

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA STROJNÍ

Studijní program: N2301 Strojní inženýrství
Studijní obor: 2303T004 Strojírenská technologie – technologie
obrábění

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Možnosti automatizace programování pomocí nadstavby NX

Autor: **Karel NOSEK**

Vedoucí práce: **doc. Ing. Jiří ČESÁNEK, CSc.**

Akademický rok 2014/2015

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

Fakulta strojní

Akademický rok: 2014/2015

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Karel NOSEK**
Osobní číslo: **S13N0014P**
Studijní program: **N2301 Strojní inženýrství**
Studijní obor: **Strojírenská technologie - technologie obrábění**
Název tématu: **Možnosti automatizace programování pomocí nadstavby NX**
Zadávací katedra: **Katedra technologie obrábění**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

1. Analýza současného stavu řešené problematiky
2. Výběr vhodného představitele
3. Tvorba NC technologie bez a s nadstavbou systému NX
4. Technickoekonomické zhodnocení
5. Závěr

Rozsah grafických prací: **dle potřeby**

Rozsah pracovní zprávy: **50 - 70 stran**

Forma zpracování diplomové práce: **tištěná**

Seznam odborné literatury:

- **JANDEČKA, K. , ČESÁNEK, J. , KOŽMÍN, P. : Programování NC strojů. Plzeň: ZČU, 2000. ISBN 80-7082-694-4**
- **VRABEC, M., MÁDL, J.: NC programování v obrábění. Praha : ČVUT, 2004. ISBN 80-01-03045-8**
- **ŠTULPA, M.: CNC obráběcí stroje a jejich programování, 1. vyd.. Praha : 2006. ISBN 80-7300-207-8.**

Vedoucí diplomové práce: **Doc. Ing. Jiří Česánek, Ph.D.**

Katedra technologie obrábění

Konzultant diplomové práce: **Doc. Ing. Jiří Česánek, Ph.D.**

Katedra technologie obrábění

Datum zadání diplomové práce: **20. října 2014**

Termín odevzdání diplomové práce: **22. května 2015**



Doc. Ing. Milan Edl, Ph.D.
děkan



Doc. Ing. Jan Řehoř, Ph.D.
vedoucí katedry

V Plzni dne 20. října 2014

Prohlášení o autorství

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě diplomovou práci, zpracovanou na závěr studia na Fakultě strojní Západočeské univerzity v Plzni.

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených v seznamu, který je součástí této diplomové práce.

V Plzni dne:.....

.....
podpis autora

ANOTAČNÍ LIST DIPLOMOVÉ PRÁCE

AUTOR	Příjmení Nosek	Jméno Karel		
STUDIJNÍ OBOR	N2301 „Strojírenská technologie – technologie obrábění“			
VEDOUCÍ PRÁCE	Příjmení (včetně titulů) Doc.Ing. Česánek,Ph.D	Jméno Jiří		
PRACOVIŠTĚ	ZČU - FST - KTO			
DRUH PRÁCE	DIPLOMOVÁ	BAKALÁŘSKÁ	Nehodící se škrtněte	
NÁZEV PRÁCE	Možnosti automatizace programování pomocí nadstavby NX			

FAKULTA	strojní	KATEDRA	KTO	ROK ODEVZD.	2015
----------------	---------	----------------	-----	--------------------	------

POČET STRAN (A4 a ekvivalentů A4)

CELKEM	77	TEXTOVÁ ČÁST	70	GRAFICKÁ ČÁST	0
---------------	----	---------------------	----	----------------------	---

STRUČNÝ POPIS ZAMĚŘENÍ, TÉMA, CÍL POZNATKY A PŘÍNOSY	V této práci byly zkoumány možnosti automatizace programování v prostředí NX a byly zkoumány přínosy addonu FBM. Byla porovnávána tvorba technologií klasickou cestou a automatickou cestou v prostředí NX CAM. Přínosy práce jsou zejména v oblasti aplikování metodiky automatického programování do nových oblastí, ve kterých doposud automatika nebyla využívána.
KLÍČOVÁ SLOVA	Automatické obrábění, automatická tvorba technologie, CAM, NX, Siemens PLM, Feature-based machining, tvorba lůžek, VBD, obrábění nástrojů

SUMMARY OF DIPLOMA (BACHELOR) SHEET

AUTHOR	Surname Nosek	Name Karel	
FIELD OF STUDY	N2301“ Manufacturing Processes – Technology of Metal Cutting“		
SUPERVISOR	Surname (Inclusive of Degrees) Doc. Ing. Česánek, Ph.D.	Name Jiří	
INSTITUTION	ZČU - FST - KTO		
TYPE OF WORK	DIPLOMA	BACHELOR	Delete when not applicable
TITLE OF THE WORK	Possibilities of automatic programming using NX addon		

FACULTY	Mechanical Engineering	DEPARTMENT	Machining technology	SUBMITTED IN	2015
----------------	------------------------	-------------------	----------------------	---------------------	------

NUMBER OF PAGES (A4 and eq. A4)

TOTALLY	77	TEXT PART	70	GRAPHICAL PART	0
----------------	----	------------------	----	-----------------------	---

BRIEF DESCRIPTION TOPIC, GOAL, RESULTS AND CONTRIBUTIONS	In this thesis there were investigated the possibilities of programming automation in NX and benefits of addon FBM. There is comparison between the creation of technology in a classic way and automatic way in NX CAM environment. The benefits of work are mainly in applying the methodology of automatic programming into new areas where automation was never used.
KEY WORDS	

Automatic cutting, automatic creation of technology, CAM, NX, Siemens PLM, Feature-based machining, production of sockets, inserts, cutting tools

Poděkování

Tímto chci poděkovat vedoucímu práce doc. Ing. Jiřímu Česánkovi, Ph.D. za jeho vedení a ochotu při poskytování rad a připomínek v průběhu vypracovávání diplomové práce.

Velký dík náležím všem technikům ze společnosti Siemens Product Lifecycle Management Software Inc., kteří se podíleli na zdokonalení modulu automatického programování, dle mých požadavků, za jejich rady, četné konzultace a za odbornou pomoc při řešení problematiky.

Obsah

Obsah	8
Přehled použitých zkratk a symbolů.....	10
1 Teoretický úvod.....	11
1.1 Problematika CAx systémů	12
1.2 Tvorba NC kódu	13
2 Jednotlivé etapy práce	14
3 První etapa: Poznávání možností modulu FBM.....	14
3.1 Feature based machining – addon FBM.....	16
3.2 Různé přístupy programování	17
3.3 Dílčí závěr.....	19
4 Druhá etapa: Princip MKE.....	19
4.1 Princip práce v prostředí MKE.....	19
4.2 Aplikační kritéria, konstanty, materiály a další definující prvky pravidel	20
4.3 Mechanismus výběru vhodných operací	21
4.4 Algoritmus výběru operací	23
4.5 Dílčí závěr.....	26
5 Třetí etapa: Úpravy addonu FBM	27
5.1 Význam PMI kót	27
5.2 Rozpoznávání nových prvků – příkaz Teach Feature	31
5.3 Učení nových operací – příkaz Teach Operation	35
5.4 Mapovací funkce	36
5.5 Barevné odlišení	38
5.6 Dílčí závěr.....	39
6 Čtvrtá etapa: Zásadní problém použitelnosti FBM	40
6.1 Postup při tvorbě technologie v prostředí NX klasickou cestou:	45
6.2 Postup při tvorbě technologie v prostředí NX za použití FBM:.....	45
6.3 Možnosti FBM ve verzi NX9	46
6.4 Dílčí závěr.....	49
7 Pátá etapa: Praktické využití modulu FBM.....	50
7.1 Soustružnické nože a FBM.....	50
7.2 Vrtáky s vyměnitelnými břitovými destičkami a FBM	53
7.3 Dílčí závěr.....	61
8 Šestá etapa: Technicko-ekonomické zhodnocení.....	61

8.1	Bod zvratu.....	61
8.2	Výpočet nákladového bodu zvratu:	62
8.3	Dílčí závěr.....	63
9	Závěr	64
	POUŽITÁ LITERATURA.....	65
	SEZNAM OBRÁZKŮ	66
	PŘÍLOHA č. 1.....	68
	Operace vrtání rohu	69
	Operace zafrézování díry pro upínací šroubek.....	69
	Operace hrubování sedla typ 1	70
	Operace hrubování sedla typ 2	71
	Operace zahrádka (odsazení dosedacích ploch VBD)	72
	Operace vrtání díry pro upínací šroubek	72
	Operace sražení hrany upínací díry	73
	Operace dočištění sedel	74
	Operace dočištění axiálních dosedacích ploch VBD	74
	Operace dočištění radiálních dosedacích ploch VBD	75
	Operace závitování.....	76

Přehled použitých zkratk a symbolů

FBM	... obrábění na základě prvků (Feature based machining)
CAx	... počítačem podporované technologie (Computer-aided technologies)
CAD	... počítačem podporované navrhování (Computer aided engineering)
CAM	... počítačem podporovaná výroba (Computer-aided manufacturing)
CAE	... počítačem podporované výpočty (Computer-aided engineering)
PLM	... řízení životního cyklu produktu (Product lifecycle management)
VBD	... vyměnitelná břitová destička
CNC	... číslicově řízený počítačem (computer numerical control)
NC	... číslicově řízený (numerical control)
3D	... třidimenzionální
OOTB	... knihovny obsažené v základní instalaci (tzv. out of the box)
CSYS	... koordinační systém
STEP	... formát modelů (Standard for the Exchange of Product Model Data)
STEP214	... druh formátu modelů
ISO	... mezinárodní organizace pro normalizaci (International Organization for Standardization)
SIEMENS PLM	... název společnosti (Siemens Product Lifecycle Management Software Inc.)
LWF	... vstupující prvek do obráběcí operace
MWF	... vystupující prvek z obráběcí operace
dll	... druh počítačového souboru (Dynamic Link Library)

1 Teoretický úvod

Jak dnes uspět na trhu? Jak zajistit konkurenceschopnost společnosti? Jak stále držet krok v oblasti, která se neustále vyvíjí?

Nabídnout něco nového, přijít s novým nápadem, s novým řešením... Jedině tak je dnes možné uspět. A proto je tato práce jiná, než ostatní. Cílem této práce není prohlubovat již mnohokrát probádané, ale přijít s nápadem novým, nevšedním, a přesto takovým, který najde uplatnění v praxi.

To co člověka odlišuje od dalších druhů, které obývají naši planetu, je schopnost tvůrčího myšlení. Odjakživa si lidé snaží usnadnit práci. Cílem lidského snažení je vždy dosáhnout určitého pohodlí, dosáhnout stejných výsledků s vynaložením co nejmenšího lidského úsilí. Důsledkem toho je trend moderní doby – automatizace. Automatizace jako taková je dnes vidět napříč všemi myslitelnými odvětvími lidské činnosti. Snahou autora je, zabývat se pouze úzkou, avšak významnou oblastí.

V průběhu minulého století dokázal člověk automatizovat výrobu. S rozvojem výpočetní techniky bylo možné osadit touto technikou obráběcí stroje, což umožnilo strojům pracovat samostatně. Lze však stroje přinutit myslet, aby mohly samy určovat, jak budou vyrábět?

Obrábění je proces, který má jasné zákonitosti, jasná pravidla. Je dáno, za jakých řezných podmínek, čím a jakými postupy, se bude daný tvar z daného materiálu opracovávat. Pokud si obrábění představíme jako soubor znalostí, jako soubor pravidel, co brání člověku v tom, aby tyto znalosti naučil stroje? V první řadě je třeba si uvědomit, že daná základna pravidel je dnes obrovská. Nicméně dá se z tohoto množství vybrat vždy určitá část, která se často opakuje, část prvků, které se vyskytují na více výrobcích.

Jednoduše řečeno, tato práce bude zkoumat možnosti automatizace v této oblasti. Co je možné automatizovat v procesu programování obrábění, co je třeba znát a poskytnout k samotné automatizaci, kde má tato automatizace limity, jaké jsou problémy v automatizaci programování a v neposlední řadě tato práce představí možnosti nestandardního uplatnění automatizace obrábění v praxi.

Pro tuto práci byl zvolen jeden z celosvětově nejpoužívanějších PLM softwarů, software NX. Jedná se o řešení společnosti SIEMENS PLM, které v sobě zahrnuje obrovskou škálu možností od samotného návrhu výrobku přes provádění výpočtů, programování NC strojů, až po programování měřících strojů a zajišťování kvality výroby. Samotná praktická část je výsledkem víceleté výzkumné činnosti, kterou se autor zabýval mimo akademickou půdu.

1.1 Problematika CAx systémů

V současné době valná většina strojních podniků používá nějaký CAx software. Ať už se jedná o velké podniky či malé rodinné firmy, které žijí z velké části pouze výrobou, vždy najdeme u těchto společností nějaký PLM software. [8] Může to být software pro konstrukci (CAD), pro tvorbu výpočtů (CAE) či pro tvorbu programů a technologie (CAM). Tato práce byla zacílena na oblast tvorby programů pro CNC stroje, tedy na oblast CAM. Byl zvolen software NX.

NX je software, který pokrývá základní oblast PLM (Product Lifecycle Management), spojuje v jednom oblasti CAD/CAM/CAE. Společnost SIEMENS PLM má ve svém portfoliu i další produkty, které pokrývají kompletní problematiku řízení životního cyklu produktu. Fakt, že software NX má oblast konstrukce a obrábění řešenou v rámci jednoho produktu, byl dalším důležitým faktorem při rozhodování, v jakém programu vytvářet tuto diplomovou práci. [8]

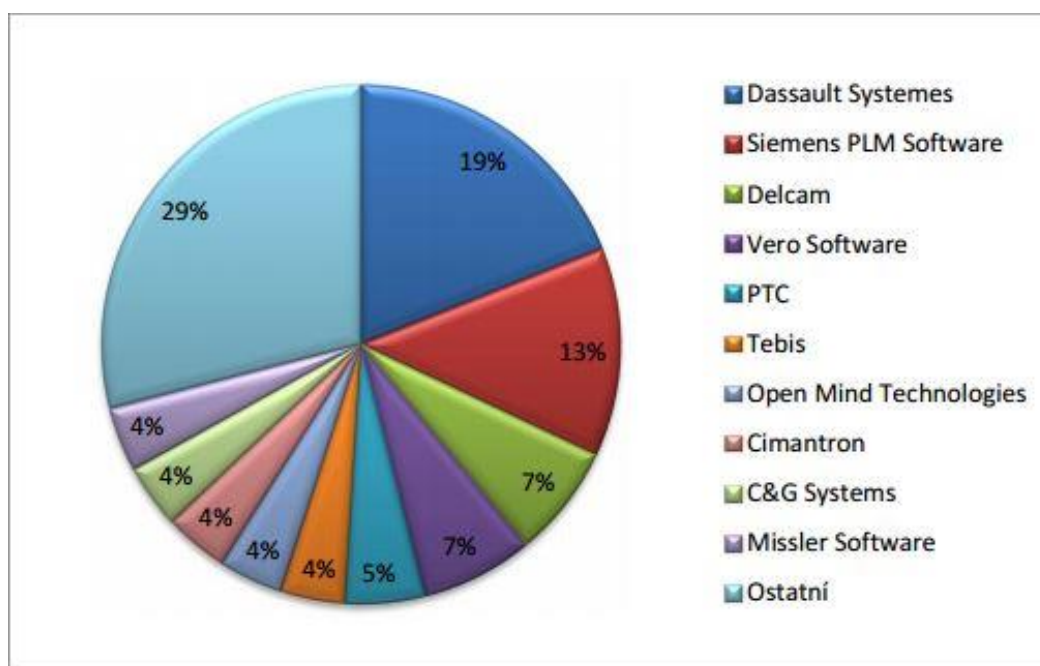


Obr. 1: Myšlenka systémového inženýrství [8]

V době, kdy byla tato práce zpracovávána, byla na trhu verze NX 9. Verze NX 9 obsahuje nové prvky, které zjednodušují jak běžnou práci CAM programátora, tak práci programátora vytvářejícího automatizovanou technologii. Koncem roku 2014 vyšla nová verze NX 10. Práce byla prováděna ve verzi NX 9 z důvodu nepřítomnosti již opravených chyb, které sebou každé vydání nové verze NX nese.

NX patří do skupiny tzv. „velkých CADů“, to znamená, že spojuje dohromady jak konstrukci, tak obrábění. Mezi největší konkurenty tak patří například software CATIA

společnosti Dassault Systemes, který je řešen podobným způsobem. Následující graf zobrazuje největší dodavatele CAM softwaru v roce 2011. [8]



Obr. 2: Procentuální zastoupení výrobců softwaru pro strojn^í podniky na trhu (celosvětově) [8]

V poslední době Dassault Systemes ztrácí první pozici na trhu v oblasti automotive. [8] Příkladem může být přechod jedné z největších automobilek v Evropě Daimler AG ze systémů od společnosti Dassault Systemes ke společnosti SIEMENS PLM. [3] Podobný krok oznamují i další světoví výrobci automobilů, například Chrysler. Důvodem je právě komplexnost nabízených řešení společnosti SIEMENS PLM Software. Velké společnosti hledají řešení, které jednoduše propojí celou oblast výroby produktu. Tímto se řešení nabízené společností Siemens PLM Software jednoznačně odlišuje od ostatních hráčů na trhu s CAx systémy. [8]

1.2 Tvorba NC kódu

Existují dva přístupy tvorby NC kódů. Prvním přístupem je ruční tvorba využívající pevné cykly řídicího systému, podprogramy a proměnné. Druhým přístupem je tvorba NC kódu pomocí CAM systémů. V České republice stále převažuje ruční tvorba NC kódů nad využitím počítačem podporované tvorby, tedy CAM systémy. [5] Zejména menší podniky stále využívají spíše ruční tvorbu. Je však nutné vzít v úvahu sériovost výroby či složitost výrobků. Obecně platí, že čím větší společnost, tím složitější výrobky a tím náročnější NC kód. [8]

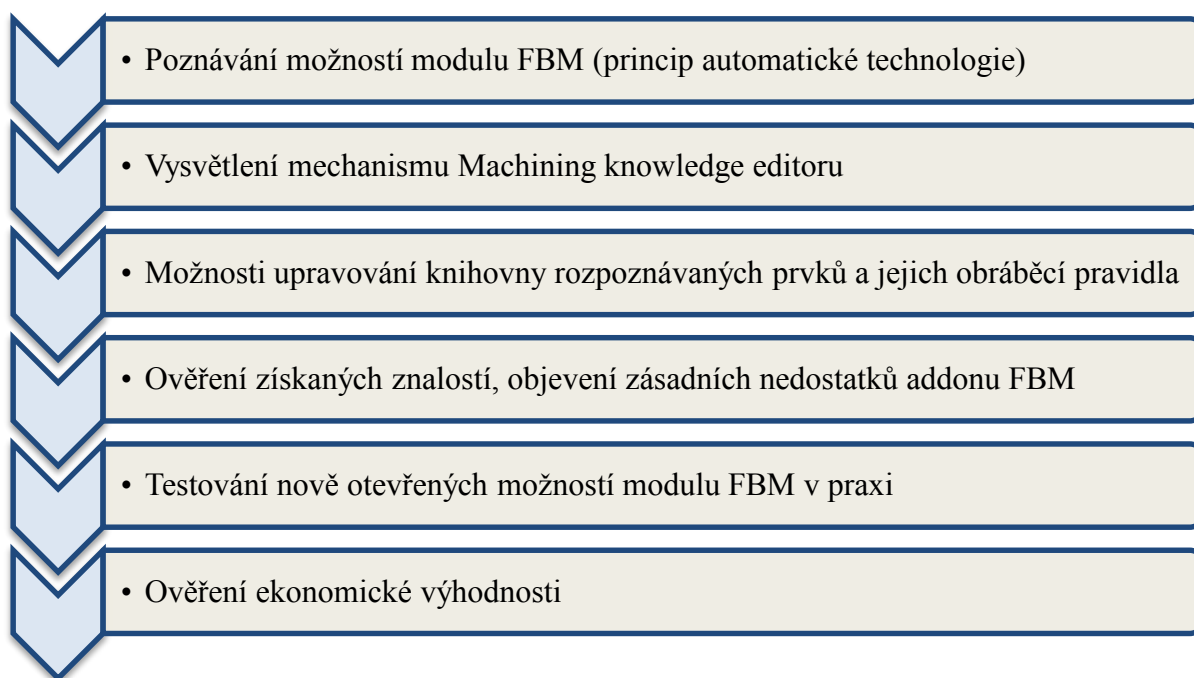
Důvody pro zavedení CAM systému mohou být následující [5]:

- technologové připravují veškeré G kódy pro NC obrábění ručně a pravděpodobnost a četnost výskytu chyby způsobené lidským faktorem je velká
- CNC obráběcí stroje často stojí a čekají na novou práci, celý výrobní provoz tak čeká na výsledek snažení programátora, na to, až se mu povede správně napsat NC program
- NC programátor se stal nenahraditelným, chce si vybrat nashromážděnou dovolenou, onemocní nebo se ho pokusí získat nějaká konkurenční firma
- nemožnost realizovat nabízenou zakázku, protože není znalost, jak naprogramovat danou součást
- nemožnost zpracovat výkresy ve formě CAD dat, nemožnost přímo obrábět načtené modely těles

Z výše uvedeného plyne, že pokud chce být dnes společnost konkurenceschopná, je nezbytné pořízení CAM systému.

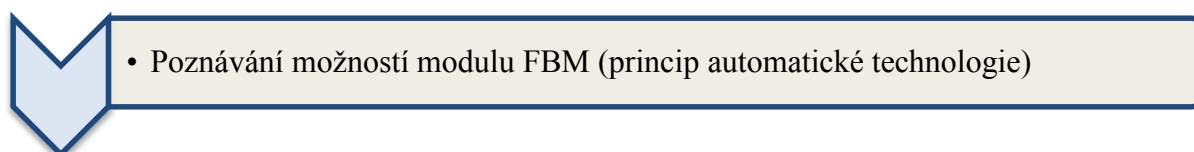
2 Jednotlivé etapy práce

Samotná práce je dělená do jednotlivých etap. Zpracování problematiky automatického obrábění v softwaru NX bylo prováděno systematicky dle následujících bodů:

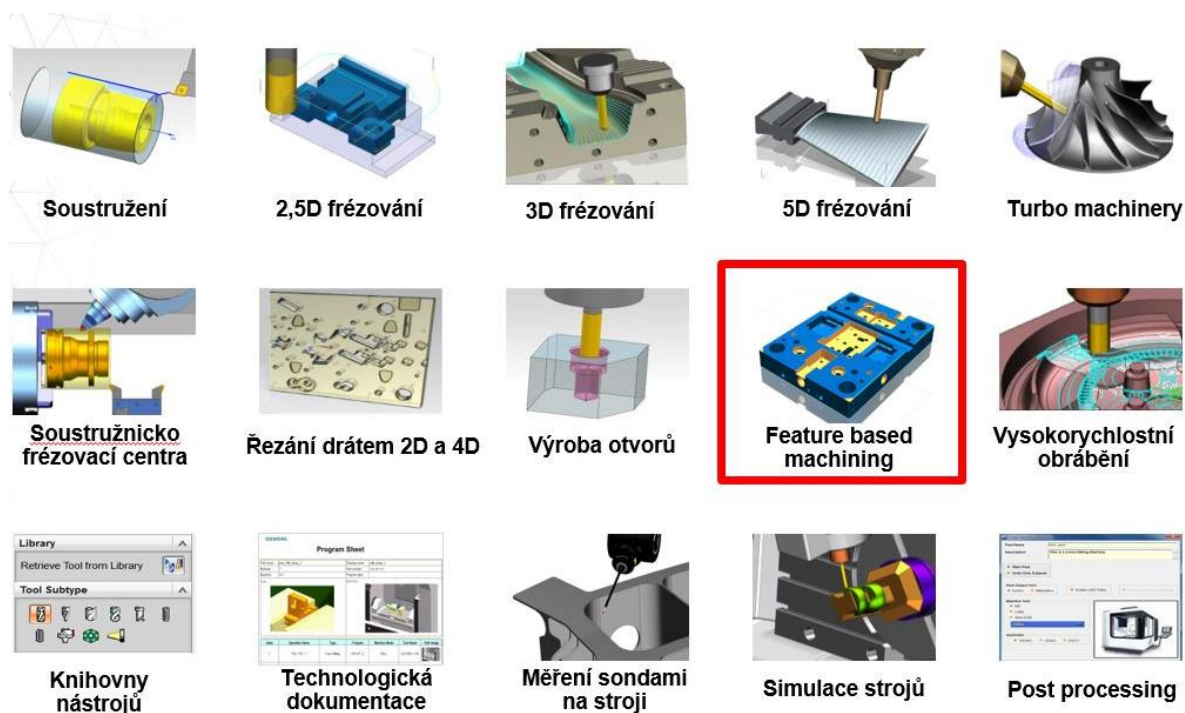


Obr. 3: Etapy práce

3 První etapa: Poznávání možností modulu FBM



Jak již bylo napsáno výše, NX je vysoce modulární systém pokrývající celou fázi vývoje a výroby produktu. Obsahuje jak modelář (CAD), tak moduly s výpočty (CAE) a další moduly pokrývající CAM. V této kapitole bude rozebrán pouze modul NX CAM, který slouží k tvorbě technologií.



Obr. 4: Jednotlivé moduly softwaru NX CAM, mezi které patří addon FBM

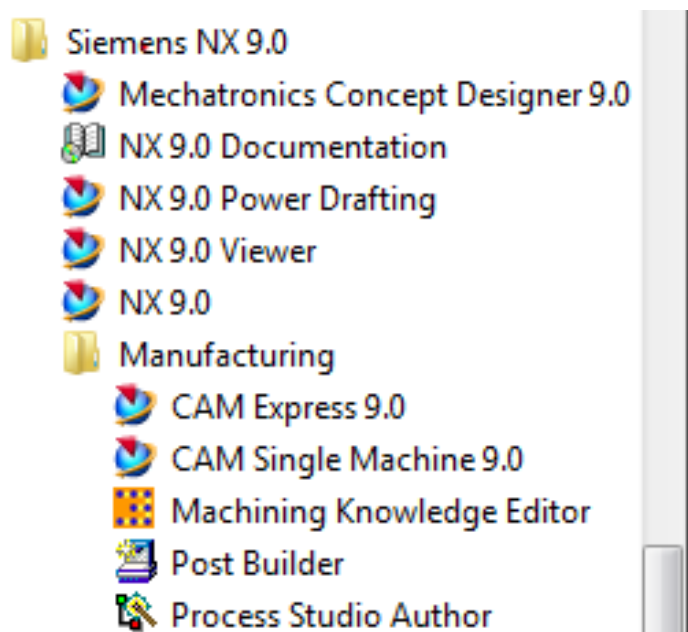
Základem jsou moduly pro soustružení, na které navazují moduly frézovací. Základem pro frézování je modul 2,5D, který umožňuje vytvářet jednoduché, avšak velmi často používané, především rovinné operace. Následuje modul pro 3D frézování, který zahrnuje jednu z nejpoužívanějších operací, kterou je Cavity Milling. Samostatně lze zakoupit moduly pro 5D obrábění a speciální modul pro tvorbu lopatkových kol, který je velmi intuitivní a sám o sobě velmi automatický. Dále jsou k dispozici moduly pro různá centra využívající jak soustružení, tak frézování. Pomocí modulu WEDM lze programovat stroje využívající technologii elektroerozivního drátového řezání, a to jak ve 2, tak ve 4 osách. Modul WEDM je však dosti neintuitivní a už několik NX verzí zůstává téměř bez inovací. [8]

Následují speciální moduly pro tvorbu děr. Jedná se o modul Drilling a Hole Making. Modul Hole Making je novinkou přidanou ve verzi NX9, která sdružuje různé druhy operací pro vytváření děr. Obsahuje nejen vrtání, vystružování ale i pokročilé operace pro tvorbu děr frézováním. Oproti modulu Drilling je práce s ním příjemnější, intuitivnější. Vše probíhá graficky, je znázorňován odebíraný materiál v různých krocích a fázích výroby díry, a to už při samotném definování parametrů dané operace. Jedná se o další úsporu času a zřehlednění práce CAM programátora. Tato novinka přináší změny i do FBM, na které je třeba pamatovat.

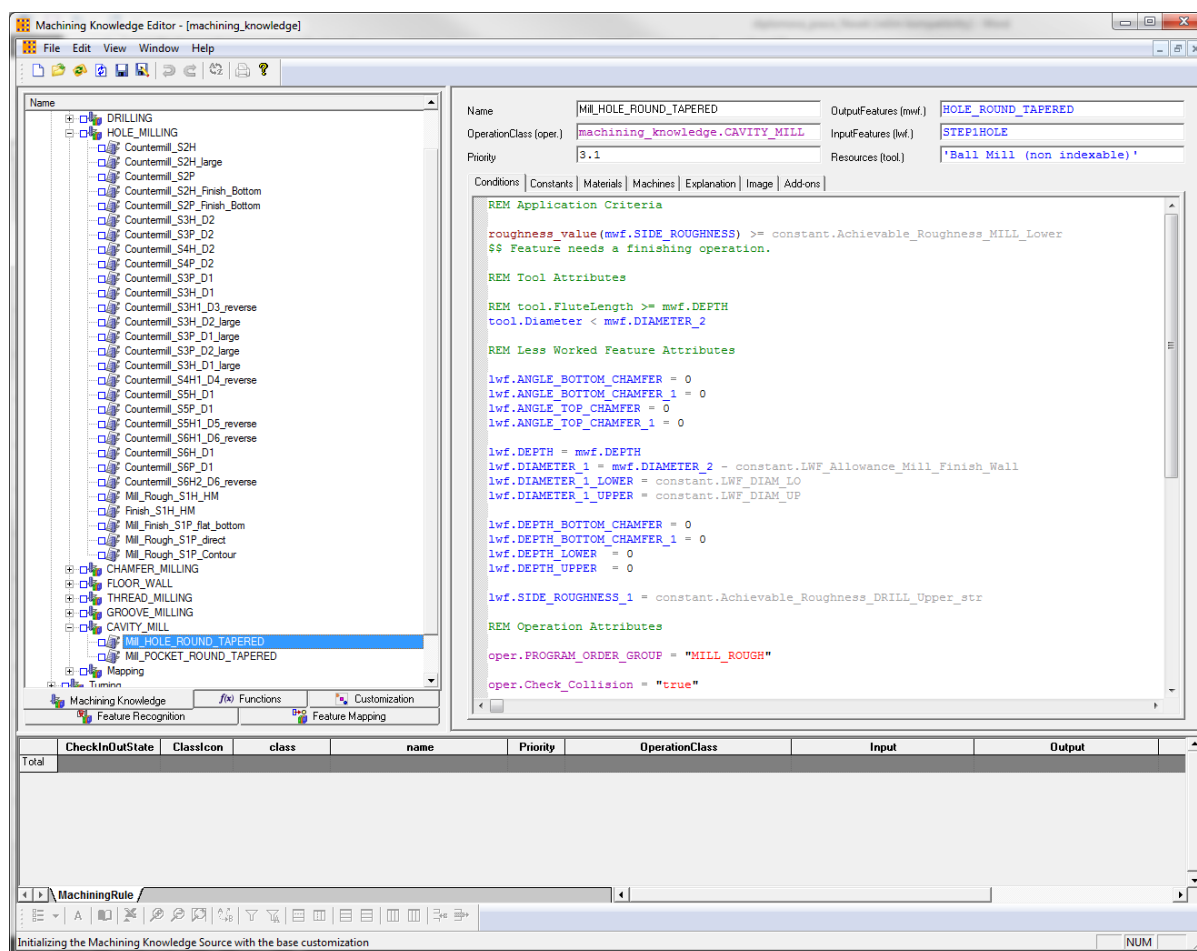
3.1 Feature based machining – addon FBM

Balíček FBM (Feature based machining) je doplněk k základním modulům frézování, soustružení či drátového řezání a každý zákazník, který disponuje jakoukoli CAM licenci pro frézování, soustružení, drátové řezání, disponuje taktéž tzv. OOTB knihovnou (out of the box). Jedná se o knihovnu základních pravidel, která však zákazník nemůže upravovat a přetvářet do podoby, která by vyhovovala jeho typu výrobků. V základní knihovně jsou pravidla pro nejčastěji vytvářené prvky, jako jsou díry, různé druhy drážek, zápichů a dalších jednoduchých tvarových prvků. V případě, že výrobky zákazníka vyžadují úpravu těchto pravidel nebo pravidla nová, je třeba tento doplněk dokoupit. V porovnání s cenami základních modulů a s hodnotou, kterou tento doplněk svému uživateli přináší, je cena zanedbatelná. [8]

Práci s modulem FBM je možné rozdělit na práci běžného uživatele (CAM programátora) a administrátora pravidel. Administrátor je zpravidla jen jeden, počet uživatelů není omezen. Správa pravidel a jejich tvorba se provádí pomocí Machining knowledge editoru (MKE). Jedná se o program spravující různé druhy pravidel, jejich vytváření a mapování. O jaká pravidla se jedná, bude vysvětleno v následujících kapitolách.



Obr. 5: Část podpůrných modulů softwaru NX, mezi které patří Machining knowledge editor společně s Post Builderem



Obr. 6: Prostředí Machining Knowledge editoru

Je třeba si uvědomit, že obsluha tohoto modulu není pouhým klikáním a vybíráním z tabulek či dialogových oken tak, jak tomu bývá při práci s většinou CAM systémů. Od programátora (administrátora), který bude vytvářet tato pravidla, se vyžaduje znalost programovacího jazyka Visual Basic. V případě změn systémových funkcí i jazyk TCL, který lze využít i při psaní postprocessorů pro systém NX. Veškerá pravidla se tvoří pomocí různých podmínek právě v těchto jazycích. [8]

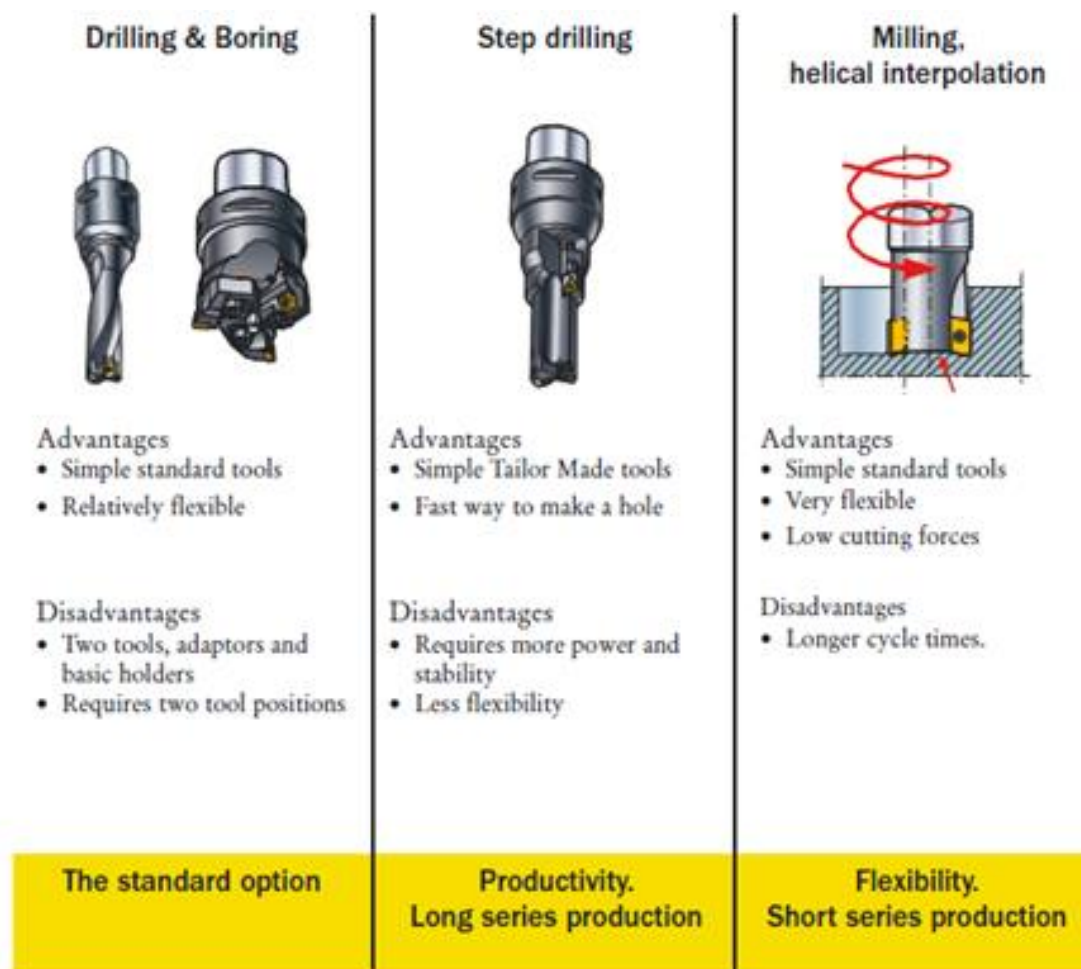
3.2 Různé přístupy programování

Je mnoho způsobů, jak vytvořit danou geometrii. Je na programátorovi, aby rozhodl, jakým způsobem se bude daný prvek obrábět. Například zahlubená díra má mnoho parametrů, které mohou rozhodnout o dané technologii. Těmito parametry mohou být například průměr, hloubka, poměr hloubky a poloměru, kvalita obroběného povrchu, tolerance rozměrů. [6]

V zásadě jsou 3 různé možnosti, jak k této problematice přistupovat [6]:

První možností je použití dvou různých nástrojů. Jedná se o jednoduché řešení, avšak je nutné mít ve stroji hned dvě volná místa v zásobníku nástrojů. Druhou možností je použití stupňovitého vrtáku. U této možnosti tak programátor ušetří jednu pozici v zásobníku nástrojů. Nevýhodou mohou být větší rezné síly a menší flexibilita. [8]

Třetí možností je použití standardních fréz a danou geometrii zhotovit frézováním. Taktéž bude zapotřebí pouze jeden standardní nástroj. U této poslední varianty je zachována větší flexibilita než u předchozí varianty, ale programátor musí zvážit delší čas na zhotovení požadované geometrie. [8]



Obr. 7: Možné přístupy obrábění [6]

Pro výběr správné technologie je zároveň nutné zahrnout další proměnné [6]:

- Různý materiál obrobku
- Různý nástroj
- Průchozí díra nebo plná díra
- Počet děr

Tento přístup myšlení je možné aplikovat na veškeré prvky, nejen tvorbu děr. Vždy rozhoduje, zda je daný přístup ekonomický a zda dokáže splnit požadavky na přesnost. Většina podniků má zažité postupy, jak dané prvky obrábí, které operace používají, jaké parametry nájezdů, rychlostí, jaké nástroje a v jakém pořadí by měly být užity. Tento přístup tvorby technologie je definován souborem pravidel obrábění (Machining Rules), který definuje administrátor v prostředí MKE. [6]

3.3 Dílčí závěr

V první etapě bylo pouze nastíněno, proč automatizovat. Byl poskytnut náhled na různé metody tvorby jednoho prvku. V krátkosti byla představena myšlenka modularity systému NX. Cílem této etapy bylo pouze uvést a nastínit samotný problém automatizace, kterou se bude práce dál zabývat.

4 Druhá etapa: Princip MKE



- Vysvětlení mechanismu Machining knowledge editoru

MKE je nástrojem, kterým lze upravovat pravidla definující postup obrábění. Je tedy nástrojem, který definuje nejlepší techniky obrábění v rámci podniku. Obsahuje velkou část know-how společnosti a často se jedná o databázi znalostí, která je tvořena po mnoho let.

4.1 Princip práce v prostředí MKE

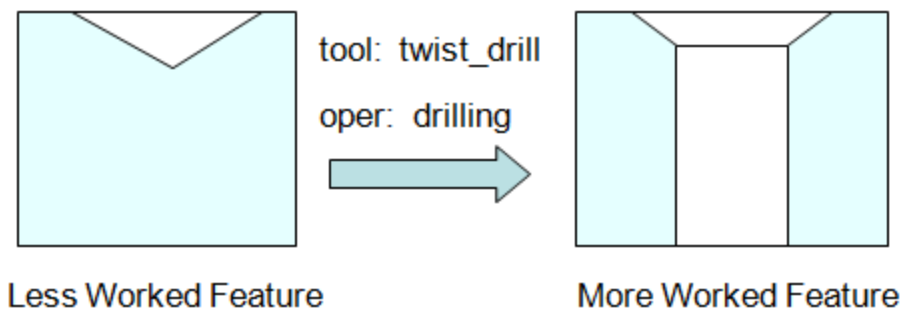
Největší část v prostředí MKE zabírají obráběcí pravidla (machining rule). Tato pravidla definují, jakým způsobem bude daný prvek obráběn. U každého pravidla vycházíme z určité geometrie, která do operace vstupuje. Dále je definována geometrie, která by měla z pravidla vystupovat. [8]

Name	Drill Hole in Center	OutputFeatures (mwf.)	STEP1HOLE
OperationClass (oper.)	DRILLING	InputFeatures (lwf.)	POCKET_ROUND_TAPERED
Priority	10	Resources (tool.)	TWIST_DRILL
Conditions Constants Materials Machines Explanation Image Add-ons			

Obr. 8: Šest základních komponent, které hrubě definují obráběcí pravidlo [6]

Každé pravidlo má 6 základních komponent, které určují, co se bude vyrábět, z čeho se bude vyrábět, název pravidla, druh operace, prioritu pravidla a třídu nástroje.

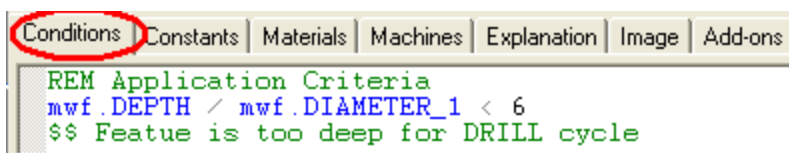
Nejdůležitějšími komponentami jsou tzv. MWF (more worked feature), které určují vstupující prvek. LWF (less worked feature) jsou prvky, které z dané operace vystupují. Je důležité si uvědomit, že prvek, který je vyráběn, ať už je to díra, kapsa, nebo zápich, většinou vzniká postupně více operacemi. Nejprve je díra navrtána, následuje vrtání, a nakonec vystružení. Tento základní princip je vidět na následujícím obrázku, kde je znázorněn druhý krok výroby díry. Z navrtané „kapsy“ vzniká díra. LWF je tak POCKET_ROUND_TAPERED (navrtaný důlek) a prvek vystupující z operace (MWF) STEP1HOLE [8]



Obr. 9: Postupná metodika tvorby prvku od LWF k MWF [6]

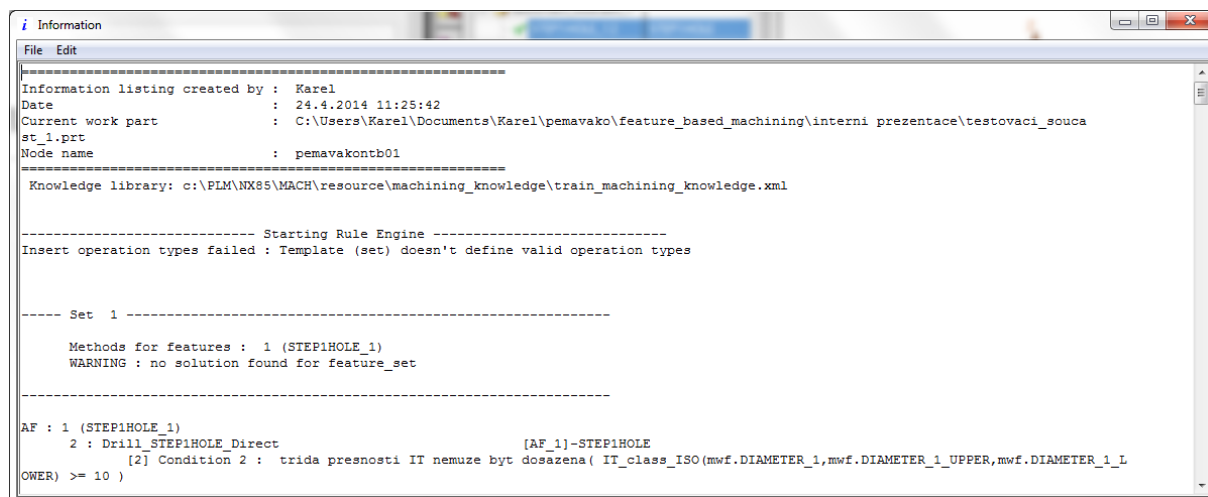
4.2 Aplikační kritéria, konstanty, materiály a další definující prvky pravidel

Bylo řečeno, že každé pravidlo má 6 základních komponent, které ho určují. Bohužel těchto 6 základních informací nemůže stačit k funkčnosti pravidla. Celé pravidlo je určováno dalšími podmínkami a proměnnými. [6]



Obr. 10: Nejdůležitější záložka v prostředí Machining knowledge editoru, v této záložce probíhá tvorba samotných podmínek užití pravidla (conditions) [6]

Nejdůležitější část definice pravidla se odehrává v první záložce Conditions (podmínky), kde jsou vypsány podmínky užití daného pravidla. Dané pravidlo je později voláno v NX. Každá z těchto aplikačních podmínek je zkoušena, zda vyhovuje. Pokud nevyhovuje, je vybráno další pravidlo, které vytváří stejný MWF. Celá akce se opakuje, dokud není nalezeno pravidlo splňující všechny požadavky na daný prvek. Pokud takové pravidlo není nalezeno, NX tuto informaci vypíše. [8]



Obr. 11: Informační okno

Pravidla je možno v této záložce Conditions psát ručně nebo v případě složitějších operací, jako jsou Cavity mill, Z level, 5AX Z level, je možné tuto záložku vyplnit pomocí systémových funkcí v NX. Nikdy se však neobejdeme bez zásahu programátora. NX dokáže pouze vyplnit operační parametry, jako jsou nástroje, jejich upnutí, vyložení, řezné podmínky, ale nedokáže vyhodnotit, kdy je vhodné toto pravidlo použít. O vhodnosti užití pravidla vždy rozhoduje administrátor tvořící knihovnu v MKE.

Typickým aplikačním kritériem může být rozhodnutí, že od určité hloubky prvku je třeba použít více vyložený nástroj, případně nástroj o větším průměru. Dalším rozhodovacím kritériem může být atribut radiusu na dně kapsy, ke kterému budeme vztahovat volbu kulové frézy, či frézy s radiusem. Tyto skutečnosti nedokáže NX automaticky vyhodnotit. Přesto je vhodné používat k předvyplnění NX. Dochází tak ke zdatelné úspoře času v průběhu tvorby samotné knihovny a zároveň k eliminaci možných chyb.

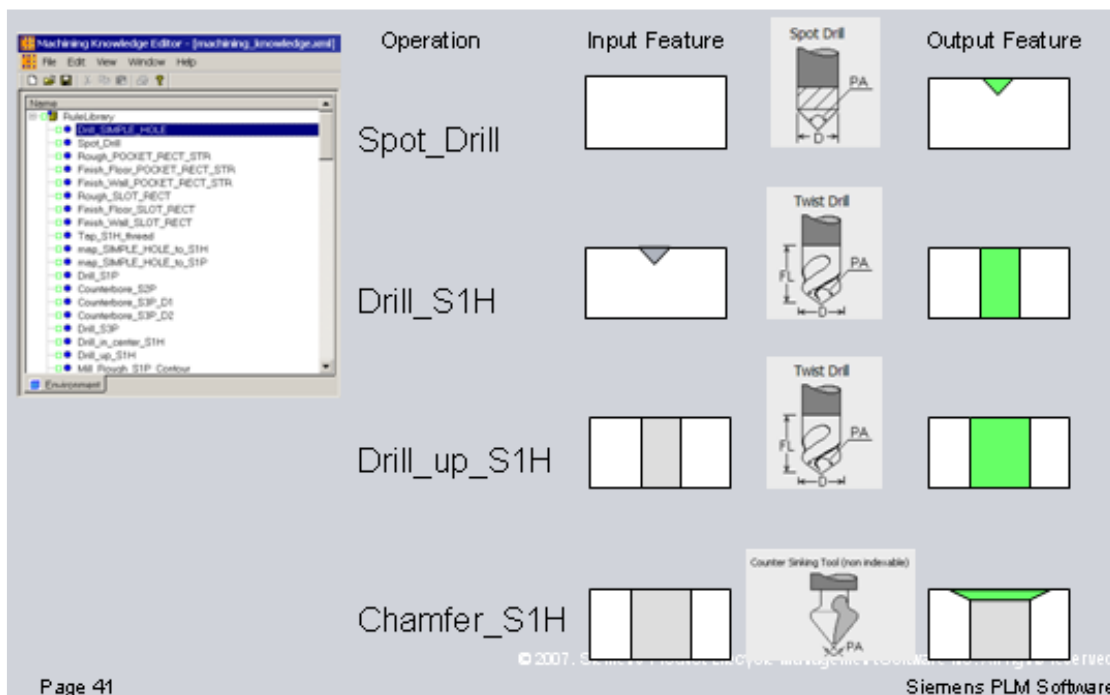
Následující záložky slouží k upřesnění, případně k zpřehlednění pravidla. V záložce Constants vypisujeme často užívané konstanty z důvodu zpřehlednění hlavního kódu. Další záložky Materials a Machines slouží pouze k určení pro jaké materiály a pro jaké stroje bude pravidlo používáno. Záložka Explanation slouží pouze k vysvětlení daného pravidla. Do záložky Image je možné vložit vysvětlující obrázky.

Poslední záložka Addons slouží k upřesňujícím parametrům pravidla. Nejčastěji je využívána k definici ploch, ke kterým se vztahuje dané pravidlo.

4.3 Mechanismus výběru vhodných operací

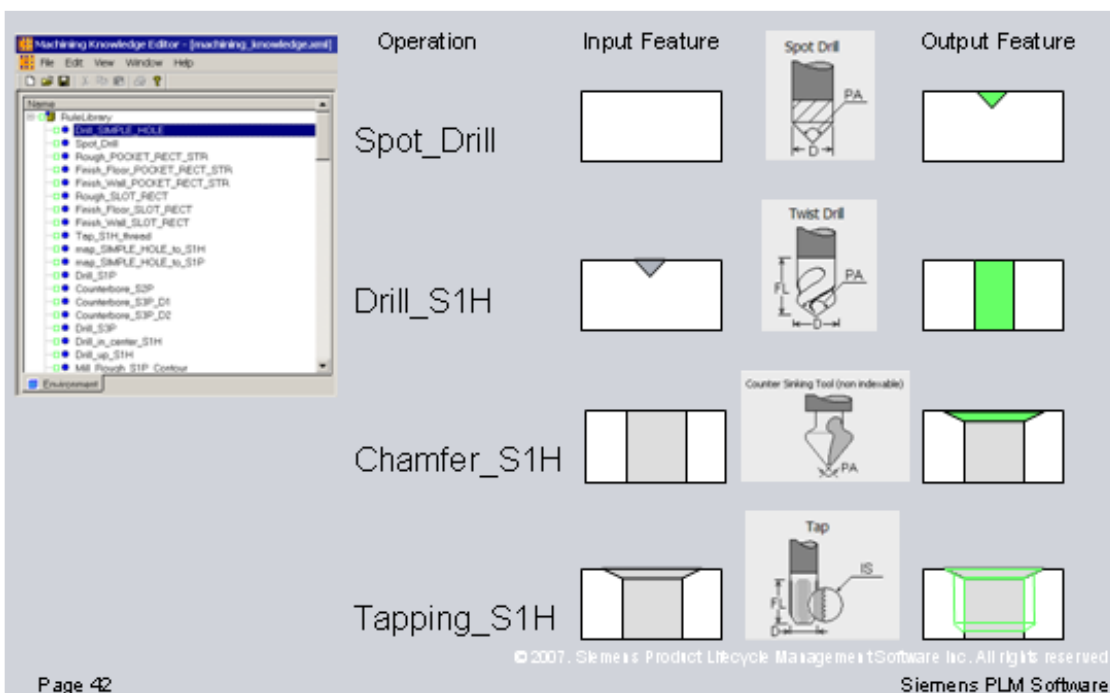
Výběr operací na základě určujících pravidel je dnes již prověřená technologie integrovaná do NX. Tato technologie automaticky vytváří operace, jako jsou frézování, vrtání, závitování, avšak je možné ji užít i v jiných oblastech. Zajímavou oblastí kde nachází FBM užití je soustružení zápichů v energetickém průmyslu. Tyto zápichy bývají mnohdy velmi tvarově složité, a jejich zhotovení vyžaduje sled po sobě jdoucích operací, které lze dobře parametrizovat. Dále je možné využít FBM i v oblasti drátového řezání.

Systém výběru nejvhodnějších operací je znázorněn na následujících obrázcích. Celý mechanismus je vysvětlen na tvorbě jednoduché díry s kuželovým sražením na vrchní straně. Celý systém je volán v rámci prostředí NX příkazem Create Feature Process. Tento příkaz je dostupný v záložce FBM po provedení vyhledání prvků. Po spuštění tohoto procesu systém volá danou knihovnu pravidel, kterou je třeba zvolit v rámci NX ještě před začátkem celé práce. V této knihovně jsou pak zkoušena dle priority pravidla vytvářející vhodný MWF. Systém postupuje od konce. Jelikož i jednoduchá díra není tvořena pouze jednou operací, bude obdobně vypadat i počet pravidel. Systém volání vhodných pravidel postupuje od konce tedy od koncového sražení.



Obr. 12: Výroba díry většího průměru z pohledu MKE, výběr pravidel dle LWF a MWF [6]

Veškeré operace jsou v MKE definovány pouze jednou, ačkoliv mohou tvořit různé koncové MWF. Např. tato výše znázorněná díra může obsahovat závit. Operace navrtání a vrtání budou obsaženy i v procesu tvorby díry se závitem. Tento proces tvorby díry se závitem je znázorněn na dalším obrázku. K tvorbě díry se závitem je použito částečně stejných operací jako k tvorbě přechozí díry.



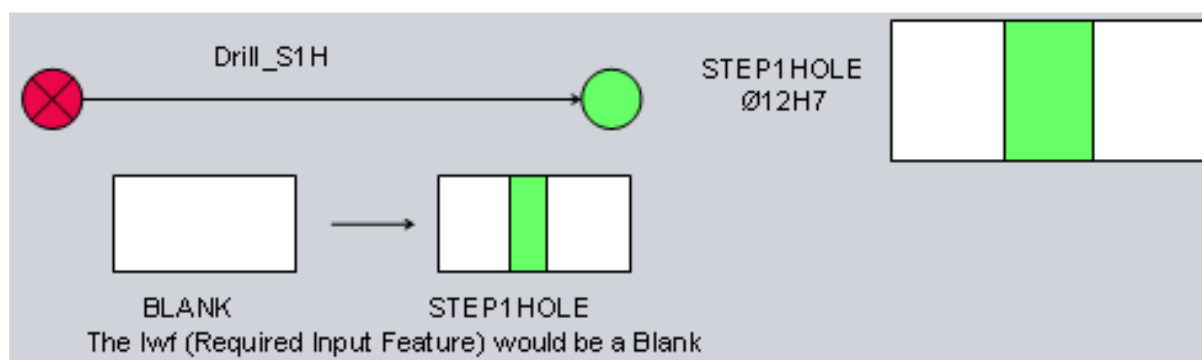
Obr. 13: Výroba závitové díry z pohledu MKE, výběr pravidel dle LWF a MWF [6]

Jak je tedy vidět, úspora času a komplexnost celého systému může znatelně usnadnit práci. V NX je tedy výrobní postup pro daný prvek skládán z jednotlivých operací. V tomto se NX liší od konkurenčních CAM systémů, ve kterých (pokud podobný modul obsahují) je nutné definovat celý výrobní postup zvlášť pro každý prvek. [8]

4.4 Algoritmus výběru operací

Výběr vhodných dílčích operací bude vysvětlen na příkladu jednoduché díry. Dle názvosloví používaného v MKE je jednoduchá průchozí díra nazývána jako STEP1HOLE. Pokud by tato díra byla neprůchozí, nazývala by se STEP1POCKET. Číslo 1 značí počet průměrů této díry. Dále například průchozí díra s válcovým zahloubením by byla značena STEP2HOLE.

Výběr operací pro zhotovení STEP1HOLE začíná výběrem operace, která produkuje koncový MWF.



Obr. 14: Postupné zkoušení pravidel [6]

Operace produkující tento MWF je možné vyfiltrovat v MKE. Získáme tak tento seznam:

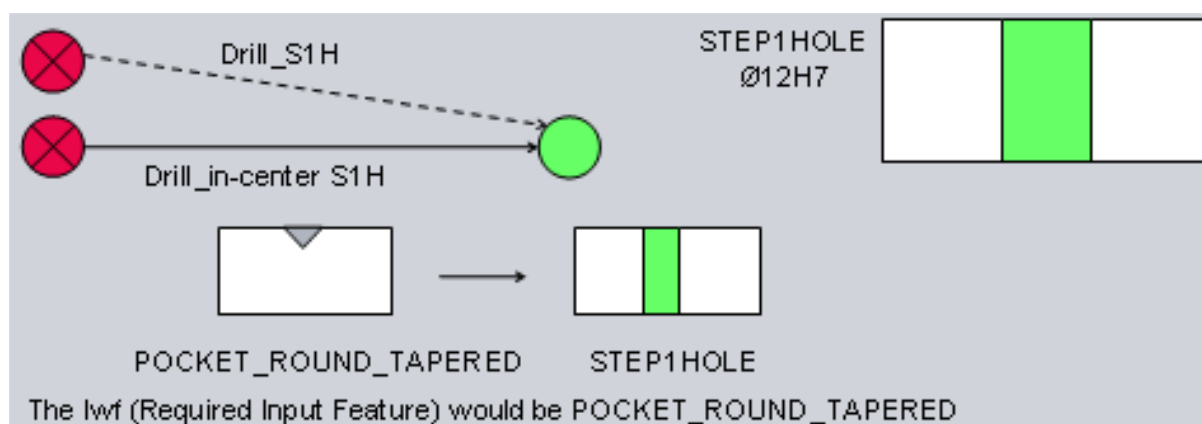
name	Priority	OperationClass	Input	Output	Resources
(All)	(All)	(All)	(All)	STEP1HOLE	(All)
Ream_S1H	1	REAMING	1 STEP1HOLE	1 STEP1HOLE 1	CHUCKING_REAMER
Bore_S1H	2.1	BORING	1 STEP1HOLE	1 STEP1HOLE 1	BORE
Chamfer_S1H_Mill	3	HOLE_MILL	1 STEP1HOLE	1 STEP1HOLE 1	COUNTER_SINKING
Chamfer_S1H_Drill	3.1	COUNTERSINKING	1 STEP1HOLE	1 STEP1HOLE 1	COUNTER_SINKING
Drill_up_S1H	4.2	DRILLING	1 STEP1HOLE	1 STEP1HOLE 1	TWIST_DRILL
Drill_in_center_chamfer_S1H	4.3	DRILLING	1 POCKET_ROUND_TAPERED	1 STEP1HOLE 1	TWIST_DRILL
Drill_in_center_S1H	4.4	DRILLING	1 POCKET_ROUND_TAPERED	1 STEP1HOLE 1	TWIST_DRILL
Drill_S1H	4.5	DRILLING	1 BLANK	1 STEP1HOLE 1	TWIST_DRILL

Obr. 15: Operace produkující STEPHOLE seřazeny dle priority [6]

Jsou vypsané veškeré operace produkující STEP1HOLE. Liší se pouze prioritou, kterou si lze představit jako náročnost dané operace, a s tím související finanční náročnost takové operace. Platí tedy, že čím vyšší priorita, tím levnější operace. Pravidla s vyšším číslem priority jsou zkoušena jako první. V případě, že jakákoliv interní podmínka tohoto pravidla nevyhovuje, je zkoušeno další pravidlo v řadě, dle sestupující hodnoty priority, tak jak je znázorněno na následujících dvou obrázcích.

name	Priority	OperationClass	Input	Output	Resources
(All)	(All)	(All)	(All)	STEP1HOLE	(All)
Ream_S1H	1	REAMING	1 STEP1HOLE	1 STEP1HOLE	1 CHUCKING_REAMER
Bore_S1H	2.1	BORING	1 STEP1HOLE	1 STEP1HOLE	1 BORE
Chamfer_S1H_Mill	3	HOLE_MILL	1 STEP1HOLE	1 STEP1HOLE	1 COUNTER_SINKING
Chamfer_S1H_Drill	3.1	COUNTERSINKING	1 STEP1HOLE	1 STEP1HOLE	1 COUNTER_SINKING
Drill_up_S1H	4.2	DRILLING	1 STEP1HOLE	1 STEP1HOLE	1 TWIST_DRILL
Drill_in_center_chamfer_S1H	4.3	DRILLING	1 POCKET_ROUND_TAPERED	1 STEP1HOLE	1 TWIST_DRILL
Drill_in_center_S1H	4.4	DRILLING	1 POCKET_ROUND_TAPERED	1 STEP1HOLE	1 TWIST_DRILL
Drill_S1H	4.5	DRILLING	1 BLANK	1 STEP1HOLE	1 TWIST_DRILL

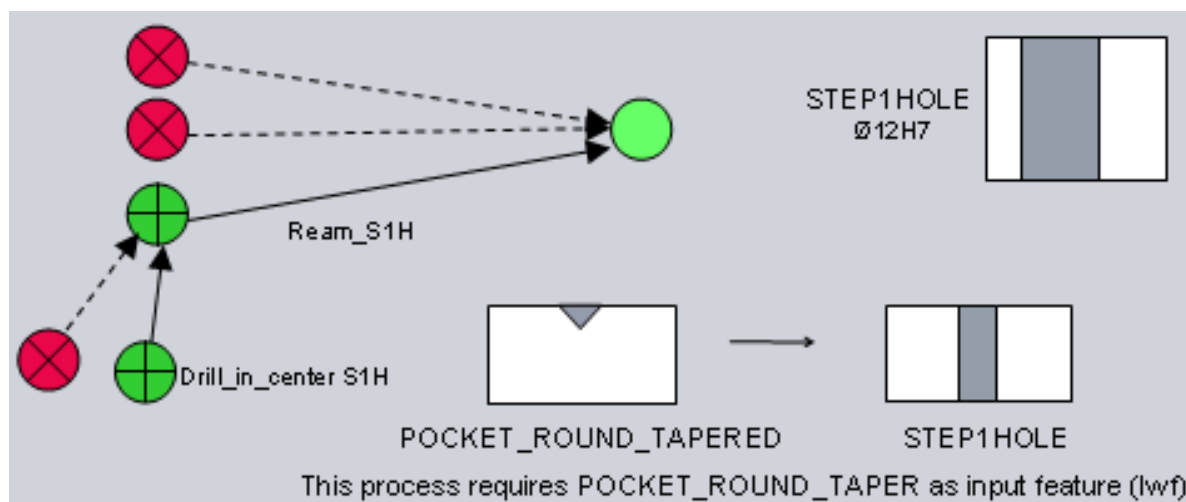
Obr. 16: Operace produkující STEP1HOLE seřazeny dle priority [6]



Obr. 17: Obr. 18: Postupné zkoušení pravidel [6]

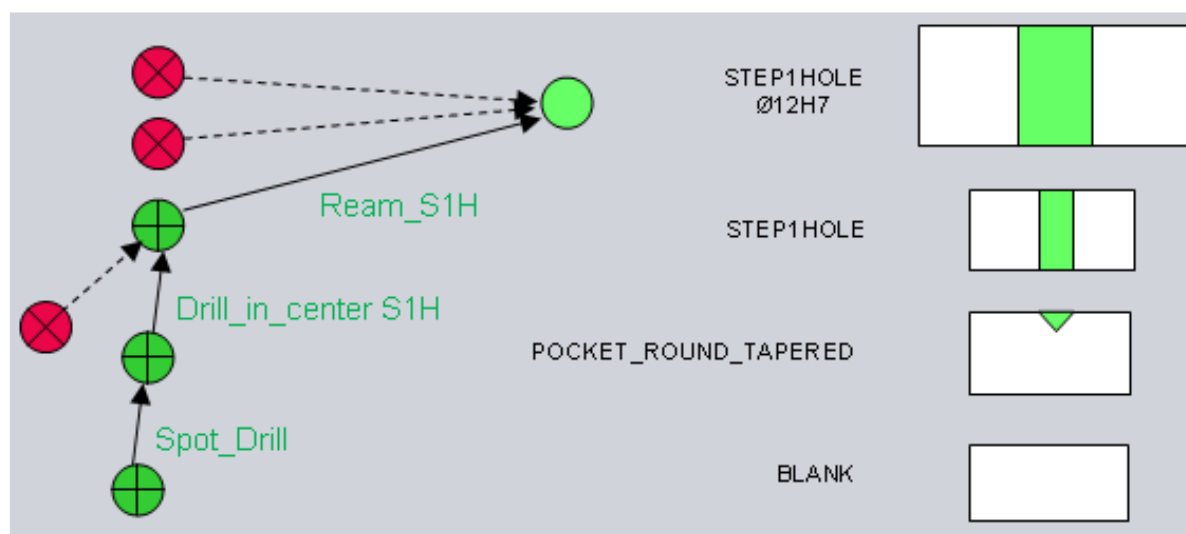
Jelikož naše díra je 12H7, nebude možné použít pouze operaci obyčejného vrtání. Takovou díru je nutné vystružit. Vystružování je však z hlediska náročnosti výroby drahou operací, a tak tomu odpovídá i prioritizace této operace. Proto je vystružování zkoušeno jako poslední.

Ve chvíli, kdy systém zjistí, že požadovanou operací je vystružování, začíná celý systém hledání znovu a hledá vstupní prvek pro operaci vystružení. Takovýmto prvkem je vrtaná díra s přesnějšími parametry. Pro tvorbu takové díry je užíváno pravidlo Drill_in_center_S1H. Poté, co je vybrána operace přesného vrtání, je v dalším kroku hledán vstupní prvek pro operaci přesného vrtání. Tímto prvkem je navrtaný důlek. Navrtání je řešeno operací Spot_Drill, která produkuje právě požadovaný vstupní prvek pro operaci přesného vrtání. Popsaný postup je znázorněn na následujících obrázcích, kde červenou barvou jsou znázorněna pravidla, která byla zkoušena, avšak nevyhověla.



Obr. 19: Postupné zkoušení pravidel [6]

Automaticky vybraný postup pro díru 12H7 vypadá takto: Nejprve je nutné vyrobít důlek, následně vrtat a v poslední operaci vystružit.



Obr. 20: Postupné zkoušení pravidel [6]

Celý systém výběru operací probíhá na pozadí NX a běžný uživatel vidí pouze hlášku, která oznamuje probíhající proces. Pro potřeby odladění nových pravidel, či editaci stávajících, je vhodné zapnout možnost výpisu prováděných akcí. Tento výpis je prováděn ve formě běžného textového souboru v poznámkovém bloku.

```

#----- Set 2 -----#
# Methods for Features : 1 (STEP1HOLE_1)
#-----#
#AF : 1 (STEP1HOLE_1)
2 : Chamfer_S1H_drill [AF_1]
  [3] Condition 1 : This is a small diameter so the chamfer can be done by the centering operation.( IF mwf.DEPTH / mwf.
3 : drill_S1H [AF_1]
  [3] Condition 2 : constant has value = 1 (use spot drilling)( bool_use_spot_drill_yes1_NOD = 0 )
4 : Gun_drill_S1H [AF_1]
  [4] Condition 2 : Is FALSE:( mwf.DEPTH / mwf.DIAMETER_1 >= depth_Dia_Ratio_Limit )
5 : Ream_S1H [AF_1] --> [F_12]
  6 : Chamfer_S1H_drill [F_12]
  [6] Condition 1 : This is a small diameter so the chamfer can be done by the centering operation.( IF mwf.DEPT
  7 : drill_S1H [F_12]
  [7] Condition 2 : constant has value = 1 (use spot drilling)( bool_use_spot_drill_yes1_NOD = 0 )
  8 : Gun_drill_S1H [F_12]
  [8] Condition 2 : Is FALSE:( mwf.DEPTH / mwf.DIAMETER_1 >= depth_Dia_Ratio_Limit )
  9 : Ream_S1H [F_12]
  [9] Condition 2 : Roughness can be reached by drilling.( mwf.SIDE_ROUGHNESS_1 < Best_Roughness_drilling )
  10 : bore_S1H [F_12]
  [10] Condition 2 : diameter tolerance can be made by drilling.( IT_class_ISO ( mwf.DIAMETER_1 , mwf.DIAMETER_1
  11 : drill-in-center_chamfer_S1H [F_12]
  [11] Condition 1 : Is FALSE:( mwf.DEPTH_TOP_CHAMFER > Small_Value )
  12 : drill-up_S1H (optional) [F_12]
  [12] Condition 2 : ( mwf.DIAMETER_1 > Pre_Drill_Limit )
  13 : drill-in-flat-part [F_12] --> [F_14]
  14 : Chamfer_S1H_drill [F_14]
  [14] Condition 2 : Chamfering already applied or feature was not chamfered.( mwf.DEPTH_TOP_CHAMFER > D
  15 : drill-in-center_S1P [F_14]
  [15] Condition 1 : Application condition ( mwf.Machining_Rule = "TWIST_DRILL" )
  16 : drill-up_S1P (optional) [F_14]
  [16] Condition 1 : Application condition ( mwf.Machining_Rule = "TWIST_DRILL" OR mwf.Machining_Rule =
  17 : Mill_Rough_S1P_contour [F_14] --> [F_16]
  NO tools available for following parameters ( tool type : END_MILL_INDEXABLE )
  Diameter < 10.100000
  18 : drill_S1P [F_14]
  [18] Condition 1 : Application condition ( mwf.Machining_Rule = "TWIST_DRILL_GUIDE" )
  19 : drill-in-center_S1H [F_12] --> [F_16]
  20 : spot_drill [F_16] --> [F_18] ( blank )
  
```

Obr. 21: informační okno s rozhodovacím řetězcem [6]

Po stisknutí příkazu Create Feature Process v NX je tedy vyvoláno toto okno, ve kterém jsou postupně vypisována pravidla, která byla zkoušena. Při zkoušení jsou vypisovány vysvětlující hlášky, proč tato daná pravidla nemohla být použita. Tato vysvětlení jsou psána za jednotlivé aplikační podmínky v MKE. Celý systém je funkční i bez těchto vysvětlení, nicméně odladění takovýchto nepopsaných pravidel může být pro nového programátora složitější z důvodu nepřehlednosti kódu. [6,8]

Pro představu, jak vypadá typická aplikační podmínka, je uveden příklad z operace navrtání.

```

mwf.TOP_FACE_ANGLE < constant.Slanted_Surface_Angle_Drill_Limit
$$ Slanted surface, must drill after spot facing
  
```

První řádka říká, že díra může být navrtána jen tehdy, když plocha, na které díra leží, je pod úhlem menším než definovaná konstanta. V případě, že tato podmínka není splněna a díra leží na strmé ploše, je vypsána vysvětlující hláška na druhé řádce: Plocha je strmá a je nutné ji nejprve upravit frézováním. Vysvětlující hlášky jsou v kódu rozlišeny zelenou barvou. Řádky, které nejsou funkční pro běh pravidla, je nutné uvozovat buďto slovem REM nebo pomocí dvou znaků dolaru.

4.5 Dílčí závěr

Po této části je již jasné, že samotná tvorba automatizace je vhodná pouze pro určité typy tvarových prvků. Většina práce na samotné automatizaci je řešena ve vývojovém prostředí MKE. Většina strojních inženýrů má však velmi malé, mnohdy žádné základy programování ve vývojových prostředích. Je jasné, že tuto automatizaci musí tvořit člověk znalý postupů obrábění. Kvůli tomu může být problém samotnou automatizaci realizovat. V další části bude nastíněna problematika úprav samotného modulu FBM.

5 Třetí etapa: Úpravy addonu FBM

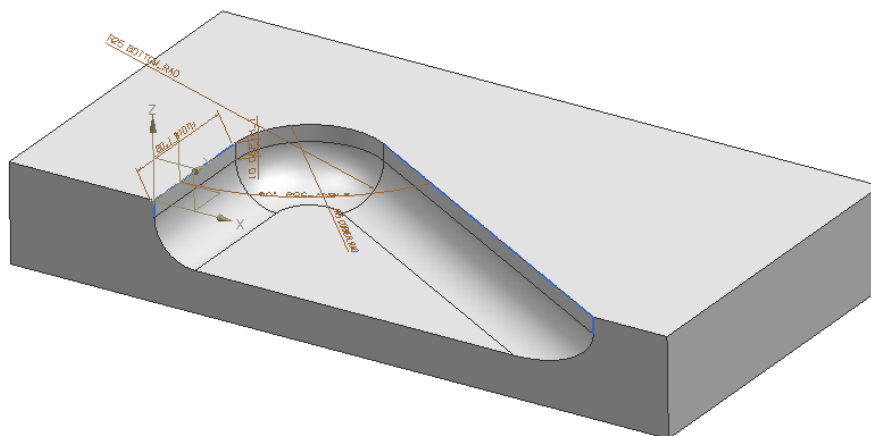
- Možnosti upravování knihovny rozpoznávaných prvků a jejich obráběcí pravidla

5.1 Význam PMI kót

PMI kóty, jsou kóty technologické a jsou využívány při tvorbě technologie v prostředí CAM. Primárně byly vytvořeny pro zjednodušení práce programátora, aby nebylo nutné ověřovat informace ve výkresové dokumentaci. Stačí pouhý pohled na 3D model a programátor získává přehled o drsnostech, přesnostech děr, rozměrech radiusů apod. O tom, kdo vytváří tyto PMI kóty, je nutné nejprve v rámci podniku rozhodnout. Obvyklý přístup konstruktérů bývá zamítavý z důvodu větší časové náročnosti. Nicméně úspory času v procesu tvorby technologie v rámci CAM mohou být mnohem větší. Ne vždy však jsou PMI kóty pouhou pomůckou ke zrychlení práce. Pro potřeby FBM jsou velmi často nutností. Naprosto nepostradatelné jsou v oblasti Feature Teaching, tedy v oblasti učení nových prvků. Již bylo napsáno, že každá instalace softwaru NX obsahující alespoň jeden ze základních modulů CAM, obsahuje OOTB knihovnu pravidel. Tato pravidla však obsahují omezenou škálu rozpoznávaných prvků. Je tak tedy pochopitelné, že uživatelé cítí potřebu, tuto knihovnu obohacovat dle know-how jejich společnosti, a to nejen o rozdílné postupy tvorby již obsažených prvků, ale i o samotné nové prvky.

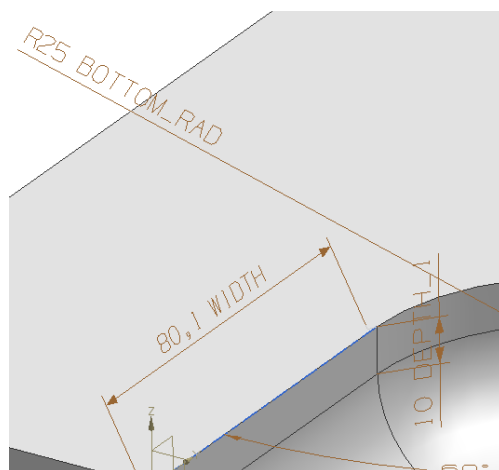
Při vytváření nových prvků jsou PMI kóty využívány k tvorbě atributů. Každý prvek, neboli feature, se skládá z různých atributů, které ho odlišují od jemu podobných prvků. Těmito atributy mohou být geometrické rozměry, drsnosti, barva, počet ploch a jejich vzájemná návaznost či umístění souřadných systémů.

Později jsou tyto atributy využívány pro psaní aplikačních podmínek, které jsou využívány při výběru vhodných operací. Základním atributem může být průměr díry, podle kterého je vybírán nástroj. Dalším rozumným atributem bývá hloubka, ať už se jedná o díru či kapsu, která bude později frézována. Hloubka je následně využívána ke zvolení vhodné délky řezné části nástroje.



Obr. 22: Definovaná kapsa pomocí PMI kót

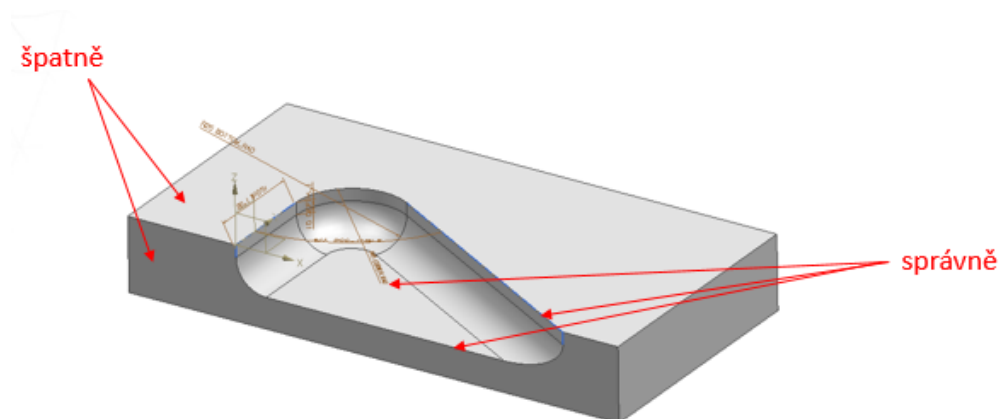
Na obrázku je znázorněna jednoduchá kapsa, která však není obsažena v základní knihovně prvků. Pokud uživatel požaduje, aby tato kapsa byla nejen rozpoznávána, ale i obráběna, je nutné ji nejprve systém naučit rozpoznávat a zároveň přiřadit vhodné operace. Naučení a přiřazení vhodných operací není problém. U další kapsy, která se od té první bude lišit kupříkladu hloubkou či velikostí radiusů, může nastat problém při výběru vhodných nástrojů. K tomu, aby byla zajištěna parametrizace technologie výroby této kapsy, je nutné použít PMI kóty a vhodně zvolit souřadný systém prvku.



Obr. 23 Kóty určují hlavní rozměry kapsy

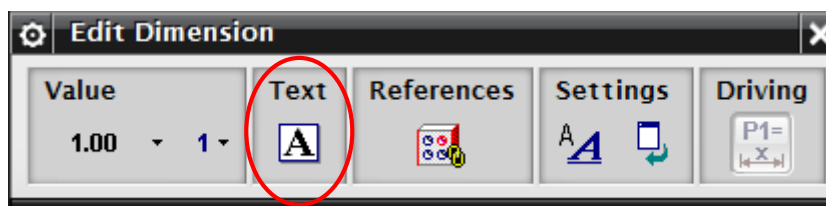
Mezi důležité kóty, které jednoznačně určují kapsu, patří kóty spodního zaoblení, šířka kapsy, a její hloubka. Hloubku zadáváme schválně bez zaoblení, neboť hodnotu celkové hloubky získáme snadno sečtením hodnoty zaoblení a hloubky svislé stěny. [8]

Užívání PMI kót má své zásady. Je nutné používat základní délkové kóty, jako jsou Horizontal, Vertical, Radius, Diameter apod. Pokud bude uživatel používat Inferred dimensions, celý systém může prvky špatně rozpoznat, neboť tyto kóty jsou vázány k nevhodným plochám. Je důležité kóty vázat k prvkům, které obsahuje samotná kapsa. Jistě by bylo jednodušší zakótovat hloubku jako vrchní plochu kvádrů a dno kapsy, nicméně tato kóta by byla nepoužitelná. Vrchní plocha není součástí této kapsy, a tak by tato PMI kóta nebyla rozpoznávána jako její funkční atribut. Jaké plochy a hrany lze použít, je znázorněno na dalším obrázku. [8]

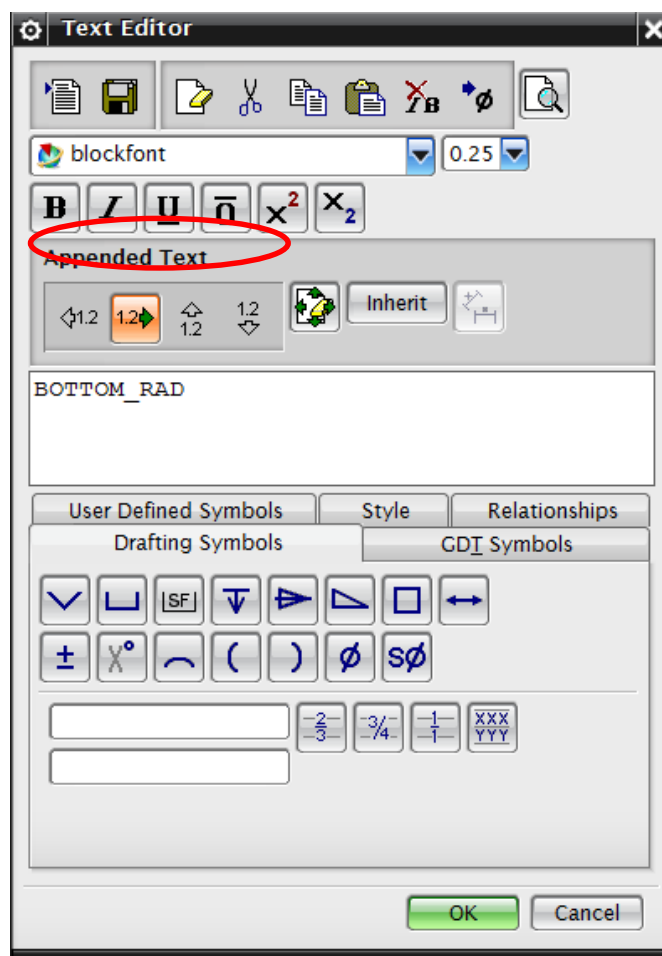


Obr. 24: Kóty je nutné vázat k plochám samotného prvku

Dalším důležitým poznatkem je, že tyto kóty nefungují pouze samy o sobě. Kóta jako taková, je pouhým číslem se šipkou, systém tedy neví, jak tuto hodnotu nazvat. Systém získá pouze hodnotu nikoliv však údaj co tato hodnota znamená. Je tedy nutné veškeré atributy přidávat do kóty, avšak nestačí je standardně připsat za kótu. Je nutné editovat celou kótu a požadovaný atribut přidat jako Appended Text. Cokoliv jiného než Appended Text nebude systémem do MKE rozpoznáno.



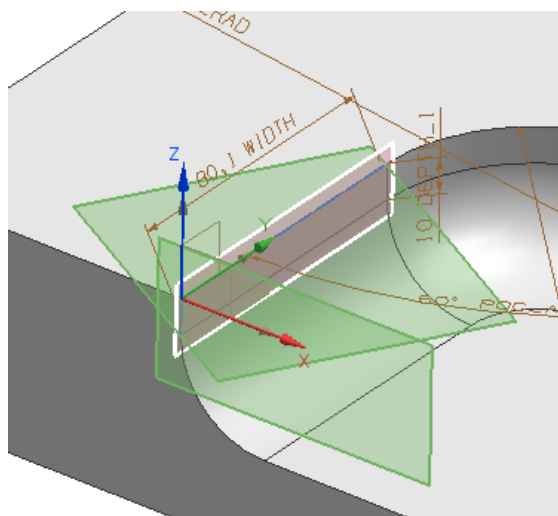
Obr. 25: Textové atributy se přidávají jako přidaný text



Obr. 26: Veškerý text, se kterým je třeba následně pracovat v MKE, je nutné přidat jako Appended Text

Dalším problémem je nutnost přiřadit prvku vlastní souřadný systém CSYS. Pokud takovýto prvek nebude mít svůj souřadný systém, bude rozpoznán, avšak je obvykle vypsána hláška, že směr kapsy není definován a je tedy volný. Osa Z, tedy osa přístupu nástroje, nemusí být správně zvolena. Zpravidla je tomu tak vždy.

Vložení souřadného systému vyžaduje znát opět určitá omezení. CSYS je možné v rámci NX definovat různými způsoby. V průběhu zpracování této práce byly zkoušeny různé verze NX, od verze NX 8.5 přes NX 9 až po beta verzi NX 10 včetně různých opraných balíčků. V žádné verzi nebylo možné definovat CSYS jinak než pomocí ploch, což se v pozdějších fázích práce na samotné praktické části ukázalo jako limitující faktor. Problém nastal zvláště u souvislých pěti-osých operací, kdy na některých prvcích není možné takovéto plochy najít, ba ani vytvořit. V takovýchto kapsách je FBM nepoužitelné nebo jeho výhoda v úspoře času není tak znatelná. CSYS je tedy možné vybírat pouze pomocí ploch. A to například takto:



Obr. 27: Připravené plochy k definování souřadného systému

Vlastní plochy pro definování souřadných systémů je vhodné nejprve vytvořit a až potom následně vybírat. Mechanismus tvorby ploch není také vždy stoprocentní. Je nutné využívat pouze hrany, body a křivky, které obsahuje samotná kapsa. Pokud si pomůžeme tak, že plochy budou tangenti k určitým křivkám či normálové, riskujeme, že rovnice takovéto plochy nemusí být vždy stejná. Směr těchto ploch se může lišit. Celý souřadný systém tak nemusí být správně rozpoznán. Nicméně u osy X a Y to nemusí představovat problém. Nejdůležitější je pro obrábění osa Z. [8]

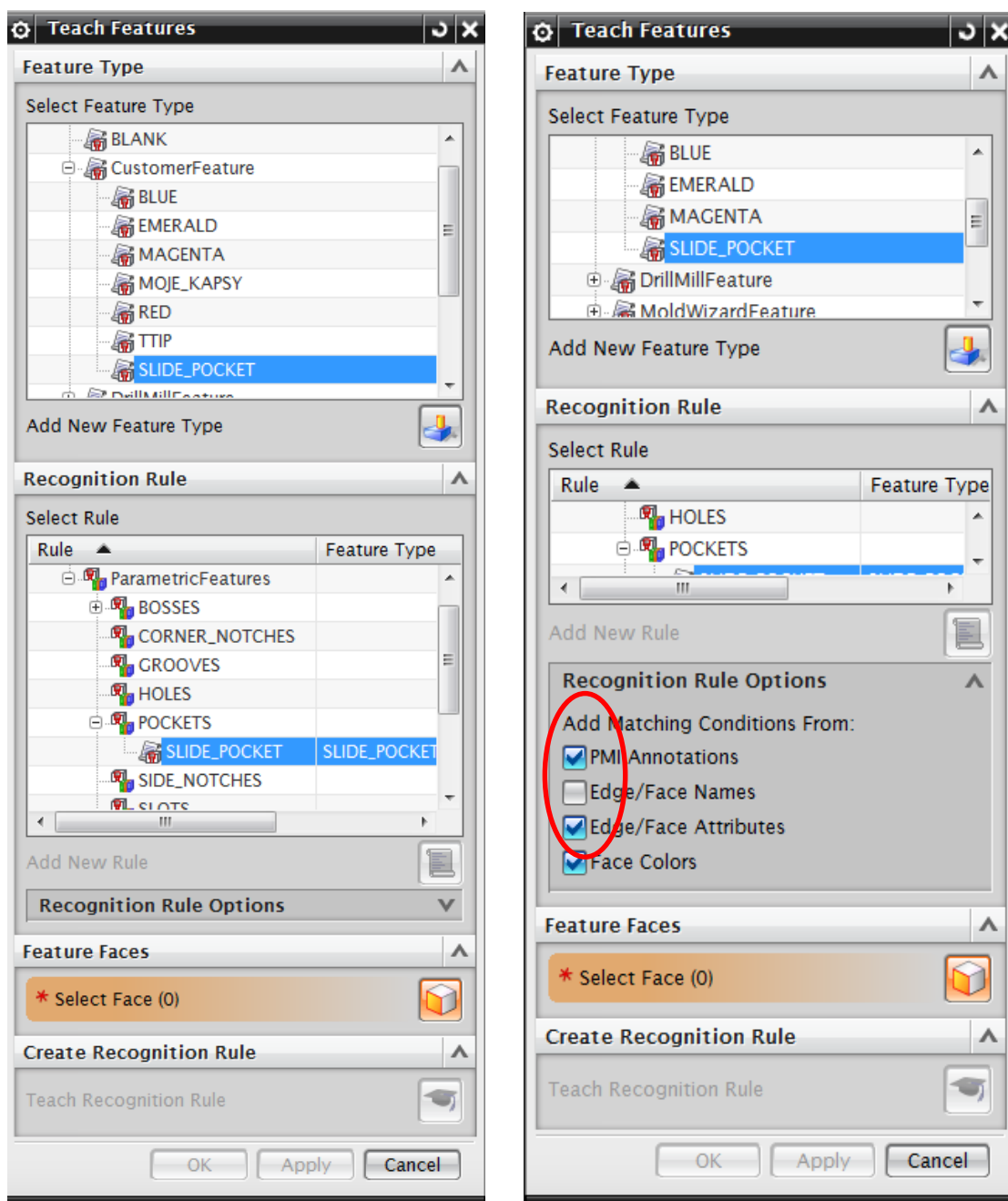
Takto připravenému modelu již nic nebrání v importu do knihovny MKE.

5.2 Rozpoznávání nových prvků – příkaz Teach Feature

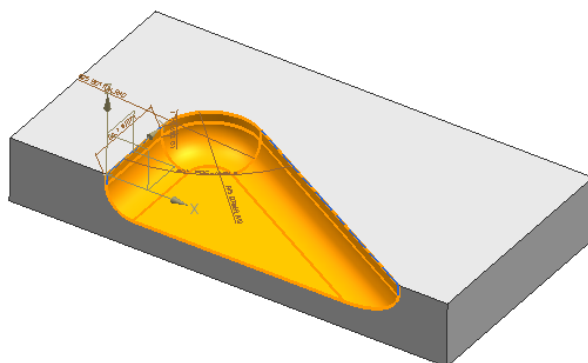
Samotné rozpoznávání nových prvků probíhá v samotném CAMu. Probíhá po volbě příkazu Teach Feature, který umožní zapsání nové geometrie do načtené knihovny. MKE knihovna musí být v průběhu úprav z prostředí NX zavřená, jinak by systém nedovolil její úpravu.

Příkaz Teach Feature zpřístupní nové okno, ve kterém uživatel vybírá umístění nového prvku. Vybírá umístění, kde a pod čím se bude daný prvek nacházet. Obvykle jsou nové prvky přidávány mezi uživatelské prvky. Dále je nutné zvolit rozpoznávací pravidlo, to znamená, na základě čeho bude prvek rozpoznáván. Nic jiného než parametrické rozpoznávání se nepoužívá už od verzí NX7. Dříve byly prvky rozpoznávány jinak, např. jenom dle barev.

Parametrické rozpoznávání je mnohem vyspělejší, zahrnuje v sobě jak barvy, tak geometrické atributy, tak počet ploch, jejich orientaci a návaznost. Dále je možné vybírat z možností zmiňované PMI poznámky čili uživatelsky přidáné atributy, či atributy ploch (např. jejich orientaci a návaznost) a barvu ploch. Zbývá už pouze vybrat samotnou kapsu a nechat prvek systémem naučit.



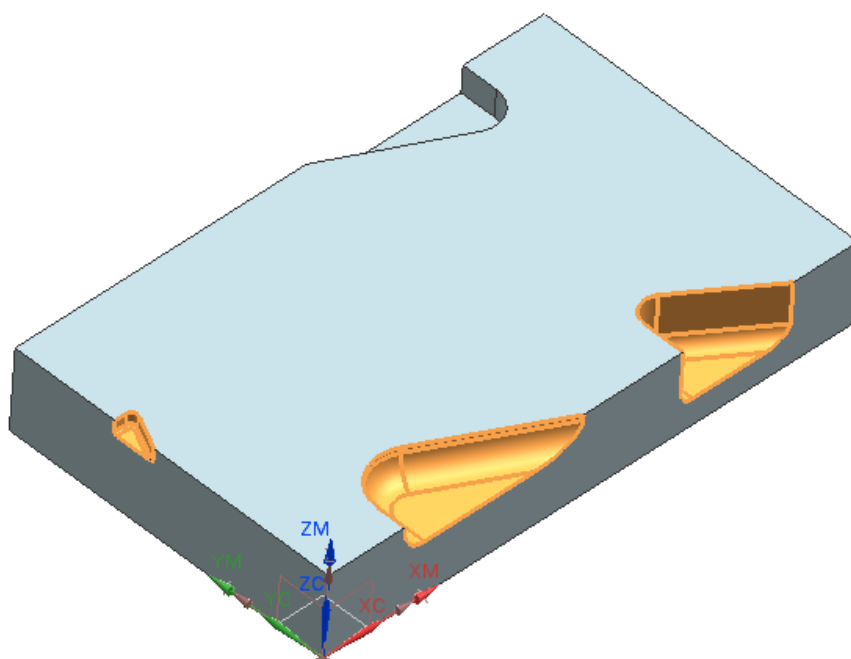
Obr. 28 Okno umožňující přidání nových prvků v prostředí NX



Obr. 29: Vybrané plochy učeného prvku

Pro naučení nových prvků je vhodné tyto prvky izolovat na samostatné součásti a jejich naučení a nutnou přípravu realizovat odděleně. Po proběhnutí příkazu Feature Teaching je nutné ověřit funkčnost tohoto nově naučeného rozpoznávacího pravidla.

Standardně jako prvky OOTB by měl být i tento prvek nalezen pomocí příkazu Find Features. Je vhodné vytvořit další součást, která bude obsahovat nově naučený typ spolu s dalším, který se bude lišit rozměrovými atributy. Příklad je vidět na následujícím obrázku:



Obr. 30: Testování nově naučené geometrie

Žluté kapsy – již rozpoznané příkazem Find Feature se mezi sebou liší rozměry, čili parametricky. Kapsa v horní části obrázku nebyla rozpoznána, jelikož neobsahuje spodní radius. Z toho plyne, že pravidlo je funkční a správně rozpoznává nově naučené prvky.

Při výběru jedné z rozpoznaných kapes jsou vidět také nově přidané atributy uživatelem pomocí PMI kót.

Attribute	Value
Z_ORIENTATION_D	0.0000
Z_ORIENTATION_L	0.0000
SUBTYPE	0
X_POSITION	172.7711
Y_POSITION	-4.1644
Z_POSITION	15.0000
X_ORIENTATION_D	-0.8329
Y_ORIENTATION_D	0.5535
X_ORIENTATION_L	0.5535
Y_ORIENTATION_L	0.8329
BOTTOM_RAD	5.0000
CORNER_RAD	7.0154
DEPTH_1	15.0000
POC_ANGLE	56.3948
WIDTH	14.5883

Obr. 31: V červeném ohraničení jsou uživatelské atributy nalezených prvků

Ne vždy proběhne rozpoznání atributů správně a je potřeba je upravit v prostředí MKE. Ne vždy je správně rozpoznán jejich smysl. Je nutné, aby byla délková kóta rozpoznána jako délka, úhlová kóta jako úhel, drsnost jako drsnost a podobně.

Attribute	Display Name	NX Dialog	Class	Type	Dimension	V	Enum T...	Unit	Default	Inherited From
name	name			String	Single					Node
externalID	externalID			String	Single					Node
comment	comment			String	Single					Node
caption	caption			String	Single					Node
estimatedCost	estimatedCost			Double	Single					PartPrototype
costGroup	costGroup			String	Single					PartPrototype
SUBTYPE	SUBTYPE			Integer	Single				0	Features
MACHINING_RULE	MACHINING_RULE			String	Single					Features
COLOR	COLOR			Integer	Single				-1	Features
WIDTH	WIDTH			Double	Single			Length		
POC_ANGLE	POC_ANGLE			Double	Single			Angle		
DEPTH_1	DEPTH_1			Double	Single			Length		
CORNER_RAD	CORNER_RAD			Double	Single			Length		
BOTTOM_RAD	BOTTOM_RAD			Double	Single			Length		

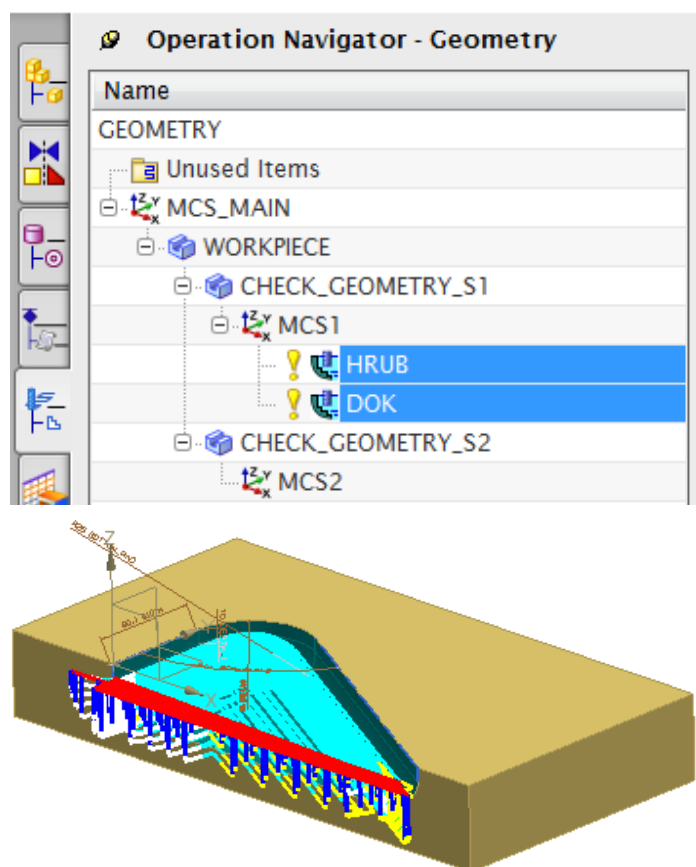
Obr. 32: Zobrazení atributů v prostředí MKE

Jejich kontrolu provedeme v MKE v záložce Customization. Uživatelem přidané atributy jsou odlišeny modrou barvou a je možná jejich editace.

5.3 Učení nových operací – příkaz Teach Operation

V tuto chvíli je uživateli k dispozici pouze rozpoznání těchto kapes. Systém nemá k dispozici znalosti jak tyto kapsy obrábět. K tomu, aby tvorba operací probíhala automaticky, slouží další z příkazů FBM Teach Operation neboli naučení operací.

Vždy je nutné alespoň jednou vytvořit operace ručně. Tyto ručně vytvořené operace jsou pak přiřazeny rozpoznané geometrii a systém tyto operace zapíše do MKE. Může se to zdát jako jednoduchá činnost, nicméně celý systém je velmi přesný a nedovoluje žádné odchylky od naučené operace. Systém nepočítá s tím, že kapsa je parametricky zadána, a že její rozměry se mohou měnit. Se změnou geometrických rozměrů je nutné počítat pro změnu nástrojů a řezných podmínek. Po automatickém naučení těchto operací je tedy nutné opět tyto operace upravit, poměrně znatelně, v prostředí MKE. Je nutné přidat velké množství kritérií, které budou rozhodovat o vhodnosti použití daného pravidla, o vhodnosti použití daných nástrojů a daných řezných podmínek. Naučení operací je vhodné realizovat opět na izolované součásti.



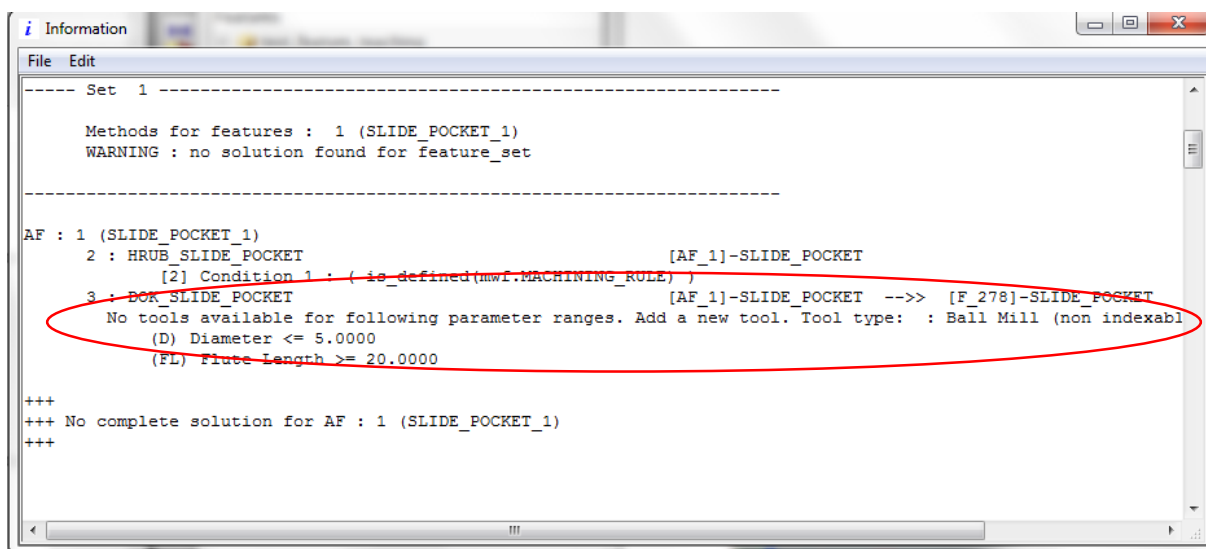
Obr. 33: Operace připravené k naučení

Pro kapsu je vytvořena technologie, která je následně příkazem Teach Operation přiřazena rozpoznané kapse.

V MKE je nutné přidat určité podmínky hlavně v oblasti výběru vhodného nástroje. Aplikační podmínka nástroje může vypadat např. takto:

```
tool.'(D) Diameter' <= mwf.CORNER_RAD*2  
tool.'(FL) Flute Length'>= mwf.DEPTH_1 + mwf.BOTTOM_RAD
```

Touto podmínkou je zajištěn průměr nástroje a délka jeho řezné části vzhledem k hloubce kapsy. Po naučení následuje obvykle další volaný příkaz v rámci FBM: Create Feature Process. Tento příkaz přiřazuje operace jednotlivým rozpoznáním geometriím. Po nutných úpravách v MKE může však nastat problém v podobě nefunkčnosti pravidla při jeho testování. To znamená, že nebude přidána žádná operace.



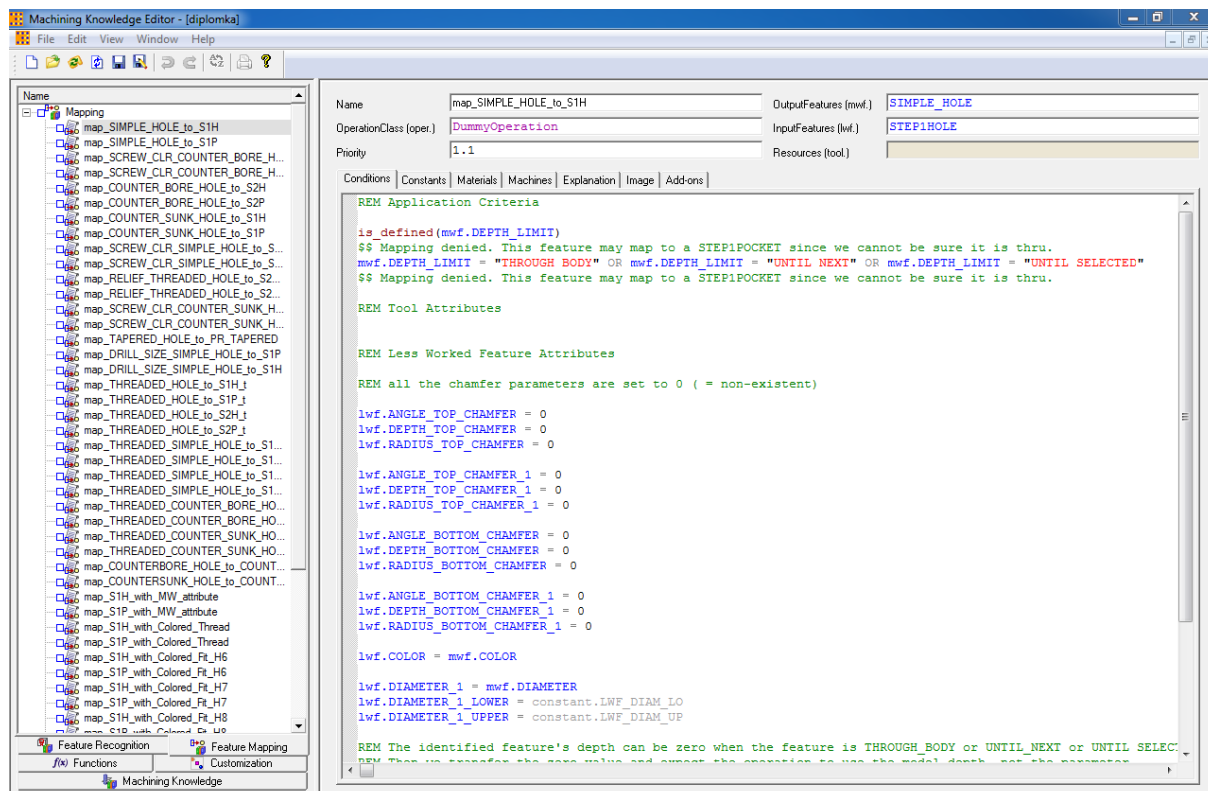
Obr. 34: Informační hláška

Jak je vidět z informačního okna, kapsa nemohla být automaticky obrobena. Aplikační podmínka pravidla nebyla splněna. Konkrétně nebyla splněna podmínka na průměr nástroje a na jeho řeznou část.

FBM je automatický modul, který využívá knihovny pravidel editovatelné z MKE dále knihovny nástrojů, uživatelské knihovny nástrojů. Při psaní podmínek je nutné brát v úvahu nástroje, které jsou k dispozici. V tuto chvíli systém prohledal knihovnu nástrojů a zjistil, že takový nástroj nemá uživatel k dispozici. Je tedy nutné upravit aplikační kritéria operace změnou nástrojových parametrů nebo přidat do knihovny vhodný nástroj.

5.4 Mapovací funkce

Feature Mapping jsou pravidla, která byla zavedena pro zjednodušení práce. V první řadě umožňují transformování neboli přejmenování nalezených prvků vyhledávaných v NX. Tyto prvky jsou transformovány mapovacími pravidly ještě před tím, než se tyto prvky v NX objeví. Budoucí uživatel modulu FBM nemusí být tedy seznámen s názvoslovím obecně používaným v knihovnách MKE. Mapovací pravidla jsou velmi podobná pravidlům, která řídí obrábění a jejich tvorba probíhá taktéž v MKE.



Obr. 35: Mapující pravidlo vytvářející prvek SIMPLE_HOLE

Příkladem mapovacího pravidla může být OOTB pravidlo map_SIMPLE_HOLE_to_S1H. Toto pravidlo se stará o pojmenování té nejjednodušší díry. Z původního step1hole na simple hole (jednoduchá díra). Vše se děje tak jako u obráběcích pravidel na základě aplikačních podmínek. Základním aplikačním kritériem je zde fakt, že je definována hloubka díry jakýmkoli způsobem. Následuje aplikační kritérium.

is_defined(mwf.DEPTH_LIMIT)

V případě, že je tato podmínka splněna, bude systém zkoušet, jak je tato hloubka zadána. Při tvorbě děr v NX v modeláři je několik možností, jak definovat hloubku děr. Jednou z možností je definovat hloubku číselně. Bohužel v takovém případě toto pravidlo nebude fungovat, protože číslo samotné nezaručí, že takováto díra bude skrz celou tloušťku výrobku. Proto následuje další podmínka.

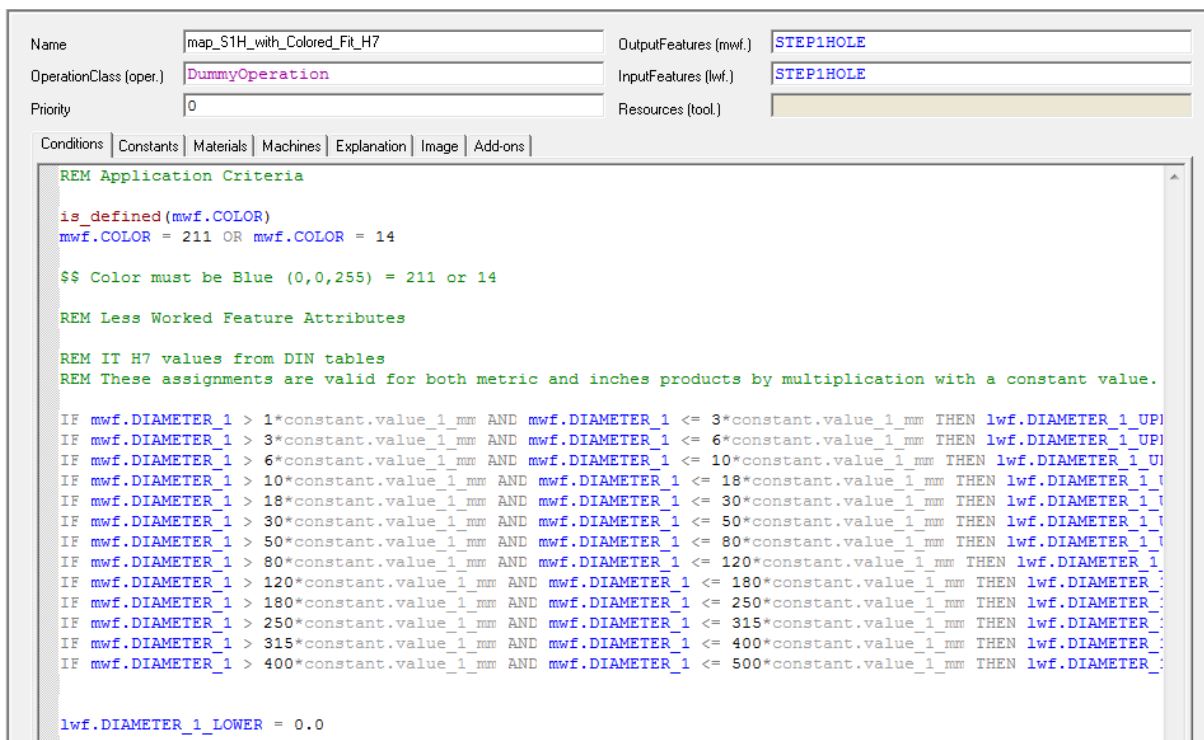
mwf.DEPTH_LIMIT = "THROUGH BODY" OR mwf.DEPTH_LIMIT = "UNTIL NEXT"
OR mwf.DEPTH_LIMIT = "UNTIL SELECTED"

Tato podmínka ověří jakým způsobem byla díra vytvořena. Bohužel je to další omezení, na které je třeba myslet. Pokud bychom využívali modul FBM k obrábění modelů, které získáme importem jiných formátů z jiných CADů, nemusí tento modul pracovat správně. Z toho vyplývá značné omezení použití takového modulu. V rámci České republiky působí celá řada firem, které se zabývají zakázkovým obráběním od kusové výroby až po sériovou. Jsou to vesměs rodinné firmy s menším počtem zaměstnanců, které žijí pouze výrobou. Tyto firmy postrádají jakýkoli vývoj, většinou nemají žádné vlastní výrobky, se kterými by plnily trh. Tyto společnosti dostávají od svých zákazníků modely v univerzálních formátech typu STEP. Ačkoliv NX umí tyto modely převádět, nebudou nikdy tyto modely tzv. „živou geometrií“ a práce s FBM je tak značně omezena na pouhé rozpoznávání dle ploch. Další atributy těchto ploch budou ztraceny.

V další části této diplomové práce bude tato skutečnost potvrzena, jelikož praktické použití tohoto modulu bude zkoušeno právě na součásti importované do NX jako STEP214.

5.5 Barevné odlišení

Dalším způsobem jak lze mapování uskutečnit je barevné odlišení prvků. V automobilovém průmyslu je obecně zaveden systém značení děr dle barev. Platí tak, že pokud je díra žlutá, bude tato díra se závitem, pokud je díra fialová, bude vystružena. Tento způsob částečně řeší problém s importem modelů. Při importu modelů není problém s různě barevnými modely, a tak je možné mapování prvků na základě barev. Lze uvést základní příklad z OOTB knihovny. Toto pravidlo slouží k mapování díry STEP1HOLE. Neslouží k přejmenování, ale pouze k zjištění, zda daná díra je té správné barvy. Pokud ano, bude tato díra po rozpoznání odlišena, a je možné jí následně přiřadit rozdílný postup obrábění.

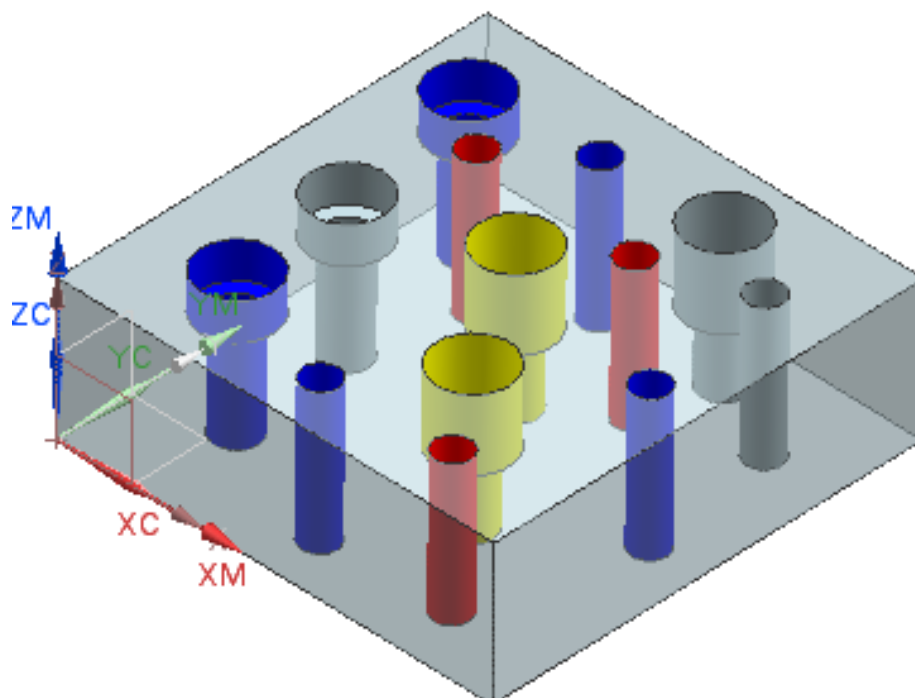


Obr. 36: Základní aplikační podmínka pro testování barvy

Základním aplikačním kritériem je zde skutečnost, zda díra má barvu 211 nebo 14:

```
is_defined(mwf.COLOR)  
mwf.COLOR = 211 OR mwf.COLOR = 14
```

Pokud je tato podmínka splněna, následuje pouze upřesnění, zda průměr díry odpovídá normě. Lze tedy částečně problém se ztrátou dat řešit pomocí barev, ovšem ne vždy je to dostačující. V případě složitějších tvarů jako různých kapes, vybrání, či složitých zápichů, kde je vyžadována pro správnou funkčnost FBM řada atributů dodaných PMI kótami, nepomůže ani použití barev.



Obr. 37: Barevné odlišení prvků

5.6 Dílčí závěr

V této etapě bylo probráno, jak lze rozšířit možnosti modulu FBM. Byly představeny zásady nutné pro tvorbu vlastních prvků, které je nutné pro správnou funkci modulu dodržovat. Byly představeny možnosti, které nabízí PMI kóty a barvy na samotných modelech. Většina těchto zásad byla získána praxí autora či četnými konzultacemi s vývojáři addonu FBM. Informace o fungování samotného rozpoznávání prvků je velmi obtížné získat. Školení lze získat pouze na uživatelské úrovni modulu FBM. Veškeré informace o mechanismu rozpoznávání prvků a jeho fungování jsou interními znalostmi společnosti SIEMENS PLM a není možné je šířit v širších podrobnostech.

V další etapě práce probíhalo ověření těchto teoreticky nabytých znalostí.

6 Čtvrtá etapa: Zásadní problém použitelnosti FBM

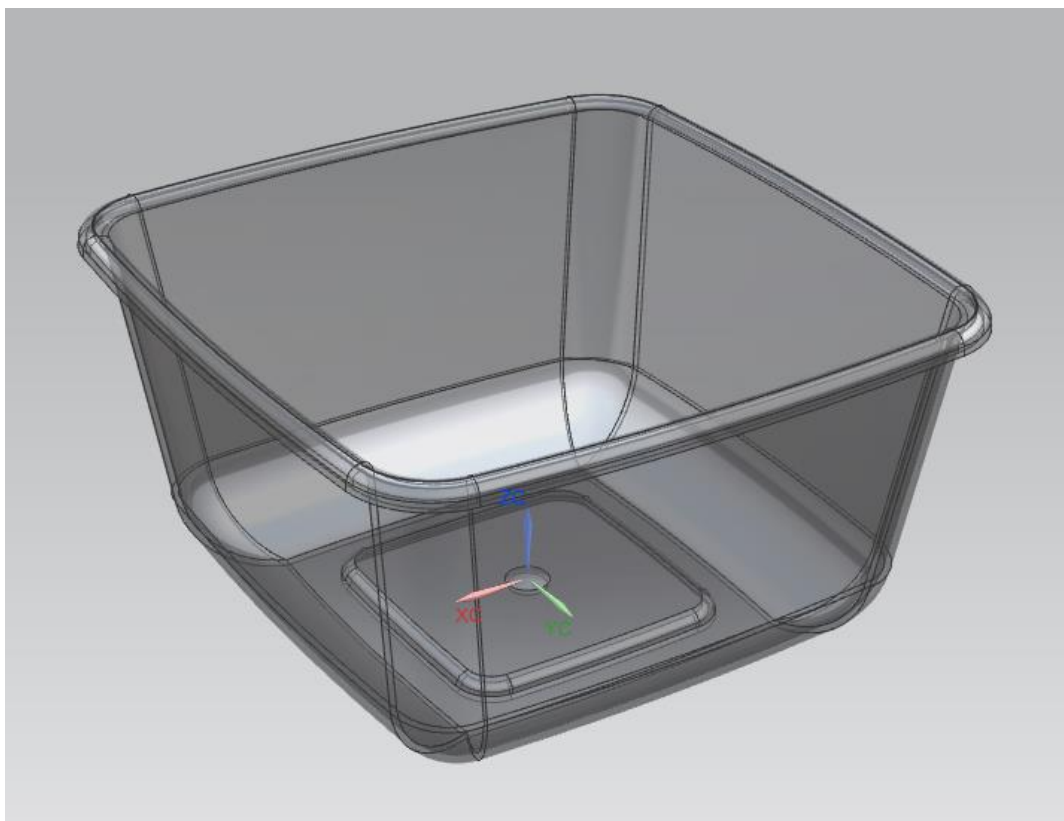


- Ověření získaných znalostí, objevení zásadních nedostatků addonu FBM

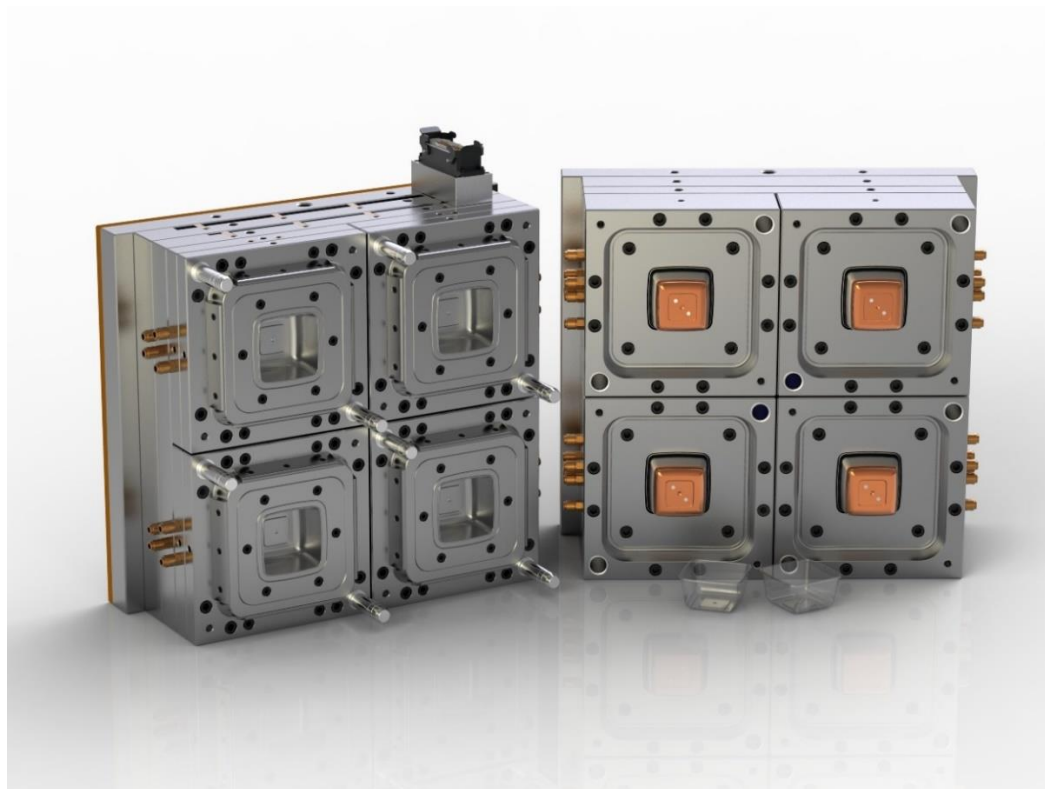
Jelikož SIEMENS PLM uvádí, že FBM se hodí hlavně pro tvorbu technologie u oblasti forem, bloků motorů apod., byla jako vhodný představitel pro získání potřebných znalostí vybrána právě forma. Forma byla volně stažitelná z internetu. Jedná se o formu na výrobu obyčejných plastových potravinových krabiček. Na této formě byly vyzkoušeny jednotlivé možnosti, které modul FBM nabízí. Bylo zjišťováno, do jaké míry systém dokáže pracovat s vlastní OOTB knihovnou a do jaké míry je třeba tvořit pravidla nová, či upravovat stávající. V následujících částech budou postupně představeny nejzásadnější problémy, se kterými bylo potřeba se vypořádat.

Následně po zjištění a ověření možností FBM, byl samotný modul FBM testován v praxi při tvorbě nástrojů s vyměnitelnými břitovými destičkami, na kterých už byla zjišťována ekonomická výhodnost. Nástroje s vyměnitelnými břitovými destičkami nebyly vybrány náhodou. Jedná se o typovou geometrii, která je však značně složitější než geometrie, která byla doposud vytvářena pomocí modulu FBM.

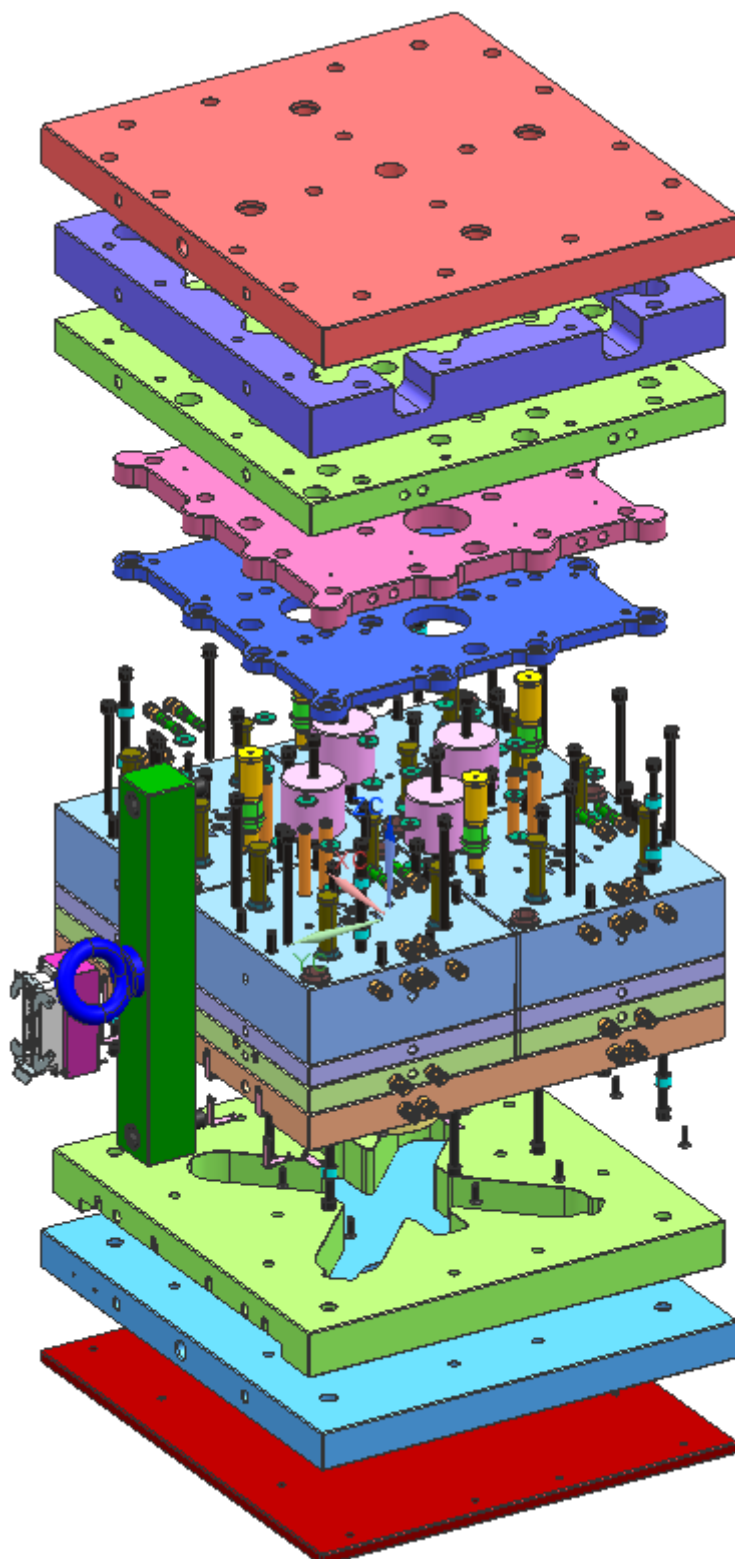
Forma se skládá z několika pater. Většina pater formy jsou desky s velkým množstvím děr. Tyto díry slouží různým účelům a jsou tak kladeny různé požadavky na jejich vyhotovení. Jinou kvalitu musí mít díry pro chlazení či díry pro středící čepy. Jelikož standardní OOTB knihovna obsahuje pravidla pro tvorbu děr, byla vybrána taková část této formy, na které byly vyzkoušeny OOTB pravidla společně s novými pravidly pro nové prvky. Dále byly vyzkoušeny nové principy rozpoznávání a nové principy automatického programování. Jelikož cílem v této fázi bylo pochopení samotné problematiky, nebylo žádoucí tvořit programy pro všechny části formy. Bylo nutné vybrat takový díl, který by pokryl základní typy geometrií, případně obsahoval geometrii novou, na které bylo nutné pochopit principy rozpoznávání geometrií.



Obr. 38: Plastová krabička



Obr. 39: Forma na výrobu plastových krabiček



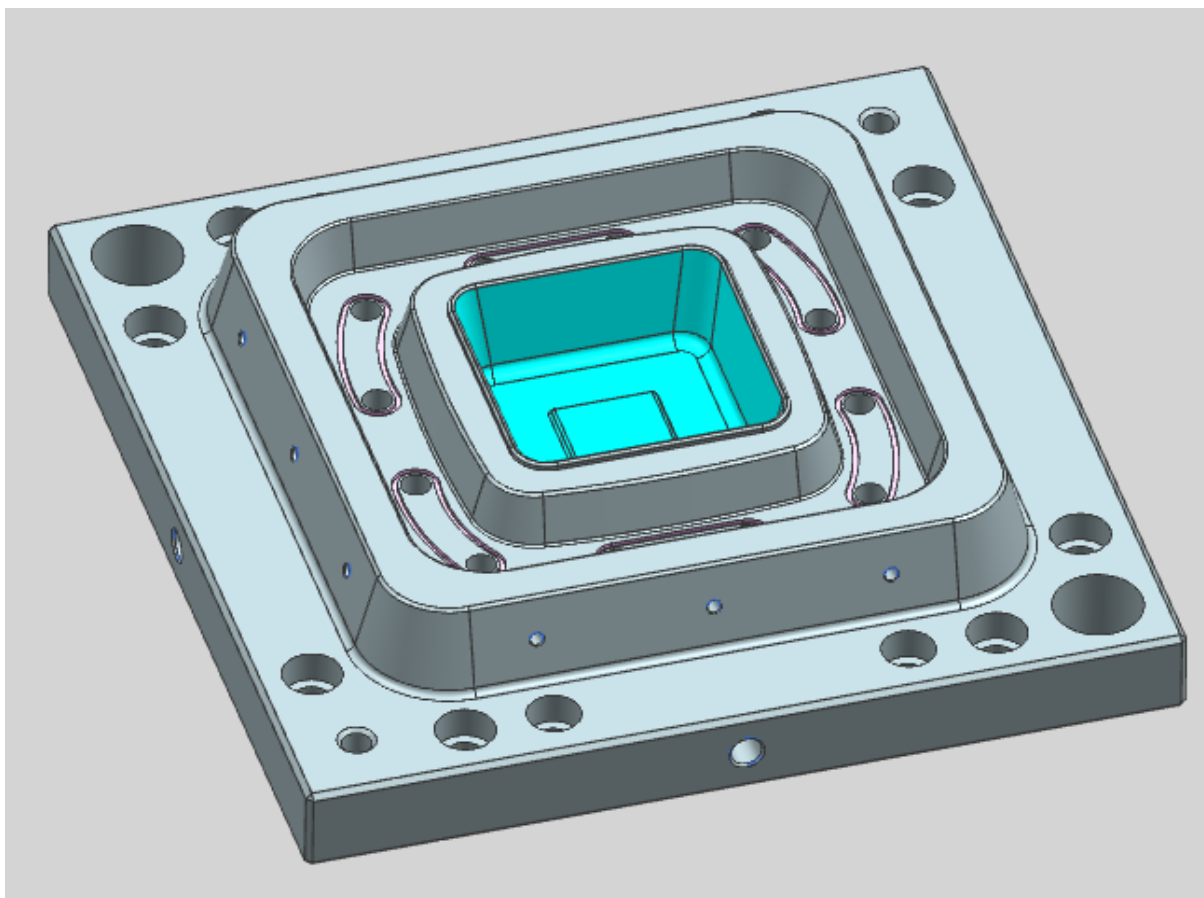
Obr. 40: Pohled na patra formy pro výrobu plastových krabiček

Pro potřeby této diplomové práce byla vybrána hlavní funkční část formy. Protože modelové podklady, které byly zvoleny pro tuto práci, byly k dispozici pouze ve formátu STEP214, bylo nutné jejich opětovné přemodelování. Původně práce probíhala na importovaném modelu, bohužel ale tento model postrádal zásadní data používané v automatickém programování. Přemodelování bylo nutné zejména z důvodu nového definování děr. Bylo nutné díry tvořit pomocí vhodných příkazů pro tvorbu děr (závitové díry, díry s válcovým zahloubením, díry s kuželovým zahloubením). Dále bylo nutné nově definovat radiusy na součásti. Zejména v oblasti kapsy, která je v přímém kontaktu s budoucí vyráběnou krabičkou, ztratily radiusové plochy během převodu dat informace o tom, že byly tvořeny jako radius. NX tyto plochy vnímalo pouze jako tvarovou plochu. Nebyla tak možná jejich parametrizace. Nebylo možné navázání PMI kót, a následně tvorba atributů v rámci MKE pomocí těchto kót. Celá získaná forma se tak stala pouze jakousi předlohou pro formu novou.

Vybraná část formy je v přímém styku s budoucí krabičkou, modré plochy jsou v přímém styku s bokem této krabičky. Dále v návaznosti na tyto plochy je lem, který tak získává i plastová krabička. Tento lem u krabičky slouží k jejímu uzavírání.

Na součásti je velké množství děr, pro které se nabízí použití FBM. Nicméně jsou zde i další prvky jako úzké růžové drážky, pro které byla taktéž vytvořena pravidla rozpoznávání a naučena vzorová technologie. Dále byla vytvořena mapovací pravidla pro různé díry. V předchozích kapitolách byla vysvětlena metodika názvosloví pro různé typy děr. Pro pohodlí programátorů neznalých procesů probíhajících na pozadí během tvorby automatické technologie bylo toto názvosloví složitě změněno tak, aby vše bylo srozumitelné i programátorovi naznalého pozadí FBM.

Důležitým poznatkem pro případného uživatele FBM je tedy nutnost nativních modelů. V případě importu modelů jiných formátů se stává tento addon (FBM) nepoužitelným. Jak se tedy ukázalo v průběhu práce, tento addon není vhodný pro společnosti zabývající se zakázkovou výrobou, pro společnosti, které získávají modely z různých CADů jejich zákazníků. Připravený model je vidět na následujícím obrázku.



Obr. 41: Opětovně namodelovaná část formy připravená pro testování FBM

Kromě přemodelování, došlo k přidání barev na důležité funkční prvky formy. Byly přidány barvy pro dva druhy kapes. Světle modrá barva ohraničuje kapsu, která je přímo v kontaktu s vyráběnou krabičkou. Růžová barva byla přidána úzkým kapsám po obvodu hlavní kapsy. Pro tyto barevně rozlišené kapsy byla následně tvořena automatická technologie.

Důležitý je způsob, kterým byly vytvořeny otvory ve formě. Seznam těchto příkazů je vidět na obrázku se stromem použitých modelovacích operací. V případě, že by tyto díry byly tvořeny například příkazem extrude (vysunutí), znemožňovalo by to automatickou tvorbu technologie. Pro FBM je tedy nutné dodržovat zásady správného modelování v konstrukci.

6.1 Postup při tvorbě technologie v prostředí NX klasickou cestou:

Příprava geometrie

- Specifikace souřadného systému
- Specifikace obrobku a polotovaru
- Specifikace upínacích přípravků

Tvorba operací

- Výběr geometrie
- Výběr nástroje
- Specifikace řezných a neřezných pohybů
- Definování rychlostí, posuvů

Tvorba další operace (vše se opakuje pro každý prvek na obrobku)

Simulace, verifikace, Post processing

6.2 Postup při tvorbě technologie v prostředí NX za použití FBM:

Příprava geometrie

- Specifikace souřadného systému
- Specifikace obrobku a polotovaru
- Specifikace upínacích přípravků

Automatické rozpoznání prvků

Automatická tvorba operací – u rozpoznaných prvků

- **Automatický** výběr geometrie
- **Automatický** výběr nástroje
- **Automatická** specifikace řezných a neřezných pohybů
- **Automatické** definování rychlostí, posuvů

Simulace, verifikace, Post processing

Je třeba si uvědomit, že automatický postup funguje pouze v ideálních případech. Tak jak je popsán výše, funguje při tvorbě otvorů. V případě složitějších geometrií má tento systém stále mezery. V systému NX, byly zjištěny zásadní nedostatky, které budou v rámci této práce představeny.

Není tedy vždy k dispozici ideální automatická tvorba technologie. Ve stavu, ve kterém se v současnosti nachází modul FBM v systému NX, je možné do jisté míry značně zjednodušit programátorům jejich práci a zvýšit tak produktivitu programování a snížit náklady na technickou přípravu výroby.

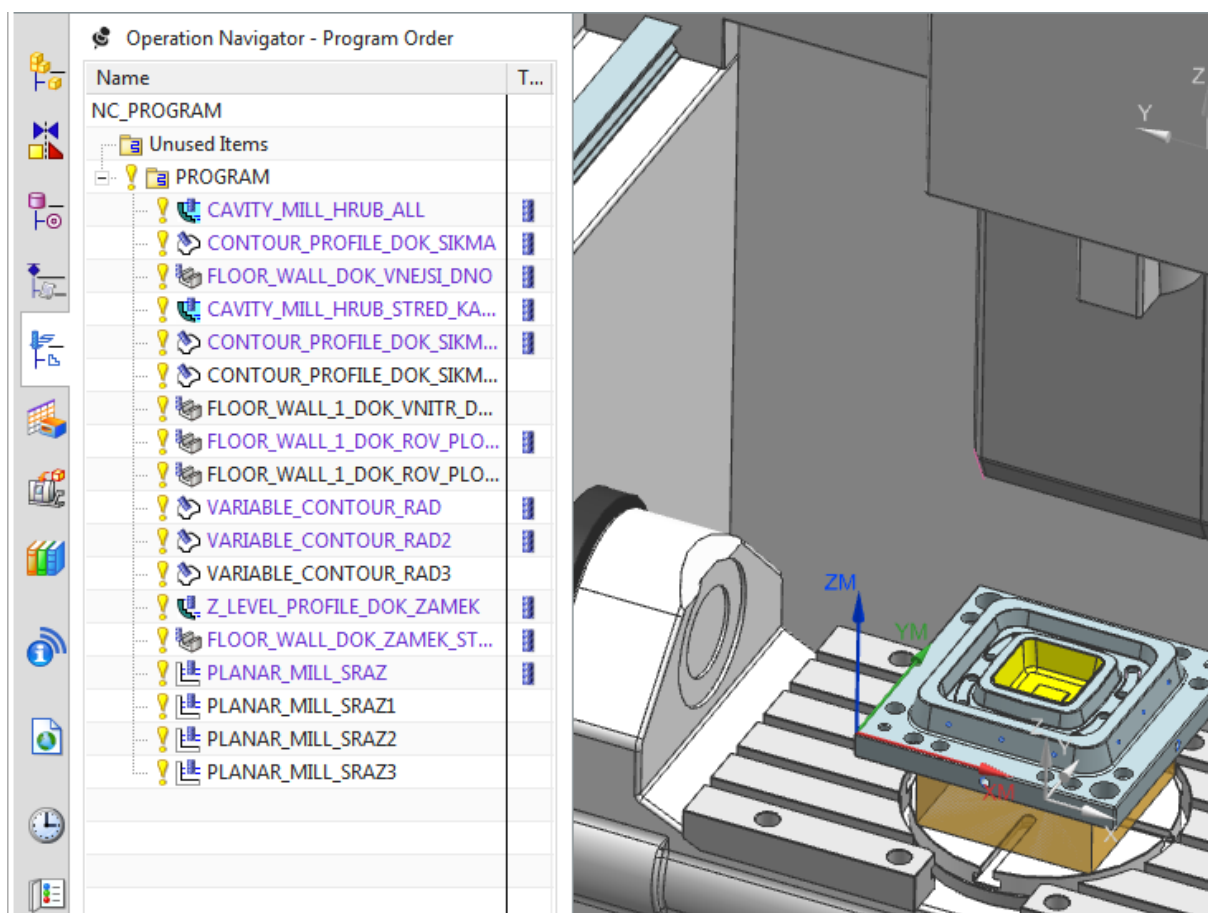
6.3 Možnosti FBM ve verzi NX9

Jelikož vývoj v oblasti automatizace programování stále probíhá, přibývají do NX stále nové a nové možnosti. Jak jistě každého napadne, ne vše se dá automatizovat. V průběhu zpracování práce byly zjištěny podstatné nedostatky. Tyto nedostatky se týkaly hlavně nefunkčnosti rozpoznávání geometrie u některých typů pokročilejších operací.

Siemens PLM uvádí, že FBM je možné v NX9 použít u těchto operací:

- Hole Making
- Floor/Wall Milling
- Cavity Milling
- Turning
- WEDM (2 and 4-axis Internal Trim and No Core)
- Thread Milling and Hole Milling
- Planar Milling
- Plunge Milling
- Z-Level Milling
- Fixed Axis Surface Contouring
- Variable Axis Z-Level Milling
- Variable Axis Surface Contouring (Streamline and Contour Profile)

Na vybrané formě byly vyzkoušeny některé z výše uvedených typů operací. U většiny operací pracujících s geometrií ploch, byly zjištěny naprosto fatální nedostatky, které neumožňovaly použití FBM.

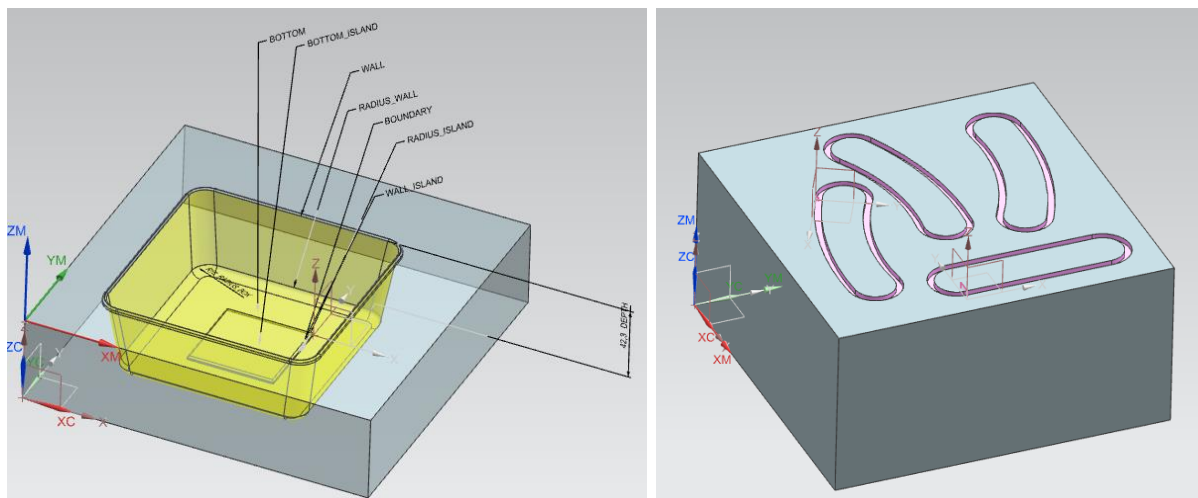


Obr. 42: Testování vytvořené technologie v prostředí simulátoru NX CAM

Na předchozím obrázku je výpis použitých operací. Schválně byly ponechány systémem generované názvy operací. Operace cavity mill se hodí zejména ke hrubování různých kapes. Operace mající v názvu contour jsou operace dokončovací umožňující různé souvislé naklápění os obráběcího stroje. Z-level je operace dokončovací hodící se k opracování strmých ploch. Základní a jedna z nejpoužívanějších operací je operace floor wall. Tuto operaci lze užít všude, kde je třeba obrábět rovinné plochy ať už při tří-osém obrábění, či indexovaném pěti-osém. Zvláštním typem stojícím mimo výše zmíněné operace jsou operace typu planar mill. Tyto operace nepracují s geometrií ploch, ale k jejich definování slouží hrany modelu, křivky v prostoru či skicy. V interních podkladech Siemens PLM je uváděno, že tuto operaci lze používat při FBM. V této práci bylo zjištěno, že použití této operace je možné, avšak se značnými omezeními. U operací planar mill nelze automaticky přiřazovat geometrii. Je možné automaticky vyplňovat operační parametry, přiřazovat nástroje, ale geometrii je nutno vybírat následně ručně. Toto zjištění bylo obrovským zklamáním a bylo nutné hledat jiná řešení. Snahou bylo nahradit tyto operace operacemi pracujícími s geometrií ploch.

Operace pracující s plochou potřebují pro správné definování geometrie přiřadit plochám určité atributy. Tyto atributy jsou přiřazovány pomocí PMI kót. Tento systém učení prvků byl vysvětlen v počátečních kapitolách práce. Na dalších obrázcích jsou zobrazeny kapsy, které byly použity pro učení geometrie. Je vidět jak souřadný systém kapes, který určuje směr přístupu nástroje pro budoucí operace, tak PMI kóty udávající nutné atributy.

PMI kóty jsou zde použity nejen pro určování jednotlivých ploch, ale taktéž pro určení hloubky kapes a rádiusů následně rozpoznávaných kapes.



Obr. 43: Izolované prvky formy připravené k naučení

Jako problematické se ukázaly i operace pracující s plochami. Příkazem Feature teaching jsou informace zadané pomocí PMI kót převedy do MKE editoru.

Attribute	Display Name	NX Dialog	Class	Type	Dimension	Vector Size	Enum Type	Unit
name	name			String	Single			
externalID	externalID			String	Single			
comment	comment			String	Single			
caption	caption			String	Single			
estimatedCost	estimatedCost			Double	Single			
costGroup	costGroup			String	Single			
SUBTYPE	SUBTYPE			Integer	Single			
MACHINING_RULE	MACHINING_RULE			String	Single			
COLOR	COLOR			Integer	Single			
WALL_ISLAND	WALL_ISLAND			Face	Single			
WALL	WALL			Face	Single			
RADIUS_WALL	RADIUS_WALL			Face	Single			
RADIUS_ISLAND	RADIUS_ISLAND			Face	Single			
RADIUS_BOK	RADIUS_BOK			Double	Single			Length
DEPTH	DEPTH			Double	Single			Length
BOUNDARY	BOUNDARY			Edge	Single			
BOTTOM_ISLAND	BOTTOM_ISLAND			Face	Single			
BOTTOM	BOTTOM			Face	Single			

Obr. 44: Modré atributy v prostředí MKE naučené pomocí PMI kót

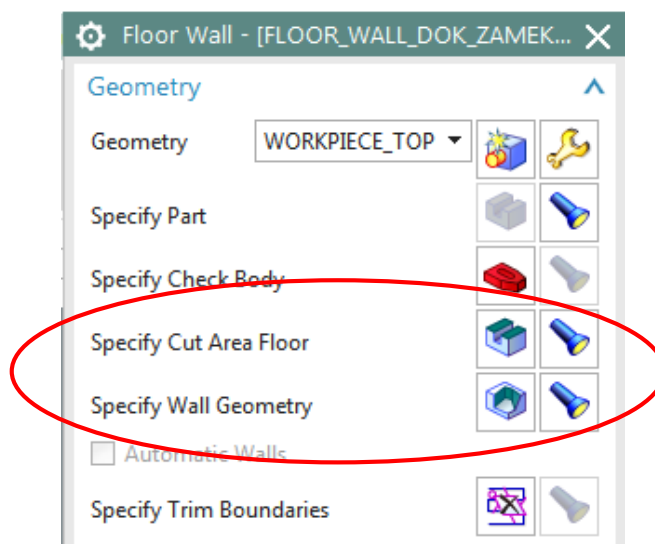
Problém nastal při rozpoznávání těchto naučených geometrií. Operace, které pracovaly s těmito atributy, byly systémem nesprávně interpretovány a operacím byly nesmyslně přiřazovány jiné plochy, než které byly původně naučené. Jelikož problém přetrvával i na dalších testovacích součástech, bylo nutné získat další informace. Vznikající problém byl reportován společnosti Siemens PLM. Společnosti SIEMENS PLM byly poskytnuty součásti, na kterých se problém vyskytoval a bylo zjištěno, že daný problém se nevyskytuje pouze v tomto případě, ale že se s podobnou problematikou potýká celá řada zákazníků. Autorovi této práce byly předány kontakty na tým vývojářů SIEMENS PLM. S nimi se povedlo během týdne vytvořit opravný balíček dll knihoven, který celou problematiku špatně rozpoznávaných

ploch řeší. Tento opravný balíček vyšel celosvětově během dubna 2015 pro všechny zákazníky Siemens PLM.

Po překonání tohoto problému se otevřely obrovské možnosti pro totální automatizace. Před opravným balíčkem bylo vždy nutné plochy v operacích přiřazovat ručně. Nyní lze tyto plochy přiřazovat už v rámci MKE. Nyní je možno generovat celé operace, které nevyžadují žádný zásah od programátora/technologa.

```
o13.Cut_Area_Geometry = mwf.BOTTOM  
o13.Wall_Geometry = mwf.WALL_ISLAND
```

Obr. 45: Průlomová část kódu, která umožňuje totální automatizaci



Obr. 46: Definované geometrie v prostředí NX

6.4 Dílčí závěr

V této části práce byly reálně zkoušeny teoretické poznatky získané v předchozí etapě. Bylo zjištěno, jak celý systém pracuje, byly odhaleny nedostatky a problémy. Tyto problémy byly následně vyřešeny. Byly nalezeny způsoby, jak správně postupovat při učení nových zákaznických geometrií včetně operací nutných pro jejich obrobení. Byla nalezena cesta, jak řešit návaznost jednotlivých operací v MKE.

Původním záměrem práce bylo sledovat možnosti automatizace programování. V této etapě byly tyto možnosti testovány na součásti, pro kterou byl tento modul tvořen. Na této součásti však byly odhaleny poměrně zásadní limity systému. Problémy, které se vyskytly, byly popsány společností SIEMENS PLM. Tyto problémy se podařilo překonat a otevřely se tak možnosti automatizaci daleko složitějších tvarových prvků. S takto upraveným addonem by byla škoda nezkusit posunout samotnou automatizaci dál. Skutečnost, že autor pracoval s beta verzí této úpravy, motivovala k hledání opravdových limitů vylepšeného addonu. Limity byly hledány v praxi přímo na reálných výrobcích, pro které byla vytvářena automatická technologie. Tyto reálné studie jsou představeny v následující etapě. Samotné vylepšení addonu FBM bylo během dubna 2015 poskytnuto všem zákazníkům společnosti SIEMENS PLM.

7 Pátá etapa: Praktické využití modulu FBM



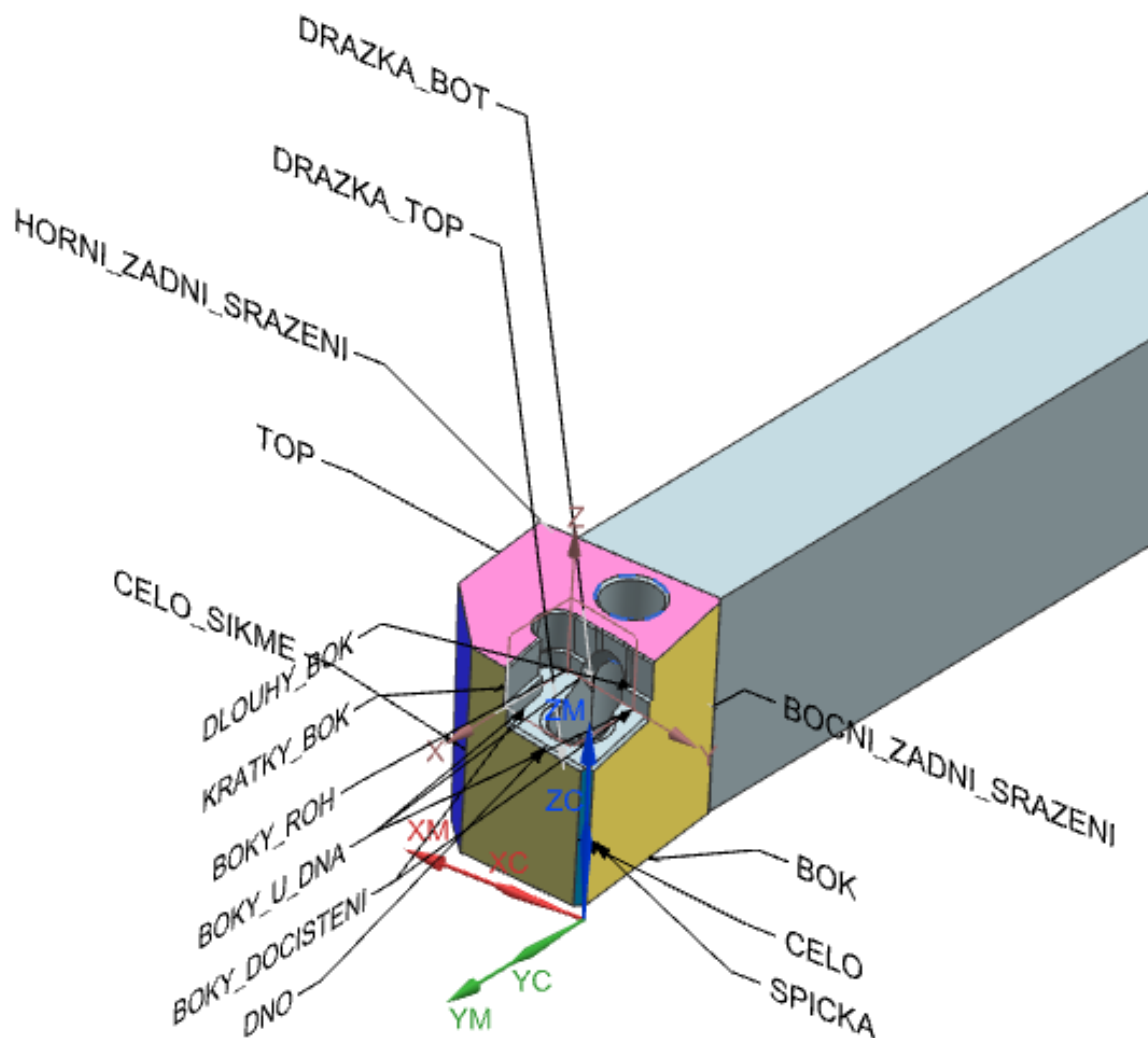
- Testování nově otevřených možností modulu FBM v praxi

Pro zjištění samotné ekonomické výhodnosti automatického programování bylo nutné získané poznatky ověřit v praxi. Jelikož celá řada výrobců nástrojů používá pro tvorbu technologie právě systém NX, zdálo se vhodné tento modul vyzkoušet právě na takové aplikaci, která by mohla zjednodušit jejich práci. Mezi výrobce nástrojů využívající systém NX patří např. Karned Tools s.r.o., Pramet Tools s.r.o., ISCAR LTD.

To, co spojuje všechny výrobce nástrojů s vyměnitelnými břitovými destičkami, je právě vyměnitelná břitová destička. Tyto destičky se ukládají do lůžka, které je unikátní pro každého z výrobců nástrojů. Tato lůžka jsou často základním střeženým know-how společnosti. Co se však nabízí, je automatizovat technologii pro tvorbu těchto lůžek. V současné době není na trhu žádný CAD-CAM systém, který by takovou míru automatizace umožňoval již v samotném základu. Aby bylo možné získat relevantní hodnoty reálně použitelné v praxi, byla autorem navázána spolupráce s některými společnostmi, které se v České republice zabývají právě výrobou nástrojů. Byla tak získána slušná základna znalostí tvorby lůžek vyměnitelných břitových destiček.

7.1 Soustružnické nože a FBM

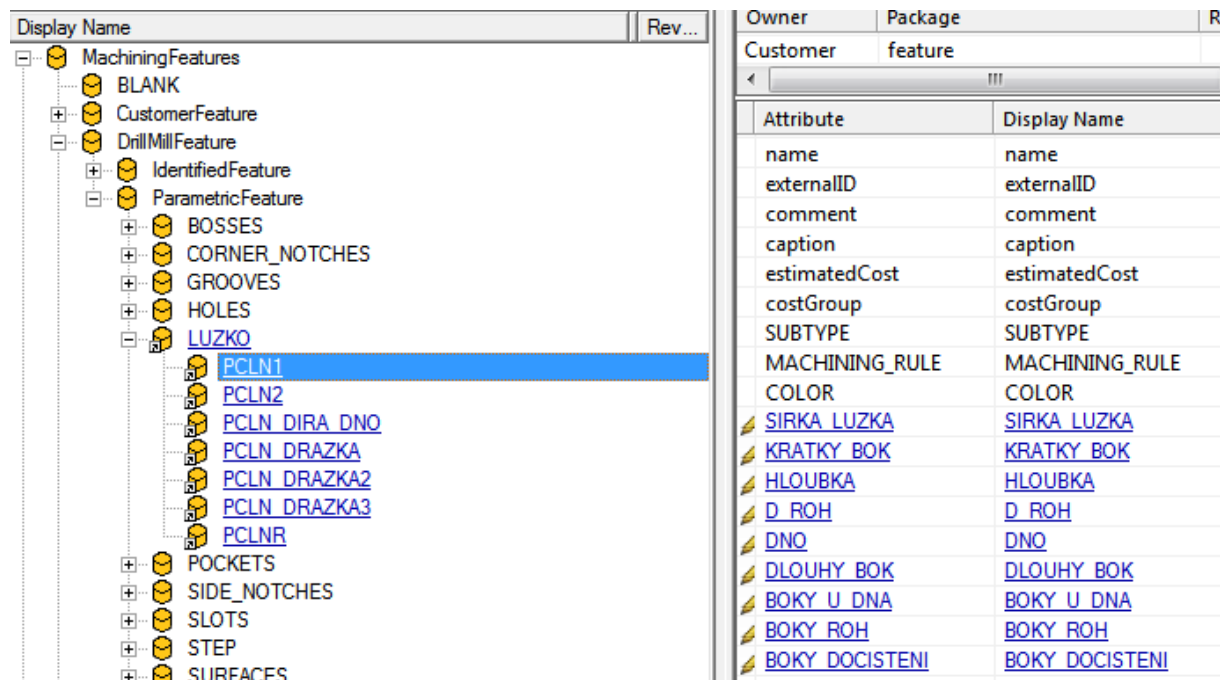
První možnosti použití FBM byly testovány v oblasti soustružnických nožů. Byla zpracována automatická technologie pro řadu nožů PCLN (dle ISO). Bylo nutno rozklíčovat postup tvorby samotného NC program. Tento postup pak byl optimalizován pro použití FBM. Operace využívající hrany a křivky byly nahrazeny operacemi, které využívají plochy. Bylo nutné, aby systém generoval podobné či lepší dráhy, než jaké doposud byly získávány v praxi. V některých případech bylo nutné optimalizovat taktéž získané modely. Běžnou praxí v mnoha podnicích, se kterými autor spolupracoval, je nedokonalé provázání konstrukce a technologie. Modely získávané z konstrukce často neodpovídají vyráběné skutečnosti. Jedná se o velikosti radiusů, kolmosti ploch apod. Byl vytvořen jeden parametrický model představující celou řadu nožů PCLNL/R dle ISO. Pro tuto řadu byla následně vytvořena automatická technologie. Byly vybráni typičtí představitelé z dané řady nožů, pro které byly vytvořeny testovací modely s PMI kótami a s barevným odlišením ploch. Je důležité zmínit, že i v rámci jedné ISO řady se vyskytují značné odlišnosti v geometrii. Lůžka pro větší vyměnitelné břitové destičky mají často jinou geometrii než lůžka pro destičky menších rozměrů. Bylo tak nutné brát v úvahu i tyto změny a celý automatický systém tomu podřídít.



Obr. 47: Typický představitel soustružnického nože s připravenou geometrií včetně PMI kót pro tvorbu automatické technologie

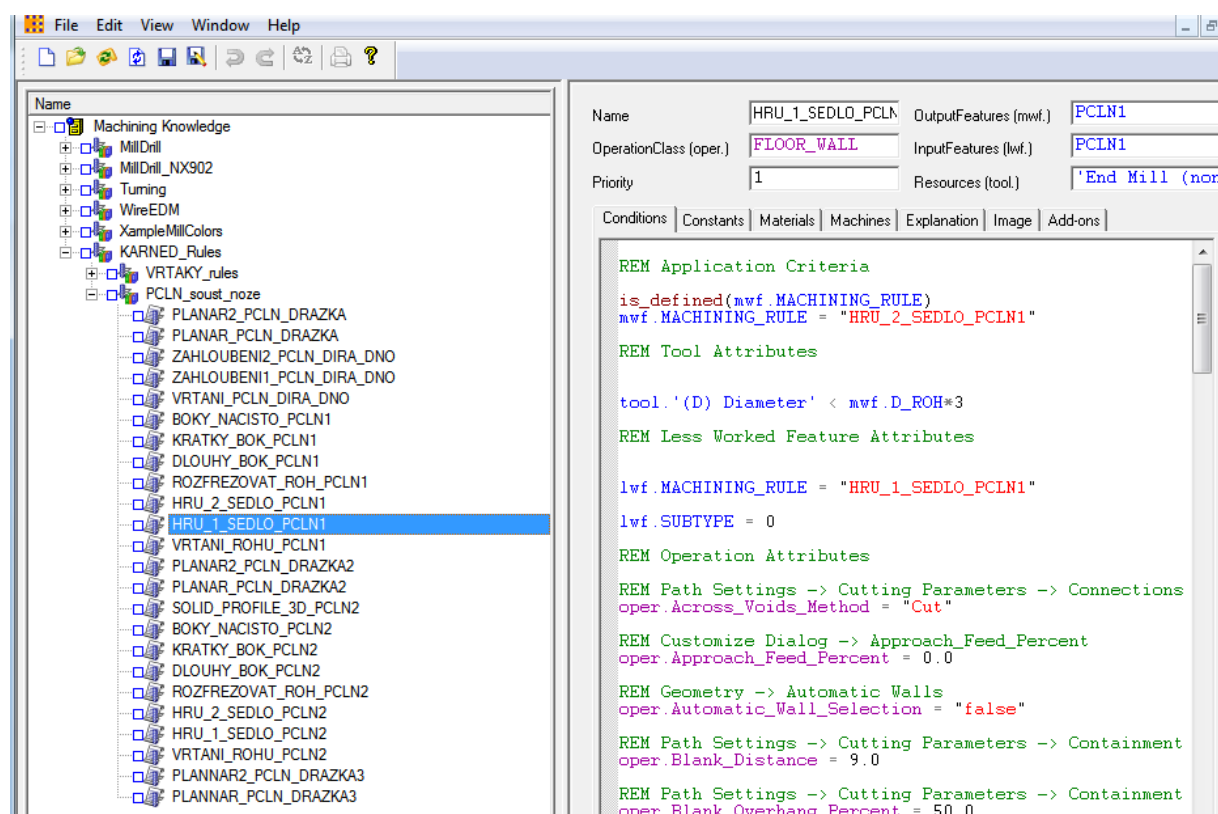
Byl tak vytvořen systém, který generoval dráhy dle všech těchto odlišností. V MKE byly podchyceny jednotlivé varianty, které mohou v rámci nožů PCLN nastat. Na následujícím obrázku jsou vidět prvky, které byly naučeny. Jedná se o dvě možné geometrie lůžek PCLN1 a PCLN2, kdy první možnost podchycuje lůžka pro menší vyměnitelné břitové destičky a PCLN2 podchycuje lůžka pro větší vyměnitelné břitové destičky. Byla taktéž vyřešena problematika levých a pravých nožů. Systém dokáže rozpoznat, zda se jedná o levý či pravý nůž a celou technologii tomu přizpůsobí. Největší problém byl zjištěn v oblasti drážky pro upínací mechanismus, který je unikátní pro ISO řadu nožů P. Dle velikosti destičky se toto vybrání liší. Byly definovány celkem 3 typy drážek, které systém správně rozpoznává a

přirazuje jim správnou technologii. Posledním prvkem byla díra pro upínací mechanismus, jejíž geometrie je shodná pro celou řadu PCLN.



Obr. 48 Naučené geometrie soustružnických nožů včetně atributů v prostředí MKE

Po samotném naučení geometrie byla přiřazována pravidla pro obrobení jednotlivých geometrií. Na následujícím obrázku jsou vidět operace generované pro obrobení jednoho lůžka typu PCLNR/L.



Obr. 49: Naučené operace pro obrobení geometrií lůžek v prostředí MKE

Je nutné poznamenat, že modul FBM nebyl navržen ke generování drah pro takto složité geometrie a jeho naprogramování vyžaduje vysokou znalost prostředí MKE a prostředí NX. Dá se říct, že tato pravidla tlačí NX k jeho samotným limitům.

Naprogramování tohoto systému pro nože PCLN zabralo necelé 2 týdny. Během těchto dvou týdnů je možné naprogramovat celou modelovou řadu všech soustružnických nožů, kterou nabízí např. Karned Tools s.r.o. Takže o časové úspoře nemůže být řeč. Je nutné brát v úvahu fakt, že autor stále objevoval možnosti a cesty, jak takový systém vytvořit. Samotná studie zabývající se ekonomickou výhodností takového systému byla vytvořena na rozsáhlejší řadě nástrojů a je představena na dalších stránkách.

7.2 Vrtáky s vyměnitelnými břitovými destičkami a FBM

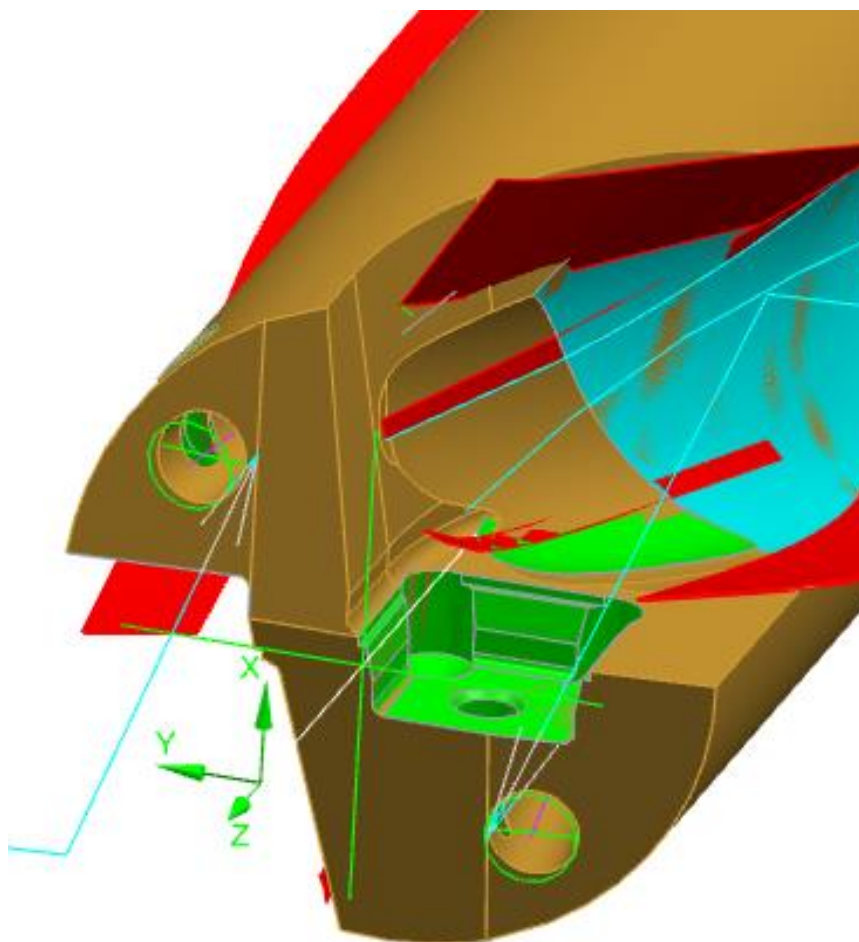
Pro studii nákladů, byla zvolena řada vrtáků s vyměnitelnými břitovými destičkami. Tato řada vrtáků obsahuje cca 60 možných variant, lišících se průměrem a délkou. Samotná geometrie vrtáku je ideální z hlediska geometrické podobnosti napříč jednotlivými typy. Vrták vždy obsahuje vnitřní a vnější destičku. Vždy se jedná o podobnou geometrii v počtu ploch a jejich navázání. Stačí tak naučit pouze jedno vnitřní a vnější lůžko, správně podchytit jejich parametry z hlediska parametrizace programu a následně je možné generovat program napříč celým sortimentem dané řady bez dlouhé tvorby celého programu.



Obr. 50: Řada vrtáků společnosti Pramet Tools s.r.o., pro které byla vytvářena automatická parametrická technologie [7]

V současné době trvá výrobci nástrojů tvorba jedné technologie přibližně 4 hodiny. Dle interních materiálů společnosti SIEMENS PLM je v případě totální automatizace technologie možné generovat až 90% úsporu času. Této hodnoty se daří však dosahovat v případě jednoduchých tvarů jako jsou díry či jednoduché kapsy. V případě vrtáku byla odhadována 50% úspora času, jelikož se jedná o složitou geometrii, která si žádá využití souvislého pětiosého obrábění. Právě z důvodu složité geometrie byla očekávána nemožnost použití plné automatizace. Některé tvary není možné obrábět pomocí operací, které využívají plochy.

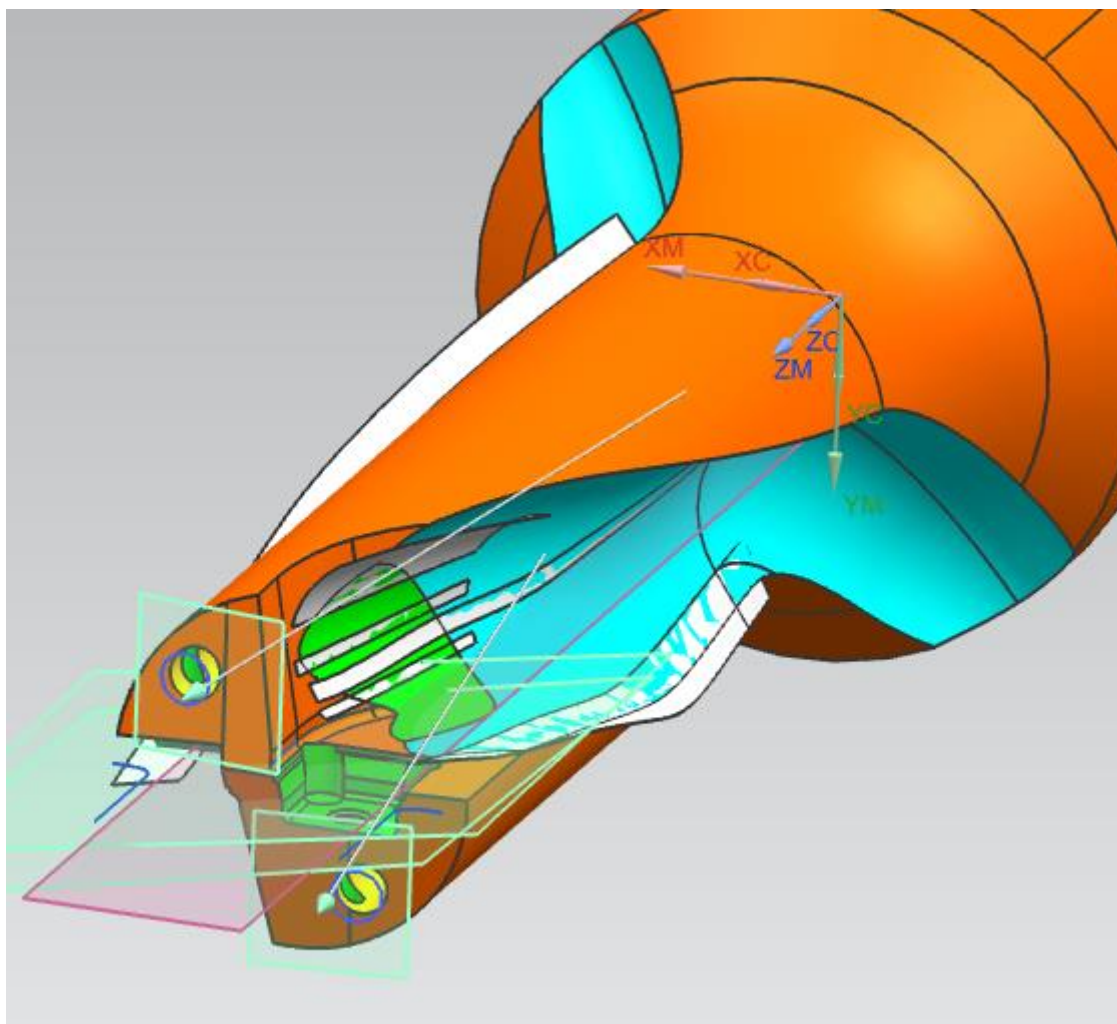
Při počáteční fázi, ve které docházelo k rozboru geometrie, k seznámení se s průběhem tvorby programu, byly opět zjištěny poměrně zásadní problémy již v samotné konstrukci, které opět znesnadňují technologům jejich práci. V následující části budou ukázány jednotlivé problémy vycházející ze špatné konstrukce nástroje.



Obr. 51: Detail vnitřního lůžka v prostředí NX

Jedním z problémů se ukázaly být jednoduché díry na přívod chladící kapaliny. Tyto díry jsou bohužel skicovány do špatných rovin a při samotném vysunutí této díry došlo k vytvoření elipsovitého tvaru. Systém tak nedokáže správně vyhodnocovat, že se jedná o díru a je nutné složitě upravovat daný model pomocí synchronní technologie, či vytvářet pomocné křivky, kterých se lze chytat v průběhu tvorby programu.

Dalším a závažnějším problémem je drážka pro odvod třísky. Jelikož byly poskytnuty mrtvé modely, není možné zjistit, jak byla tato drážka tvořena. Protože se jedná o model tvořený ve starších verzích NX, původních Unigraphics, je pravděpodobné, že nástroj na tvorbu této geometrie neobsahoval tak dokonalé možnosti, které nabízí současné verze NX. Problém nastává při samotném generování drah v modulu obrábění. Není možné generovat dráhy z důvodu, že systém hlásí podříznutí, není možné se dostat standardními kulovými frézami do této drážky. Z toho důvodu je nutné tvořit pomocné plochy, které slouží jako řídicí geometrie a nahrazují hlavní obrobek. Je to velmi nešťastné řešení, avšak v tomto případě jediné možné. Takto upravený model umožňuje jeho plné obrobení, avšak v případě verifikace obrobeného tvaru a odebraného materiálu systém hlásí podříznutí na nefunkčních plochách. Výrobce nástroje je s tímto stavem srozuměn. Čas, který by si vyžádala oprava modelů, není možné v praxi vynaložit.



Obr. 52: Upravená geometrie včetně přidáných ploch

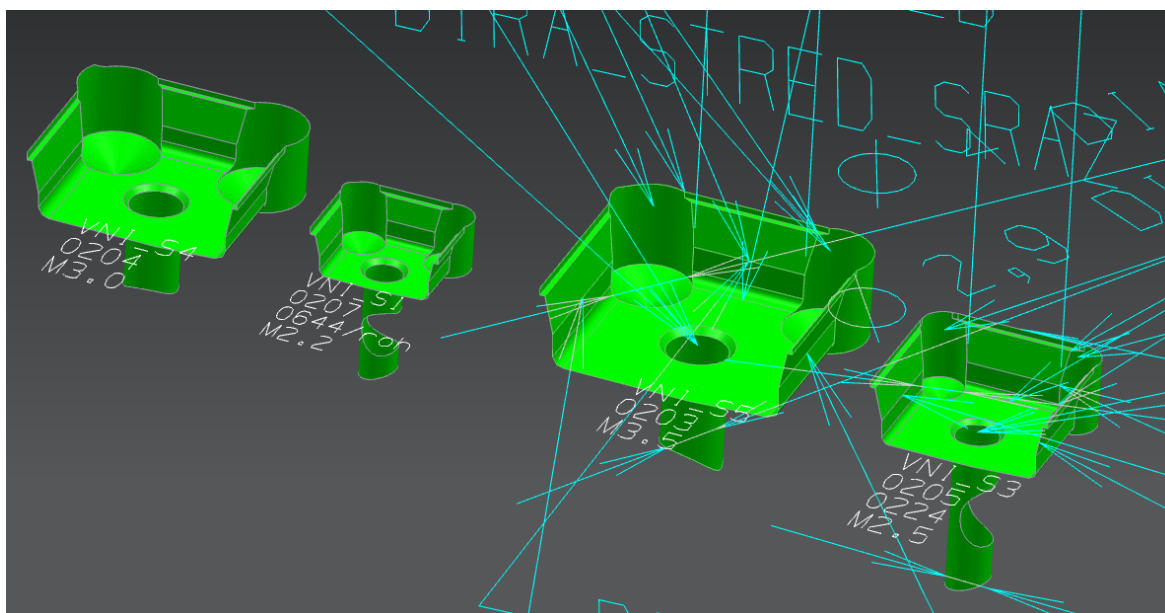
Technolog tak má stíženou práci tím, že musí samotný model upravit před započítáním vlastní práce tvorby programu.

Pro tyto vrtáky byla provedena studie mapující jejich geometrii a studie mapující jednotlivé parametry vstupující do obrábění. Byly hledány parametry, které by bylo možné použít jako

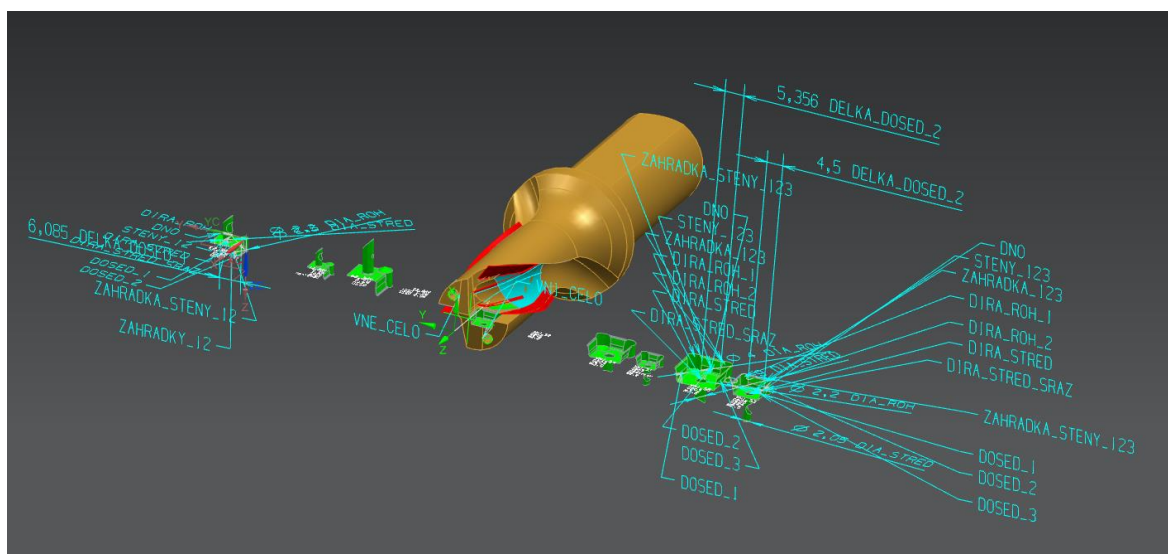
určující pro výběr obráběcích nástrojů. Bylo provedeno rozčlenění dle typů lůžek těchto vrtáků. Bylo rozhodnuto o možnostech automatizace a byly vytvořeny jednotlivé varianty automatizace. Bylo nutné splnit základní požadavek společnosti, pro kterou byla technologie tvořena, který zněl: „Postup výroby musí být stejný nebo lepší než doposud.“

Jednotlivé stupně navrhované automatizace:

1. Neautomatizovat (obvyklý postoj technologů v podniku, kde je nasazována automatická technologie)
2. Automatizovat technologii tvorby lůžek
3. Automatizovat výrobu celého nástroje (obvyklý postoj managementu)



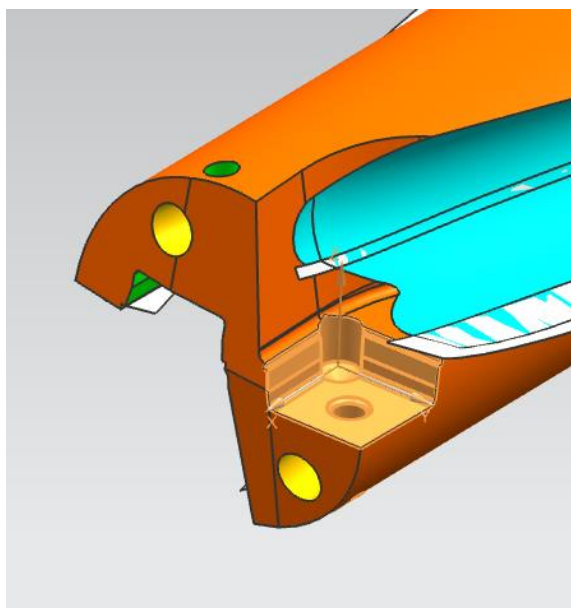
Obr. 53: Různé velikosti vnitřních lůžek



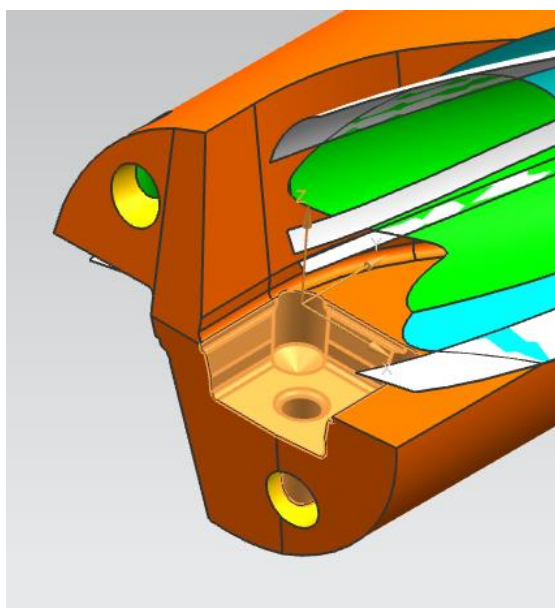
Obr. 54: Připravený model vrtáku pro naučení prvků

Jak je vidět na obrázcích, lůžka těchto vrtáků jsou tvarově velmi podobná a je možné tak vytvořit parametrickou technologii využívající FBM. Pro tvorbu parametrické technologie bylo nutné podchytit veškeré parametry lůžek pomocí PMI kót. Tyto parametry byly přeneseny do prostředí MKE, kde jsou využívány samotnými pravidly, která rozhodují o postupu výroby.

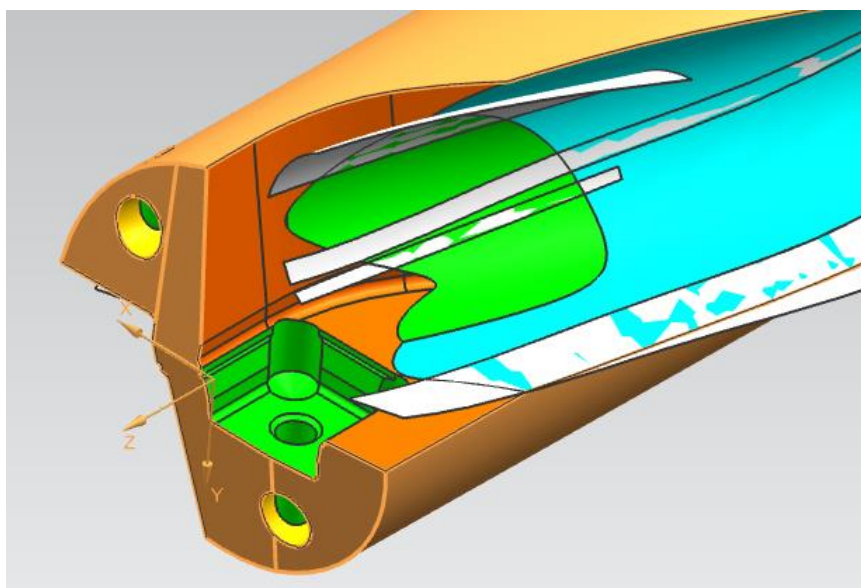
Byly naučeny jednotlivé prvky, vnější lůžka, vnitřní lůžka a čela. Bylo nutné podchytit více možností tak jako u lůžek soustružnických nožů. S rostoucím průměrem nástroje dochází ke změně geometrie čel nástrojů. Následně byla vytvořena optimalizovaná technologie, využívající produktivní operace vyhovující možnostem FBM.



Obr. 55: Rozpoznané vnější lůžko systémem FBM

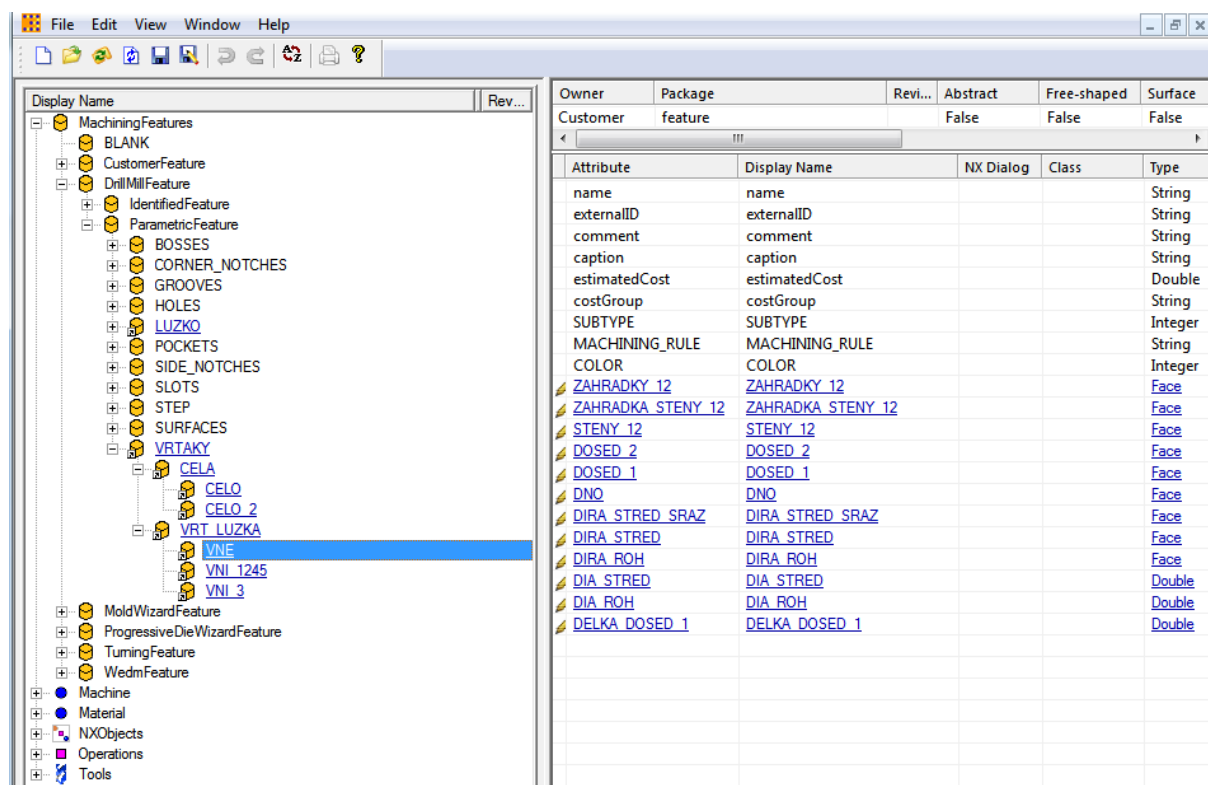


Obr. 56. Rozpoznané vnitřní lůžko systémem FBM



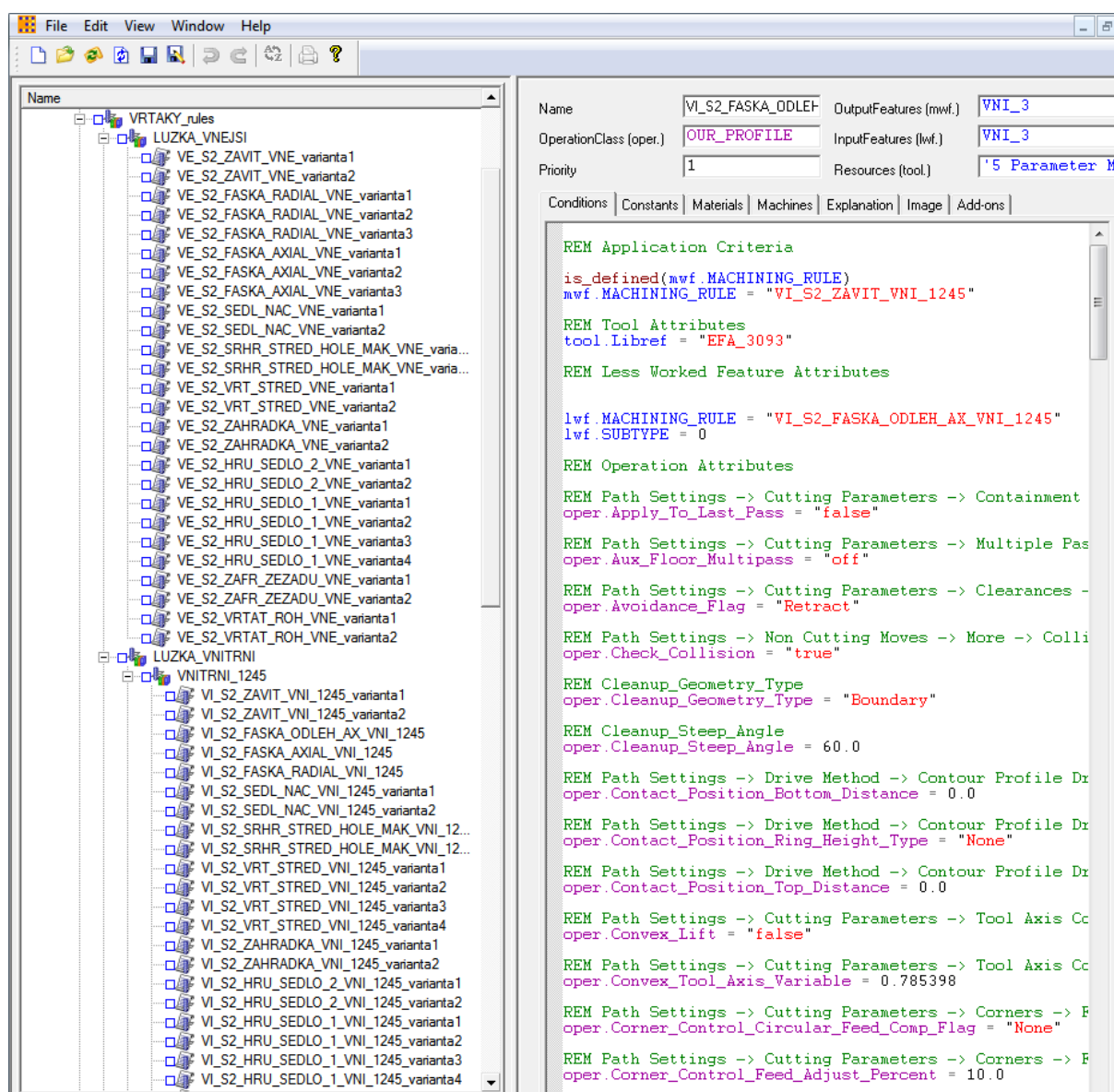
Obr. 57: Rozpoznané čelo nástroje systémem FBM

V rámci MKE tak byly vytvořeny záznamy v jednotlivých oblastech MKE. Na následujícím obrázku jsou znázorněny typy lůžek a čel jednotlivých nástrojů v prostředí MKE. Taktéž jsou vidět parametry pro vnější typ lůžka. Vnitřní lůžko bylo nutno rozdělit do dvou typů. U jedné velikosti vnitřního lůžka je změněna geometrie zásadním způsobem. Na lůžku naroste počet ploch a je nutné pro toto lůžko volit jiný sled operací při samotném obrábění. Pro toto lůžko bylo nutné vytvořit samotnou parametrickou technologii.



Obr. 58: Naučené geometrie vrtáků v prostředí MKE

Byla vytvořena poměrně rozsáhlá knihovna obsahující bezmála 100 obráběcích pravidel. Každé pravidlo obsahuje několik aplikačních podmínek užití tohoto pravidla. Bylo nutné členit tato pravidla dle lůžek, která se jejich pomocí obrábí. Lůžka vrtáků sice mají podobnou geometrii, liší se však velikostí některých částí. Jedná se hlavně o rohové díry či díry pro upnutí vyměnitelné břitové destičky. Taktéž samotná velikost lůžka je určujícím parametrem pro volbu vhodných nástrojů (velikost fréz pro jejich obrábění). Tato knihovna pravidel značně převyšuje vyspělost knihovny dodávanou společností Siemens PLM. Každé pravidlo obsahuje množství addonů, které dále rozhodují o operačních parametrech vyplňovaných v NX. Cílem této práce je zjistit užitnou hodnotu automatizace v prostředí NX, nebudou zde tak vypisovány postupy tvorby této automatizace. Náhled do prostředí těchto pravidel je zobrazen na následujícím obrázku.



Obr. 59: Operace pro jednotlivé typy lůžek v prostředí MKE

7.3 Dílčí závěr

Pátá etapa se zabývala tvorbou automatické technologie pro nástroje s vyměnitelnými břitovými destičkami. Byla tak nalezena nová oblast, ve které je možné uplatnit automatizaci. Byla navázána spolupráce s výrobcem nástrojů a tato automatizace byla uvedena do praxe. Bylo zjištěno, jak je možné tuto automatizaci realizovat. Doposud nebyl zjišťován ekonomický přínos automatiky v této oblasti. Ekonomické hledisko je řešeno v následující etapě.

8 Šestá etapa: Technicko-ekonomické zhodnocení



- Ověření ekonomické výhodnosti

Jak již bylo zmíněno programování standardní zavedenou cestou trvá zkušenému programátorovi s desetiletou praxí v NX cca 4 hodiny. Po zavedení této automatiky trvá tvorba programu včetně přípravy špatně tvořeného modelu (plochy, skicy, osy) 35 minut.

Časová úspora tedy vysoce převyšuje odhadovaných 50%. Je to způsobeno zejména vhodnou volbou operací a správným podchycením všech rozhodujících parametrů jednotlivých lůžek. Je však nutné vzít v úvahu samotný čas, který zabrala tvorba automatiky. Takto zpracovaná automatická technologie, včetně všech počátečních analýz, odzkoušení a odladění zabere zkušenému programátorovi týden práce, cca 40 hodin. Jelikož tato řada vrtáků obsahuje 60 nástrojů, je nutné zvážit vytvoření automatické technologie. K tomu byla vybrána metoda výpočtu kritického množství. Pomocí této metody jsou obvykle zkoumány různé přístupy výroby a je zjišťován tzv. bod zvratu, který určuje množství, ve kterém jsou náklady na různé varianty výrobního postupu stejné. Díky tomuto bodu jsme schopni zjistit výhodnost jednotlivých variant pro různé množství typů vyráběných výrobků.

8.1 Bod zvratu

Pro výpočet nákladového bodu zvratu je nutno znát fixní a variabilní náklady. Jako fixní náklady byly uvažovány náklady na tvorbu automatické technologie. Zde je nutno poznamenat, že není možné do těchto nákladů započítat vývoj této metodiky a čas, který autor strávil nastudováním dané problematiky. Po prostudování, odladění chyb v NX pomocí hotfix opravy od Siemens PLM zabere tvorba automatické technologie cca týden, tedy 40 hodin. Hodinová mzda byla uvažována 150 Kč.

Výpočet nákladového bodu zvratu staví na základní podmínce, že dvě varianty mají stejné celkové náklady. Celkové náklady získáme sečtením fixních nákladů a proměnných variabilních nákladů, které jsou přenásobeny množstvím typů vrtáků. Bod zvratu je vyjádřen jako podíl rozdílu fixních nákladů a rozdílu proměnných variabilních nákladů.

8.2 Výpočet nákladového bodu zvratu:

$$CN1 = FN1 + PVN1 \cdot q \dots \text{celkové náklady 1. varianty} \quad (1)$$

$$CN2 = FN2 + PVN2 \cdot q \dots \text{celkové náklady 2. varianty} \quad (2)$$

PVN1proměnné variabilní náklady varianty1

PVN2proměnné variabilní náklady varianty2

FN1fixní náklady varianty 1 (náklady na tvorbu automatiky)

FN2fixní náklady varianty 2 (náklady na tvorbu automatiky)

q.....počet variant vrtáků

za předpokladu: $CN1 = CN2$ pak:

$$q = \frac{FN2 - FN1}{PVN1 - PVN2} \dots \text{rovnice bodu zvratu} \quad (3)$$

Varianta 1 (bez automatiky):

$$CN1 = FN1 + PVN1 \cdot q = 0 + (4 \cdot 150) \cdot 60 = 36000 \text{ Kč} \quad (4)$$

PVN1 = (počet hodin nutných k naprogramování vrtáku * hodinová mzda)

FN1 = (a * hodinová mzda) a=0 (varianta bez automatiky)

hodinová mzda = 150 Kč

a.....počet hodin nutných k naprogramování automatiky

$$CN1 = 36000 \text{ Kč}$$

Varianta 2 (s automatikou):

$$CN2 = FN2 + PVN2 \cdot q = 6000 + (0,5 \cdot 150) \cdot 60 = 10500 \text{ Kč} \quad (5)$$

PVN2 = (počet hodin nutných k naprogramování vrtáku * hodinová mzda)

FN2 = (a * hodinová mzda)

a.....počet hodin nutných k naprogramování automatiky

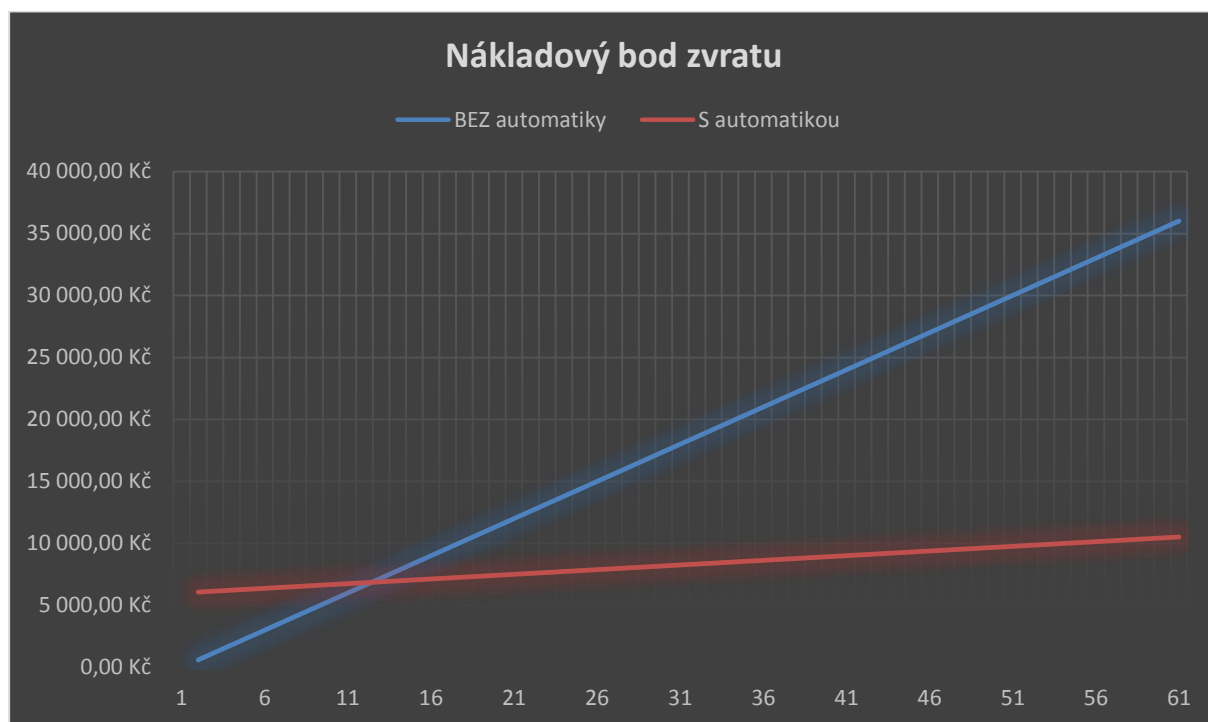
hodinová mzda = 150 Kč

$$CN2 = 10500 \text{ Kč}$$

Bod zvratu:

$$q = \frac{FN2 - FN1}{PVN1 - PVN2} = \frac{6000 - 0}{600 - 75} = 11,4 \quad (6)$$

$$q \doteq 12 \text{ ks}$$



Obr. 60: Graf nákladového bodu zvratu, který znázorňuje výhodnost automatiky

8.3 Dílčí závěr

Nákladový bod zvratu je 12 vrtáků. Z toho vyplývá, že pokud bude mít řada nástrojů méně jak 12 typů, je vhodnější vytvořit automatickou technologii a vytvořit technologii pomocí standardní metody ručně v prostředí CAM. V případě, že řada nástrojů bude obsahovat více jak 12 typů technologií, je ekonomicky vhodnější zařadit nejprve vytvoření automatické technologie a až následně generovat programy v prostředí CAM.

Důležité je vzít v úvahu náklady na získání znalostí ohledně problematiky programování v prostředí MKE. Programátor, který bude pracovat v prostředí MKE, musí ovládat alespoň základy obecného programování, je nutné znát základy jazyka Basic či přímo Visual Basic. Je pochopitelné, že najít takového člověka v prostředí strojírenské firmy bývá většinou problém. Člověk, který bude spravovat databázi automatického programování, nemůže být přímo IT specialista, neboť je nutné mít znalosti z oboru strojírenské technologie obrábění a znalosti programování v prostředí NX CAM.

V případě, že bychom chtěli započítat i náklady na proškolení tohoto člověka, vyšplhaly by náklady u druhé varianty vysoko nad variantu první. Je však možné nechat si vytvořit upravenou databázi automatického programování přímo specializovanými firmami, které se zabývají problematikou CAx systémů.

9 Závěr

V této práci byly nastíněny možnosti, které v současné době nabízí jeden z nejvyspělejších softwarů pro tvorbu technologie, NX CAM. V tomto softwaru byly testovány jednotlivé funkce automatizace, byly hledány limity, které se později podařilo výrazně posunout.

V praktické části práce byla navázána spolupráce s firmou, která se zabývá výrobou obráběcích nástrojů. Autor i nadále s touto společností spolupracuje na tvorbě rozsáhlé databáze pravidel pro automatické programování. Povedlo se tak na základě prokazatelných výsledků, které byly představeny v této práci. Je tedy možné, že v budoucnu bude automatizace v této oblasti dosahovat ještě lepších výsledků.

Nespornou výhodou automatické technologie je fakt, že jednou naučená technologie přiřazená k danému lůžku, může být použita na jakémkoliv nástroji, který využívá stejnou břitovou destičku a jí odpovídající lůžko. Z toho jednoznačně vyplývá, že v průběhu času získá výrobce nástrojů plně automatický systém, který bude pouze generovat příslušné operace pro dané vyhledané geometrie z obrovské databáze již hotové technologie.

Vedle softwaru NX nabízí SIEMENS PLM řadu dalších softwarů pro řízení výroby. Vrcholným systémem je software Rulestream. Pomocí tohoto systému je možné automaticky na základě zadaných parametrů generovat různé modely. Ve spojení s tímto softwarem by v budoucnu bylo možné dosáhnout prakticky neomezených možností v oblasti automatizace. Na základě zadaných parametrů by byly automaticky generovány součásti, které by byly následně pomocí tvarového rozpoznávání obráběny.

Možnosti v této oblasti jsou prakticky neomezené. Lidská mysl není nic jiného než dokonalý počítač. Každý počítač nebo program se rozhoduje na základě vstupních parametrů, které se dají podchytit.

Ne zítra, ne pozítří, ale v horizontu pár let je opravdu možné, že stroj bude schopen sám vyrábět pouze na základě požadavku zákazníka. Abychom si tedy odpověděli na otázku položenou v úvodu: Ano stroje lze přinutit myslet. Je možné stroj naučit správný postup výroby, který bude samostatně správně aplikovat na různé druhy výrobků.

POUŽITÁ LITERATURA

- [1] SIEMENS PLM. 2011. *Brožura Teamcenter: Jak zpřístupnit produktové znalosti celé společnosti všem zaměstnancům?*. Plano: Siemens Product Lifecycle Management Software Inc. Dostupné také z:
http://www.plm.automation.siemens.com/cz_cz/products/teamcenter/library.shtml#lightview%26uri=tcm:841-79817%26title=Teamcenter%20Overview%20-%20Teamcenter%20Brochure%20-%204680%26doctype=.pdf
- [2] Computer-aided technologies. 2015. *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation [cit. 2015-05-11]. Dostupné z: http://en.wikipedia.org/wiki/Computer-aided_technologies
- [3] Siemens slaví úspěchy s řešením NX v Daimler AG. 2011. *Konstruktér* [online]. (1) [cit. 2015-05-11]. Dostupné z: <http://www.caxmix.cz/2011/05/06/siemens-slavi-uspechy-s-resenim-nx-v-daimler-ag/>
- [4] *Konstruktér: CAD, CAM, PLM, obrábění, 3D tisk, výroba, automatizace.* Praha: Springwinter., 2013, č. 4, s. 28. ISSN 1805-8590
- [5] Kdy nastává čas pro CAM a jak vybrat správný. 2015. *T-support* [online]. [cit. 2015-05-11]. Dostupné z: <http://www.t-support.cz/?rubrika=1121>
- [6] SIEMENS PRODUCT LIFECYCLE MANAGEMENT SOFTWARE INC. 2012. *Machining Knowledge Editor Training 9.0.* Plano.
- [7] Vrtáky s vyměnitelnými břitovými destičkami. 2015. *PRAMET* [online]. [cit. 2015-05-11]. Dostupné z: <http://www.pramet.cz/cz/produkty/vrtani/vrtaky-s-vymenitelnymi-britovymi-destickami.html>
- [8] interní materiály společnosti Siemens Product Lifecycle Management Software Inc.

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1: Myšlenka systémového inženýrství [8]	12
Obr. 2: Procentuální zastoupení výrobců softwaru pro strojní podniky na trhu (celosvětově) [8]	13
Obr. 3: Etapy práce.....	14
Obr. 4: Jednotlivé moduly softwaru NX CAM, mezi které patří addon FBM.....	15
Obr. 5: Část podpůrných modulů softwaru NX, mezi které patří Machining knowledge editor společně s Post Builderem.....	16
Obr. 6: Prostředí Machining Knowledge editoru	17
Obr. 7: Možné přístupy obrábění [6].....	18
Obr. 8: Šest základních komponent, které hrubě definují obráběcí pravidlo[6]	19
Obr. 9: Postupná metodika tvorby prvku od LWF k MWF [6].....	20
Obr. 10: Nejdůležitější záložka v prostředí Machining knowledge editoru, v této záložce probíhá tvorba samotných podmínek užití pravidla (conditions) [6].....	20
Obr. 11: Informační okno.....	20
Obr. 12: Výroba díry většího průměru z pohledu MKE, výběr pravidel dle LWF a MWF [6].....	22
Obr. 13: Výroba závitové díry z pohledu MKE, výběr pravidel dle LWF a MWF [6]	22
Obr. 14: Postupné zkoušení pravidel [6].....	23
Obr. 15: Operace produkující STEPHOLE seřazeny dle priority [6]	23
Obr. 16: Operace produkující STEPHOLE seřazeny dle priority [6]	24
Obr. 17: Obr. 18: Postupné zkoušení pravidel [6].....	24
Obr. 19: Postupné zkoušení pravidel [6].....	25
Obr. 20: Postupné zkoušení pravidel [6].....	25
Obr. 21: informační okno s rozhodovacím řetězcem [6]	26
Obr. 22: Definovaná kapsa pomocí PMI kót.....	27
Obr. 23 Kóty určují hlavní rozměry kapsy.....	28
Obr. 24: Kóty je nutné vázat k plochám samotného prvku	29
Obr. 25: Textové atributy se přidávají jako přidaný text	29
Obr. 26: Veškerý text, se kterým je třeba následně pracovat v MKE, je nutné přidat jako Appended Text	30
Obr. 27: Připravené plochy k definování souřadného systému.....	31
Obr. 28 Okno umožňující přidání nových prvků v prostředí NX	32
Obr. 29: Vybrané plochy učeného prvku	33
Obr. 30: Testování nově naučené geometrie	33
Obr. 31: V červeném ohraničení jsou uživatelské atributy nalezených prvků.....	34
Obr. 32: Zobrazení atributů v prostředí MKE.....	34
Obr. 33: Operace připravené k naučení.....	35
Obr. 34: Informační hláška.....	36
Obr. 35: Mapující pravidlo vytvářející prvek SIMPLE_HOLE.....	37
Obr. 36: Základní aplikační podmínka pro testování barvy.....	38
Obr. 37: Barevné odlišení prvků	39
Obr. 38: Plastová krabička	41
Obr. 39: Forma na výrobu plastových krabiček	41
Obr. 40: Pohled na patra formy pro výrobu plastových krabiček	42
Obr. 41: Opětovně namodelovaná část formy připravená pro testování FBM	44
Obr. 42: Testování vytvořené technologie v prostředí simulátoru NX CAM.....	47
Obr. 43: Izolované prvky formy připravené k naučení	48

Obr. 44: Modré atributy v prostředí MKE naučené pomocí PMI kót	48
Obr. 45: Průlomová část kódu, která umožňuje totální automatizaci	49
Obr. 46: Definované geometrie v prostředí NX	49
Obr. 47: Typický představitel soustružnického nože s připravenou geometrií včetně PMI kót pro tvorbu automatické technologie	51
Obr. 48 Naučené geometrie soustružnických nožů včetně atributů v prostředí MKE.....	52
Obr. 49: Naučené operace pro obrobení geometrií lůžek v prostředí MKE	53
Obr. 50: Řada vrtáků společnosti Pramet Tools s.r.o., pro které byla vytvářena automatická parametrická technologie [7].....	54
Obr. 51: Detail vnitřního lůžka v prostředí NX	55
Obr. 52: Upravená geometrie včetně přidání ploch.....	56
Obr. 53: Různé velikosti vnitřních lůžek	57
Obr. 54: Připravený model vrtáku pro naučení prvků.....	57
Obr. 55: Rozpoznané vnější lůžko systémem FBM.....	58
Obr. 56. Rozpoznané vnitřní lůžko systémem FBM.....	58
Obr. 57: Rozpoznané čelo nástroje systémem FBM	59
Obr. 58: Naučené geometrie vrtáků v prostředí MKE	59
Obr. 59: Operace pro jednotlivé typy lůžek v prostředí MKE	60
Obr. 59: Graf nákladového bodu zvratu, který znázorňuje výhodnost automatiky	63

PŘÍLOHA č. 1

**Aplikační podmínky operací použitých pro tvorbu vnějšího lůžka
vrtáku s vyměnitelnou břitovou destičkou**

Operace vrtání rohu

Varianta 1:

REM Application Criteria

is_defined(mwf.MACHINING_RULE)

mwf.MACHINING_RULE = "VE_S2_ZAFR_ZEZADU_VNE"

mwf.DIA_ROH < 4

REM Tool Attributes

tool.'(D) Diameter' = mwf.DIA_ROH - 0.1

REM Less Worked Feature Attributes

lwf.MACHINING_RULE = "VE_S2_VRTAT_ROH_VNE"

lwf.SUBTYPE = 0

REM Cut Area -> Machining Area

oper.Geometry_Roles = mwf.DIRA_ROH

Varianta 2:

REM Application Criteria

is_defined(mwf.MACHINING_RULE)

mwf.MACHINING_RULE = "VE_S2_ZAFR_ZEZADU_VNE"

mwf.DIA_ROH >= 4

REM Tool Attributes

tool.'(D) Diameter' = mwf.DIA_ROH

REM Less Worked Feature Attributes

lwf.MACHINING_RULE = "VE_S2_VRTAT_ROH_VNE"

lwf.SUBTYPE = 0

REM Cut Area -> Machining Area

oper.Geometry_Roles = mwf.DIRA_ROH

Operace zafrézování díry pro upínací šroubek

Varianta 1:

REM Application Criteria

is_defined(mwf.MACHINING_RULE)

mwf.MACHINING_RULE = "VE_S2_HRU_SEDLO_1_VNE"

mwf.DIA_STRED < 2.4

REM Tool Attributes

tool.'(D) Diameter' = 2.0

tool.Libref = "FRVAL_D2.0x6"

REM Less Worked Feature Attributes

lwf.MACHINING_RULE = "VE_S2_ZAFR_ZEZADU_VNE"

lwf.SUBTYPE = 0

REM Cut Area -> Machining Area
oper.Geometry_Roles = mwf.DIRA_STRED

Varianta 2:

REM Application Criteria
is_defined(mwf.MACHINING_RULE)
mwf.MACHINING_RULE = "VE_S2_HRU_SEDLO_1_VNE"
mwf.DIA_STRED > 2.4

REM Tool Attributes
tool.'(D) Diameter' = 3
tool.Libref = "FRVAL_D3.0x7"

REM Less Worked Feature Attributes
lwf.MACHINING_RULE = "VE_S2_ZAFR_ZEZADU_VNE"
lwf.SUBTYPE = 0

REM Cut Area -> Machining Area
oper.Geometry_Roles = mwf.DIRA_STRED

Operace hrubování sedla typ 1

Varianta 1:

REM Application Criteria
is_defined(mwf.MACHINING_RULE)
mwf.MACHINING_RULE = "VE_S2_ZAHRADKA_VNE"
mwf.DELKA_DOSED_1 < 3.8

REM Tool Attributes
tool.'(D) Diameter' = 3.5

REM Less Worked Feature Attributes
lwf.MACHINING_RULE = "VE_S2_HRU_SEDLO_1_VNE"
lwf.SUBTYPE = 0

Varianta 2:

REM Application Criteria
is_defined(mwf.MACHINING_RULE)
mwf.MACHINING_RULE = "VE_S2_HRU_SEDLO_2_VNE"
mwf.DELKA_DOSED_1 > 3.8
mwf.DELKA_DOSED_1 < 5.5

REM Tool Attributes
tool.'(D) Diameter' = 5

REM Less Worked Feature Attributes

```
lwf.MACHINING_RULE = "VE_S2_HRU_SEDLO_1_VNE"  
lwf.SUBTYPE = 0
```

Varianta 3:

```
REM Application Criteria  
is_defined(mwf.MACHINING_RULE)  
mwf.MACHINING_RULE = "VE_S2_HRU_SEDLO_2_VNE"  
mwf.DELKA_DOSED_1 > 5.5  
mwf.DELKA_DOSED_1 < 6.15
```

```
REM Tool Attributes  
tool.'(D) Diameter' = 6
```

```
REM Less Worked Feature Attributes  
lwf.MACHINING_RULE = "VE_S2_HRU_SEDLO_1_VNE"  
lwf.SUBTYPE = 0
```

Varianta 4:

```
REM Application Criteria  
is_defined(mwf.MACHINING_RULE)  
mwf.MACHINING_RULE = "VE_S2_HRU_SEDLO_2_VNE"  
mwf.DELKA_DOSED_1 > 6.15
```

```
REM Tool Attributes  
tool.'(D) Diameter' = 8
```

```
REM Less Worked Feature Attributes  
lwf.MACHINING_RULE = "VE_S2_HRU_SEDLO_1_VNE"  
lwf.SUBTYPE = 0
```

Operace hrubování sedla typ 2

Varianta 1:

```
REM Application Criteria  
is_defined(mwf.MACHINING_RULE)  
mwf.MACHINING_RULE = "VE_S2_ZAHRADKA_VNE"  
mwf.DELKA_DOSED_1 < 6.15
```

```
REM Tool Attributes  
tool.'(D) Diameter' = 3.5
```

```
REM Less Worked Feature Attributes  
lwf.MACHINING_RULE = "VE_S2_HRU_SEDLO_2_VNE"  
lwf.SUBTYPE = 0
```

Varianta 2:

```
REM Application Criteria  
is_defined(mwf.MACHINING_RULE)
```

```
mwf.MACHINING_RULE = "VE_S2_ZAHRADKA_VNE"  
mwf.DELKA_DOSED_1 > 6.15
```

```
REM Tool Attributes  
tool.'(D) Diameter' = 5
```

```
REM Less Worked Feature Attributes  
lwf.MACHINING_RULE = "VE_S2_HRU_SEDLO_2_VNE"  
lwf.SUBTYPE = 0
```

Operace zahrádka (odsazení dosedacích ploch VBD)

Varianta 1:

```
REM Application Criteria  
is_defined(mwf.MACHINING_RULE)  
mwf.MACHINING_RULE = "VE_S2_VRT_STRED_VNE"  
mwf.DIA_ROH < 4
```

```
REM Tool Attributes  
tool.libref = "FRVAL_D3.5x7"
```

```
REM Less Worked Feature Attributes  
lwf.MACHINING_RULE = "VE_S2_ZAHRADKA_VNE"  
lwf.SUBTYPE = 0
```

Varianta 2:

```
REM Application Criteria  
is_defined(mwf.MACHINING_RULE)  
mwf.MACHINING_RULE = "VE_S2_VRT_STRED_VNE"  
mwf.DIA_ROH >= 4
```

```
REM Tool Attributes  
tool.'(D) Diameter' = 5
```

```
REM Less Worked Feature Attributes  
lwf.MACHINING_RULE = "VE_S2_ZAHRADKA_VNE"  
lwf.SUBTYPE = 0
```

Operace vrtání díry pro upínací šroubek

Varianta 1:

```
REM Application Criteria  
is_defined(mwf.MACHINING_RULE)  
mwf.MACHINING_RULE = "VE_S2_SRHR_STRED_HOLE_MAK_VNE"  
mwf.DELKA_DOSED_1 < 5
```


REM Tool Attributes
tool.libref = "VRT_D1.8x11_SK"

REM Less Worked Feature Attributes
lwf.MACHINING_RULE = "VE_S2_VRT_STRED_VNE"
lwf.SUBTYPE = 0

REM Cut Area -> Machining Area
oper.Geometry_Roles = mwf.DIRA_STRED

Varianta 2:

REM Application Criteria
is_defined(mwf.MACHINING_RULE)
mwf.MACHINING_RULE = "VE_S2_SRHR_STRED_HOLE_MAK_VNE"
mwf.DELKA_DOSED_1 > 5

REM Tool Attributes
tool.'(D) Diameter' = 2.5

REM Less Worked Feature Attributes
lwf.MACHINING_RULE = "VE_S2_VRT_STRED_VNE"
lwf.SUBTYPE = 0

REM Cut Area -> Machining Area
oper.Geometry_Roles = mwf.DIRA_STRED

Operace sražení hrany upínací díry

Varianta 1:

REM Application Criteria
is_defined(mwf.MACHINING_RULE)
mwf.MACHINING_RULE = "VE_S2_SEDL_NAC_VNE"
mwf.DELKA_DOSED_1 < 5

REM Tool Attributes
tool.libref = "NAVRT_D4x90_SK"

REM Less Worked Feature Attributes
lwf.MACHINING_RULE = "VE_S2_SRHR_STRED_HOLE_MAK_VNE"
lwf.SUBTYPE = 0

REM Cut Area -> Machining Area
oper.Geometry_Roles = mwf.DIRA_STRED_SRAZ

Varianta 2:

REM Application Criteria
is_defined(mwf.MACHINING_RULE)

```
mwf.MACHINING_RULE = "VE_S2_SEDL_NAC_VNE"  
mwf.DELKA_DOSED_1 > 5
```

```
REM Tool Attributes  
tool.libref = "NAVRT_D5x90_SK"
```

```
REM Less Worked Feature Attributes  
lwf.MACHINING_RULE = "VE_S2_SRHR_STRED_HOLE_MAK_VNE"  
lwf.SUBTYPE = 0
```

```
REM Cut Area -> Machining Area  
oper.Geometry_Roles = mwf.DIRA_STRED_SRAZ
```

Operace dočištění sedel

Varianta 1:

```
REM Application Criteria  
is_defined(mwf.MACHINING_RULE)  
mwf.MACHINING_RULE = "VE_S2_FASKA_AXIAL_VNE"  
mwf.DIA_ROH < 4
```

```
REM Tool Attributes  
tool.libref = "FR_D2.5x8_R0.2"
```

```
REM Less Worked Feature Attributes  
lwf.MACHINING_RULE = "VE_S2_SEDL_NAC_VNE"  
lwf.SUBTYPE = 0
```

Varianta 2:

```
REM Application Criteria  
is_defined(mwf.MACHINING_RULE)  
mwf.MACHINING_RULE = "VE_S2_FASKA_AXIAL_VNE"  
mwf.DIA_ROH >=4
```

```
REM Tool Attributes  
tool.'(D) Diameter' = 5  
tool.'(R) Corner Radius' = 0.3
```

```
REM Less Worked Feature Attributes  
lwf.MACHINING_RULE = "VE_S2_SEDL_NAC_VNE"  
lwf.SUBTYPE = 0
```

Operace dočištění axiálních dosedacích ploch VBD

Varianta 1:

```
REM Application Criteria  
is_defined(mwf.MACHINING_RULE)
```

```
mwf.MACHINING_RULE = "VE_S2_FASKA_RADIAL_VNE"  
mwf.DELKA_DOSED_1 < 5
```

```
REM Tool Attributes  
tool.libref = "FRVAL_D3.0x7"
```

```
REM Less Worked Feature Attributes  
lwf.MACHINING_RULE = "VE_S2_FASKA_AXIAL_VNE"  
lwf.SUBTYPE = 0
```

Varianta 2:

```
REM Application Criteria  
mwf.MACHINING_RULE = "VE_S2_FASKA_RADIAL_VNE"  
mwf.DELKA_DOSED_1 > 5  
mwf.DELKA_DOSED_1 < 6.3
```

```
REM Tool Attributes  
tool.'(D) Diameter' = 4
```

```
REM Less Worked Feature Attributes  
lwf.MACHINING_RULE = "VE_S2_FASKA_AXIAL_VNE"  
lwf.SUBTYPE = 0
```

Varianta 3:

```
REM Application Criteria  
is_defined(mwf.MACHINING_RULE)  
mwf.MACHINING_RULE = "VE_S2_FASKA_RADIAL_VNE"  
mwf.DELKA_DOSED_1 > 6.3
```

```
REM Tool Attributes  
tool.'(D) Diameter' = 5
```

```
REM Less Worked Feature Attributes  
lwf.MACHINING_RULE = "VE_S2_FASKA_AXIAL_VNE"  
lwf.SUBTYPE = 0
```

Operace dočištění radiálních dosedacích ploch VBD

Varianta 1:

```
REM Application Criteria  
is_defined(mwf.MACHINING_RULE)  
mwf.MACHINING_RULE = "VE_S2_ZAVIT_VNE"  
mwf.DELKA_DOSED_1 < 5
```

```
REM Tool Attributes  
tool.libref = "FRVAL_D3.0x7"
```

```
REM Less Worked Feature Attributes
```

```
lwf.MACHINING_RULE = "VE_S2_FASKA_RADIAL_VNE"  
lwf.SUBTYPE = 0
```

Varianta 2:

```
REM Application Criteria  
is_defined(mwf.MACHINING_RULE)  
mwf.MACHINING_RULE = "VE_S2_ZAVIT_VNE"  
mwf.DELKA_DOSED_1 > 5  
mwf.DELKA_DOSED_1 <6.3
```

```
REM Tool Attributes  
tool.'(D) Diameter' = 4
```

```
REM Less Worked Feature Attributes  
lwf.MACHINING_RULE = "VE_S2_FASKA_RADIAL_VNE"  
lwf.SUBTYPE = 0
```

Varianta 3:

```
REM Application Criteria  
is_defined(mwf.MACHINING_RULE)  
mwf.MACHINING_RULE = "VE_S2_ZAVIT_VNE"  
mwf.DELKA_DOSED_1 >6.3
```

```
REM Tool Attributes  
tool.'(D) Diameter' = 5
```

```
REM Less Worked Feature Attributes  
lwf.MACHINING_RULE = "VE_S2_FASKA_RADIAL_VNE"  
lwf.SUBTYPE = 0
```

Operace závitování

Varianta 1:

```
REM Application Criteria  
NOT is_defined(mwf.MACHINING_RULE)  
mwf.SUBTYPE = 0  
mwf.DELKA_DOSED_1 < 5
```

```
REM Tool Attributes  
tool.libref = "ZAV_M2.2xS"
```

```
REM Less Worked Feature Attributes  
lwf.MACHINING_RULE = "VE_S2_ZAVIT_VNE"  
lwf.SUBTYPE = 0
```

```
REM Cut Area -> Machining Area  
oper.Geometry_Roles = mwf.DIRA_STRED
```

Varianta 2:

REM Application Criteria

NOT is_defined(mwf.MACHINING_RULE)

mwf.SUBTYPE = 0

mwf.DELKA_DOSED_1 > 5

REM Tool Attributes

tool.libref = "ZAV_M3.0xS"

REM Less Worked Feature Attributes

lwf.MACHINING_RULE = "VE_S2_ZAVIT_VNE"

lwf.SUBTYPE = 0

REM Cut Area -> Machining Area

oper.Geometry_Roles = mwf.DIRA_STRED