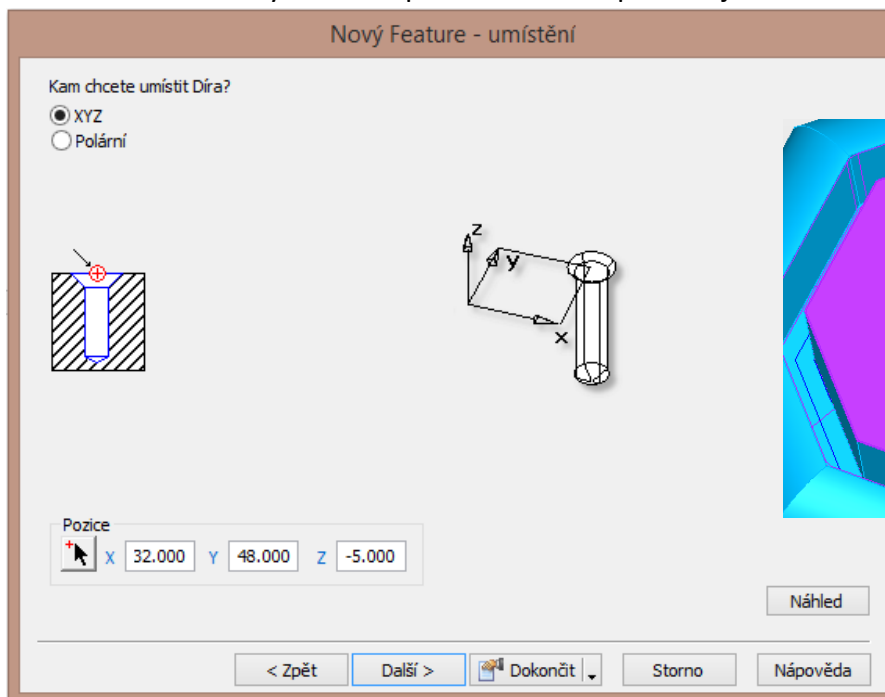
48. Znovu vybereme příkaz **FEATURE**  -> **Díra** strategie z rozměrů a pokračuj tlačítkem **DALŠÍ**.



49. Zadej rozměry vrtané díry a zvol typ díry „**Prostá díra**“, a pokračuj tlačítkem **DALŠÍ**.



50. Zvol střed vrtané díry na horní ploše součásti a pokračuj dál.



51. Zvol strategii vrtání podle obrázku.

Nový Feature - strategie

Jaké strategie chcete použít pro vrtání této díry?

Spojit stejné díry do pevného cyklu

Vyjet do Z rychloposuvu

Vracet na bezpečnou vzdálenost

Operace vrtání

Typ obrábění:

Pouze vrtat

Vrtání/Frézování

Navrtání Srazit hranu při navrtání

Předvrtání

Průměr(y) navrtání=

Vrtání Vystružit před sražením

Výstružník Vyvrtávat

< Zpět **Další >** Dokončit Storno Nápověda

52. Zkontroluj, zda zvolený nástroj je vhodný pro vrtání díry. Zda tomu tak není, vyber jiný vhodný nástroj.

Nový Feature - výchozí nástroj

děra :vrtání

FeatureCAM vybral pro tuto operaci tento nástroj:
TD_M0500:J

Parametry nástroje

Materiál nástroje	HSS
Povlak	BEZ_POVLAKU
Průměr	5.000 mm
Průměr dříku	5.000 mm
Délka	62.000 mm
Celková délka	92.000 mm
Úhel	118 st.
Destičky	Ne
Vrtání	Špička

Použít výchozí nástroj

Vyhledat jiný nástroj nebo vytvořit nový

< Zpět **Další >** Dokončit Storno Nápověda

53. Otáčky a posuv nechte dle doporučení a zvol možnost **DOKONČIT**.



54. Otevři vlastnosti dráhy a v záložce **Cykly** označ cyklus podle obrázku a potvrď tlačítkem **OK**.



55. Vyvrtání druhé díry proved' stejně jako u první díry. Pouze s tím rozdílem, že ve vlastnostech vybereš cyklus podle obrázku.





56. Vyvrtání třetí díry proved' stejně jako u první díry. Pouze s tím rozdílem, že ve vlastnostech vybereš cyklus podle obrázku.

Nástroje P/O Chlazení Cyklus Vrtání

Vrtací cyklus

- Vrtání (G81)
- Navrtání čela (G82)
- Hluboká díra (G83)
- Závítovat (G84)
- Zpětný závit ()
- Přerušit třísku (G83)
- Vystružení FDF (G81)
- Vystružení FF (G81)
- Vystružení FSR (G81)
- Vyvrtávání BezOdporu (G81)
- Vyvrtávání FDSJ (G81)
- Zpětné zahl. ()

57. Vyvrtání čtvrté díry proved' stejně jako u první díry. Pouze s tím rozdílem, že ve vlastnostech vybereš cyklus podle obrázku.

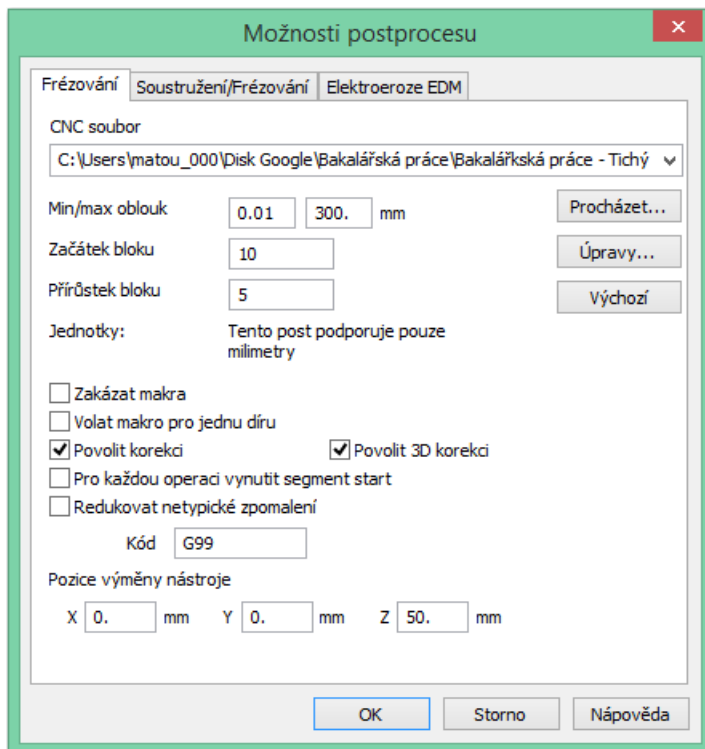
Nástroje P/O Chlazení Cyklus Vrtání


Vrtací cyklus

- Vrtání (G81)
- Navrtání čela (G82)
- Hluboká díra (G83)
- Závítovat (G84)
- Zpětný závit ()
- Přerušit třísku (G83)
- Vystružení FDF (G81)
- Vystružení FF (G81)
- Vystružení FSR (G81)
- Vyvrtávání BezOdporu (G81)
- Vyvrtávání FDSJ (G81)
- Zpětné zahl. ()



58. Příkazem **Výroba->Postprocesor** otevřeš dialogové okno, ve kterém zvolíme potřebný postprocesor pro simulaci s virtuálním strojem



59. Znovu vybereš příkaz **Dráhy** . V oknu pro simulaci vybereš **Simulace stroje** a zmáčkneš **play**

