

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA STROJNÍ

Studijní program: N2301 Strojní inženýrství
Studijní zaměření: 2303T004 Strojírenská technologie - technologie
obrábění

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Tvorba zobecněné technologie pro výrobu grafitových elektrod

Autor: **Bc. Radek Veselý**
Vedoucí práce: **Ing. Jan Hnátík, Ph.D.**

Akademický rok 2017/2018

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
Fakulta strojní
Akademický rok: 2017/2018

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Radek VESELÝ**
Osobní číslo: **S15N0078K**
Studijní program: **N2301 Strojní inženýrství**
Studijní obor: **Strojírenská technologie - technologie obrábění**
Název tématu: **Tvorba zobecněné technologie pro výrobu grafitových elektrod**
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. Úvod
2. Definice cílů
3. Rozbor současného stavu
4. Návrh variantního řešení
5. Výběr vhodného řešení
6. Zpracování vybraného řešení
7. Hodnocení přínosů
8. Závěr

Rozsah grafických prací: **dle potřeby**
Rozsah kvalifikační práce: **50 - 70 stran**
Forma zpracování diplomové práce: **tištěná**

Seznam odborné literatury:

- **BARTOŠ, V. - KRAL, M. MINÁRIK, R., - ŠTULPA, M.:** Základy CNC obráběcích strojů. Fragment Havlíčkův Brod 1998
- **SVOBODA, E.:** Technologie programování CNC strojů. Fragment Havlíčkův Brod 1998
- **OPLATEK, F.:** Číslíkové řízení obráběcích strojů. Fragment Havlíčkův Brod 1998
- **DOBŘICKÝ, J. LACKO, B.:** CAD/CAM. VUT Brno 1992
- **POLZER, Aleš.** Akademie CNC obrábění. Technický týdeník [online]. 2012 [cit. 2012-10-03]. Dostupné z: <http://www.technickytydenik.cz/rubriky/serial/akademie-cnc-obrabeni/>

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Jan Hnátík, Ph.D.**
Katedra technologie obrábění
Konzultant diplomové práce: **Ing. Aneta Milsimerová**
Katedra technologie obrábění

Datum zadání diplomové práce: **16. října 2017**
Termín odevzdání diplomové práce: **21. května 2018**



Doc. Ing. Milan Edl, Ph.D.
děkan



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

V Plzni dne 18. října 2017

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

Poděkování

Chtěl bych poděkovat panu Ing. Jan Hnátík, Ph.D. za odborné vedení práce a cenné rady, které mi pomohly tuto práci zkompletovat.

ANOTAČNÍ LIST

AUTOR	Příjmení Veselý	Jméno Radek	
STUDIJNÍ OBOR	2303T004 „Strojírenská technologie - technologie obrábění“		
VEDOUCÍ PRÁCE	Příjmení (včetně titulů) Ing. Hnátík, Ph.D.	Jméno Jan	
PRACOVISTĚ	ZČU - FST - KTO		
DRUH PRÁCE	DIPLOMOVÁ	BAKALÁŘSKÁ	Nehodící se škrtněte
NÁZEV PRÁCE	Tvorba zobecněné technologie pro výrobu grafitových elektrod		

FAKULTA	strojní	KATEDRA	KTO	ROK ODEVZD.	2018
----------------	---------	----------------	-----	--------------------	------

POČET STRAN (A4 a ekvivalentů A4)

CELKEM	62	TEXTOVÁ ČÁST	52	GRAFICKÁ ČÁST	10
---------------	----	---------------------	----	----------------------	----

<p>STRUČNÝ POPIS (MAX 10 ŘÁDEK)</p> <p>ZAMĚŘENÍ, TÉMA, CÍL POZNATKY A PŘÍNOSY</p>	<p>V diplomové práci je navrženo řešení pro automatizaci tvorby technologie obrábění grafitových elektrod. První část pojednává o současném stavu tvorby technologie obrábění. Následně se popisuje navržené optimalizační řešení, které je aplikováno na vybrané elektrody. Celá práce je zpracována pomocí CAD/CAM softwaru CATIA V5.</p>
<p>KLÍČOVÁ SLOVA</p> <p>ZPRAVIDLA JEDNOSLOVNÉ POJMY, KTERÉ VYSTIHUJÍ PODSTATU PRÁCE</p>	<p>Elektroerozivní obrábění, CAD/CAM, automatizace technologie obrábění, grafitová elektroda, CATIA V5</p>

SUMMARY OF DIPLOMA SHEET

AUTHOR	Surname Veselý	Name Radek	
FIELD OF STUDY	2303T004/ Manufacturing Processes – Technology of Metal Cutting		
SUPERVISOR	Surname (Inclusive of Degrees) Doc Ing. Hnátík, Ph.D.	Name Jan	
INSTITUTION	ZČU - FST - KTO		
TYPE OF WORK	DIPLOMA	BACHELOR	Delete when not applicable
TITLE OF THE WORK	Creation of generalized technology for graphite electrode production		

FACULTY	Mechanical Engineering	DEPARTMENT	KTO	SUBMITTED IN	2018
----------------	------------------------	-------------------	-----	---------------------	------

NUMBER OF PAGES (A4 and eq. A4)

TOTALLY	63	TEXT PART	52	GRAPHICAL PART	11
----------------	----	------------------	----	-----------------------	----

BRIEF DESCRIPTION TOPIC, GOAL, RESULTS AND CONTRIBUTIONS	The thesis deals with the automation of graphite electrode machining technology. The first part deals with the current state of machining technology creation. The proposed optimization solution is then described, which is applied to selected electrodes. All the work is done using CAD / CAM software CATIA V5.
KEY WORDS	Electric Discharge Machining, CAD/CAM, automation of machining technology, graphite electrode, CATIA V5

Obsah

1	Úvod.....	10
1.1	Elektroerozivní obrábění (EDM).....	11
1.2	Materiály pro elektrody pro elektroerozivní hloubení.....	11
1.3	Firma Peptoo.....	11
1.4	Frézování grafitových elektrod.....	11
2	Definice cílů	12
3	Rozbor současného stavu	16
3.1	Postup výroby elektrody	16
3.1.1	Návrh tvaru elektrody.....	16
3.1.2	Tvorba technologie obrábění.....	17
3.1.3	Výroba.....	18
3.1.4	Metrologická kontrola	18
3.2	Současný stav tvorby technologie obrábění	19
3.2.1	Tvorba technologie obrábění pro další elektrodu obdobného tvaru.....	27
3.2.2	Další činnosti při tvorbě programu.....	27
4	Návrh variantního řešení	28
4.1	Variantní řešení.....	28
4.1.1	Programování pomocí vytvořených šablon obrábění.....	28
4.1.2	Popis řešení	28
4.1.3	Programování pomocí funkcí zbytkového obrábění	30
4.1.4	Popis řešení	30
4.2	Obecná doporučení pro usnadnění práce při tvorbě technologie	31
4.2.1	Katalog nástrojů	31
4.2.2	Výběr obráběné geometrie „Design on PO level“	34
5	Výběr vhodného řešení.....	35
6	Zpracování vybraného řešení	37
6.1	Popis tvorby šablony technologie obrábění.....	37
6.2	Obecná aplikace šablony technologie obrábění pro grafitové elektrody.....	45
6.3	Aplikace šablon technologie obrábění pro vybrané elektrody	47
6.3.1	Elektroda č.1.....	47
6.3.2	Elektroda č.2.....	49
6.3.3	Elektroda č.3.....	51
6.3.4	Elektroda č.4.....	53
7	Hodnocení přínosů	55

7.1 Srovnání času programování	55
8 Závěr.....	59
Seznam použitých zdrojů	60
Seznam obrázků	60
Seznam tabulek	63

Seznam použitých zkratk a jednotek

CAD/CAM	computer-aided design and computer-aided manufacturing
NC	Numerical control
DNC	Direct numerical control
VBA	Visual Basic for Applications

1 Úvod

Jednou z neodmyslitelných technologií, která se používá k výrobě forem pro vstřikování plastů, je elektroerozivní obrábění. U této technologie obrábění, přesněji elektroerozivního hloubení, se potýkáme právě s oněmi grafitovými elektrodami, o kterých pojednává celá práce. Text se nezaobírá elektrodami jako takovými, ale jejich výrobou, respektive automatizací při tvorbě technologie pro jejich výrobu. Tvorba technologie se provádí pomocí CAD/CAM softwaru. CAD/CAM softwary již řadu let zaujímají svoji důležitou roli ve všech odvětvích strojírenství. Tato práce se zabývá pouze CAM softwarem nebo-li Computer Aided Manufacturing, což v překladu znamená Počítačová podpora obrábění. Tento software pomáhá programátorovi navrhnout dráhy pro obrábění. Ve většině případů je využit pro obrábění tvarových ploch, které by nebylo možné bez pomoci tohoto softwaru ani vytvořit. Práce je zpracovávána ve společnosti Pehtoo, což řešení omezuje na určitá specifika, kterým je především použitý CAD/CAM software.

Název práce, který zní Tvorba zobecněné technologie pro výrobu grafitových elektrod, již napovídá, že se bude jednat o jistý druh automatizace z pohledu tvorby technologie pro obrábění, respektive programu pro obrábění na stroji. Práce má za cíl zautomatizovat tento přípravný proces a osvobodit tak pracovníka od jistých rutinních úkonů. Najít tedy takové řešení, které bude jednoduché na vytvoření a zároveň účinné. Za účinné řešení se dá považovat takové řešení, které pokryje co největší spektrum výrobků z aktuálního zaměření produkce.

Před samotnou problematikou tvorby technologie obrábění, je v textu představena problematika elektroerozivního obrábění. Tedy proč se výrobek, jakým je grafitová elektroda vůbec vyrábí a k čemu je použit. Dále je v úvodu práce zanesen celý proces výroby grafitové elektrody, počínaje jejím návrhem až po samotnou výrobu.

Další pasáže práce jsou zaměřeny pouze na samotnou automatizaci tvorby technologie obrábění. Pro finální řešení je důležitý rozbor současného stavu, který je představen v první části práce. Druhou část práce zaujímá popis navrženého řešení, které by mělo pokrýt stanovené požadavky. Těmi jsou zjednodušená tvorba technologie obrábění pro vybrané typy tvarů grafitových elektrod.

1.1 Elektroerozivní obrábění (EDM)

Elektroerozivní obrábění je jednou z nekonvenčních metod obrábění. Nejčastější využití této technologie nalézá při výrobě forem, při hloubení hlubokých tvarů. Další využití technologie nalézá například u problematicky obrobitelných materiálů. Principem elektroerozivního obrábění je, jak již z názvu zní, úběr materiálu pomocí elektrických výbojů. Při obrábění je využito dvou vodivých materiálů, tedy nástroje a obrobku. Nástroj tvoří katodu a obráběná součást anodu. Obě části jsou ponořeny v nevodivém prostředí, v dielektriku. To má za cíl zabránit nechtěnému přeskočení jiskry a k odplavování odebraných částic. Elektroerozivní obrábění je založeno na přeskočení jiskry mezi nástrojem a obrobkem na krátké vzdálenosti. V místě přeskočení jiskry vznikne vysoká tepelná energie, což má za následek roztavení kovu a vznik mikro-kráteru v tomto místě. Pro účinné obrábění touto metodou během procesu přeskakuje mezi katodou a anodou několik set tisíc jisker za sekundu.

1.2 Materiály pro elektroerozivní hloubení

Stejně tak jako materiál obrobku, musí být též materiál nástroje, tedy elektrody, z vodivého materiálu. Nejčastěji používanými materiály pro nástroj při elektroerozivním hloubení je měď a grafit. Právě grafit je v současné době pro svoje vlastnosti nejčastěji používaným materiálem pro výrobu elektrod pro elektroerozivní hloubení. Oproti mědi má spoustu výhod, kterými může být například velice dobrá obrobitelnost, cena a hmotnost. Jeho výhodou je také materiálová stálost, tedy může být skladován prakticky neomezenou dobu a to bez změn jeho vlastností.

1.3 Firma Pehtoo

Společnost Pehtoo se zabývá výrobou technických výlisků z plastů, jejichž uplatnění je zaměřeno zejména na automobilový průmysl. Firma se skládá z lisovny a nástrojárny. Na lisovně se nacházejí vstřikovací lisy různých tonáží pro výrobu již zmíněných plastových dílů. Nástrojárna, která je tedy přímo součástí společnosti se stará o výrobu jak nových forem tak i o servis těch stávajících. Strojový park, jež je obsahem výrobní části zahrnuje stroje nezbytné pro kompletní výrobu vstřikovacího nástroje. Těmi jsou stroje jak pro konvenční i nekonvenční typy obrábění. Používanými konvenčními metodami při výrobě forem jsou frézování, vrtání, soustružení a broušení. Z největší části je využito obrábění pomocí frézování. Mezi využívanými nekonvenčními metodami ve firmě Pehtoo jsou elektroerozivní typy obrábění. Touto metodou disponují stroje pro hloubení tvarů pomocí vyrobených elektrod a drátová řezačka pro řezání pomocí drátu. Závěrečným pracovištěm, kterým každý vstřikovací nástroj projde, ať už se jedná o jeho servis či výrobu nového, je pracoviště montáže.

1.4 Frézování grafitových elektrod

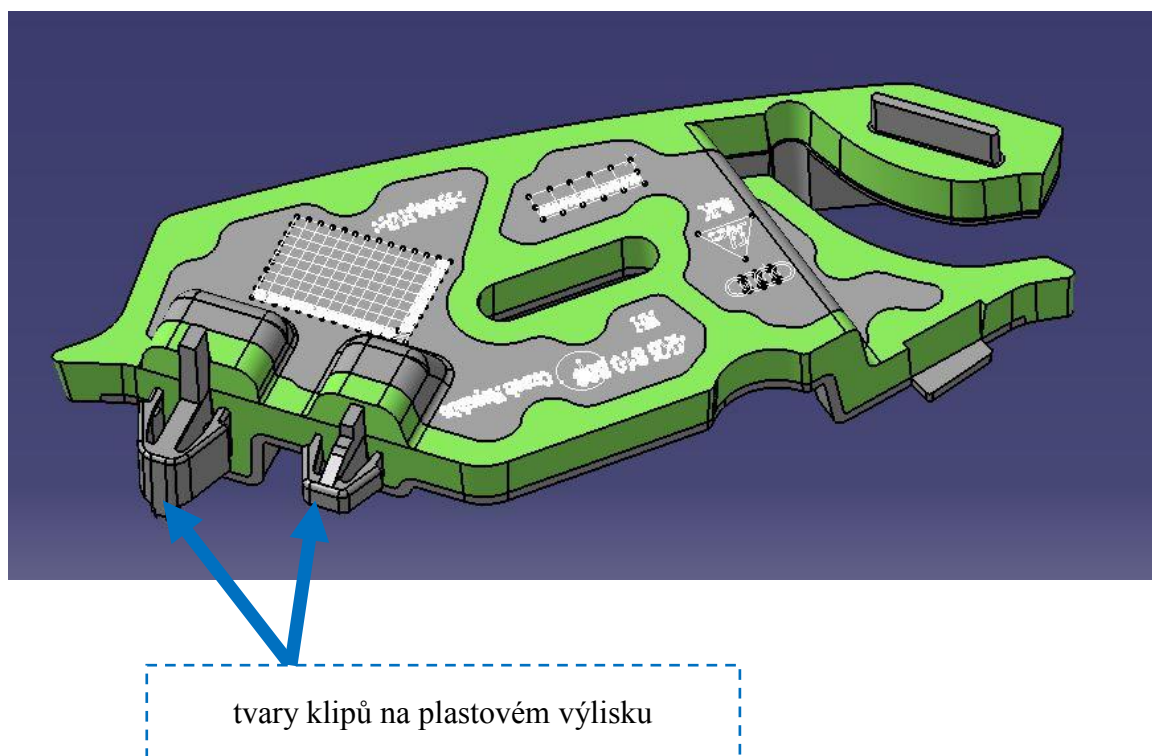
Ve firmě Pehtoo je využito pro výrobu grafitových elektrod stroje Roders RFM 750. Jedná se o 3-osé frézovací centrum vybavené o komponenty, které umožňují obrábění grafitu. Důležitým komponentem je především silný odsávací systém pro odstranění grafitového prachu přímo z pracovního prostoru. V opačném případě by mohl odpad zapříčinit zanesení pohyblivých částí suportů a došlo by k poškození stroje.

Pro obrábění grafitu jsou ve firmě využity speciální frézy pro tuto aplikaci. Kvůli vysokému otěru jsou frézy opatřeny diamantovým povlakem na rezné části nástrojů, čímž je prodloužena jejich životnost. Využívány jsou především dvoubřité dokončovací frézy.

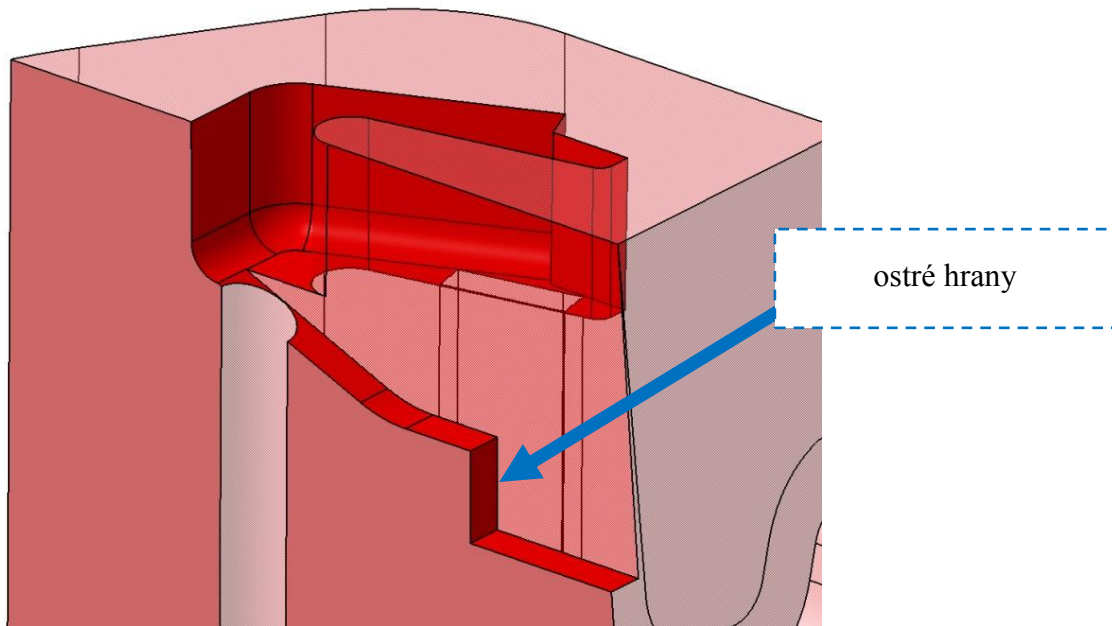
2 Definice cílů

Cílem práce je částečně automatizovat proces výroby grafitových elektrod pro elektroerozivní obrábění. Hlavním řešeným cílem je automatizace v přípravné části výroby. To se týká tvorby technologie obrábění pro samotnou výrobu elektrody. Při tvorbě této technologie se programátor často potýká s rutinními úkony, které se často opakují. Záměrem je tyto opakující se úkony odstranit. V současné době není při programování aplikováno žádné zjednodušení. Programování se provádí pro každou elektrodu znovu od nuly. Cílem je najít řešení, při kterém bude možnost co nejvíce eliminovat tyto rutinní úkony a bude jej možné využít na obrábění co možná nejširšího spektra výrobků. Řešení by mělo výrazně snížit jak čas strávený programováním, tak také snížit riziko chybovosti při tvorbě technologie.

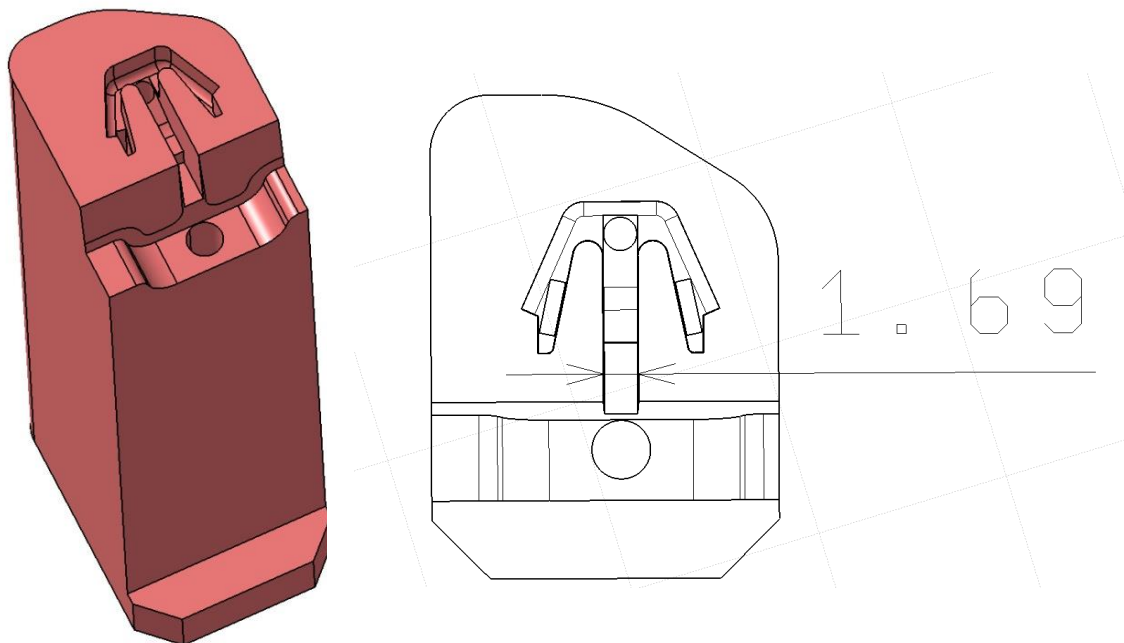
Pro řešení byla vybrána sestava tvarových elektrod, které jsou použity pro hloubení tvaru klipu ve formě pro vstřikování plastového výlisku. Na obrázku níže je vyobrazen příklad plastového výlisku. Tvar klipu je ve většině případů stejného tvaru, to znamená, že má stejné prvky, liší se pouze v rozměrech. Rozměry jednotlivých prvků se obvykle liší v řádech desetín milimetrů. Dalo by se uvažovat i o modelové parametrizaci tvarů, což ale v současné době není možné, protože tvar o rozměrech je zadán zákazníkem. Na následujících obrázcích jsou vyobrazena vložka tvaru formy pro lisování plastového výlisku a sestava elektrod.



Obrázek 1 - Plastový výlisk



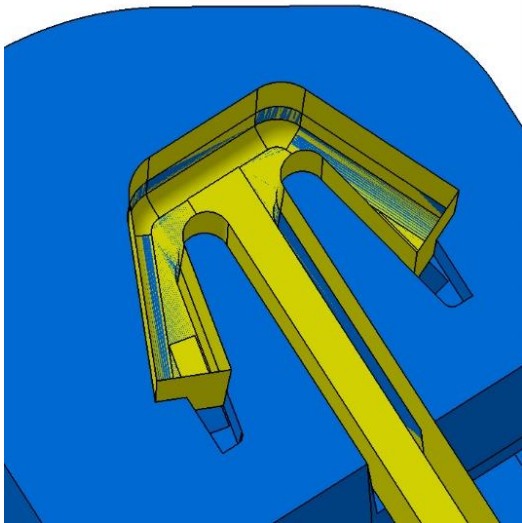
Obrázek 2 - řez tvaru klipu ve formě



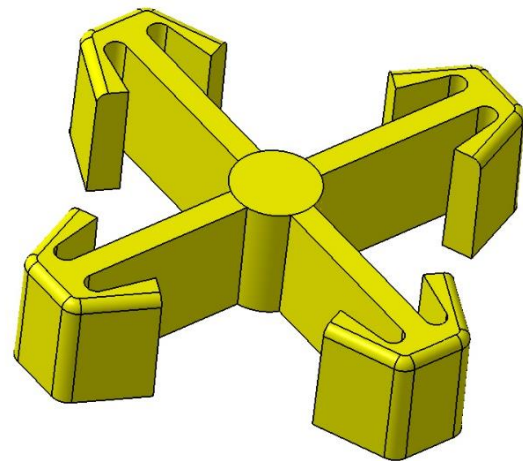
Obrázek 3 - vložka formy pro jiskření tvaru klipu

Jak je již patrné z obrázků, tak vzhledem k velikosti i tvaru nebude možné tento tvar frézovat. Pro zachování ostrých hran, které jsou na výsledném plastovém výlisku požadovány, se bude muset tvar rozdělit do několika tvarů, což nám zajistí splnění tohoto požadavku. Tvar klipu je velmi častým prvkem výlisků, kterými se firma PehToo zabývá. Ve většině případů tento prvek obsahuje stejné tvarované partie pouze jiných rozměrů, proto zde bude automatizace tvorby programu pro výrobu velice výhodná.

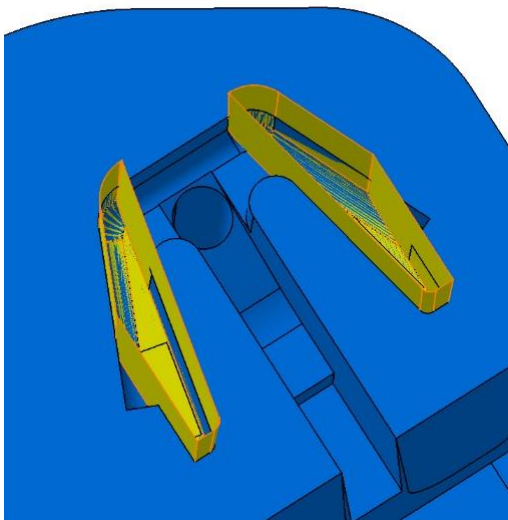
V následující tabulce jsou vyobrazeny navržené modely elektrod pro výrobu požadovaného tvaru. Tvar v modelu je rozdělen do čtyř segmentů, podle nichž se vytvoří čtyři druhy elektrod, které postupným použitím vytvoří požadovaný tvar se všemi potřebnými prvky, což je zejména dodržení ostrých hran. Na levé straně je vyobrazen otisk tvaru plochy elektrody na model cíleného dílu. Na pravé straně pak elektrody bez držáku a podstavce. Pro úsporu materiálu je elektroda díky vhodné dostupnosti při jiskření dílu tvořena jako rotační po 90°. V některých pasážích jsou plochy elektrod vzájemně přes sebe překryty pro usnadnění výroby při jiskření.



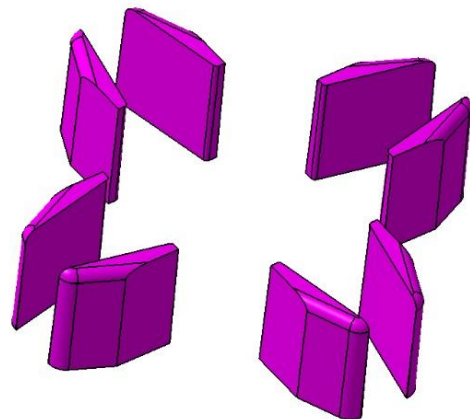
Obrázek 4 - elektroda č.1 - znázornění na tvaru formy



Obrázek 5 - elektroda č.1 - tvar modelu elektrody



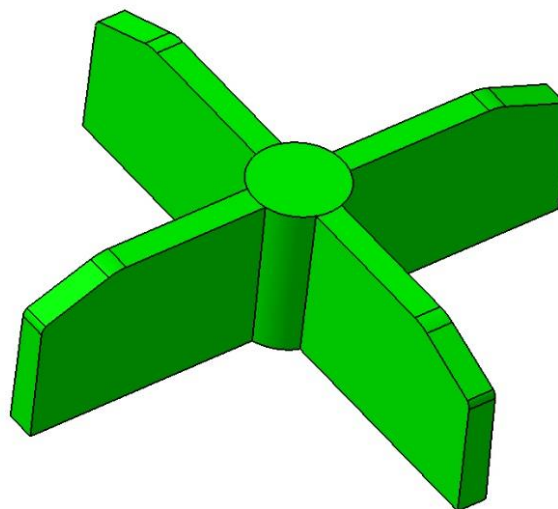
Obrázek 6 - elektroda č.2 - znázornění na tvaru formy



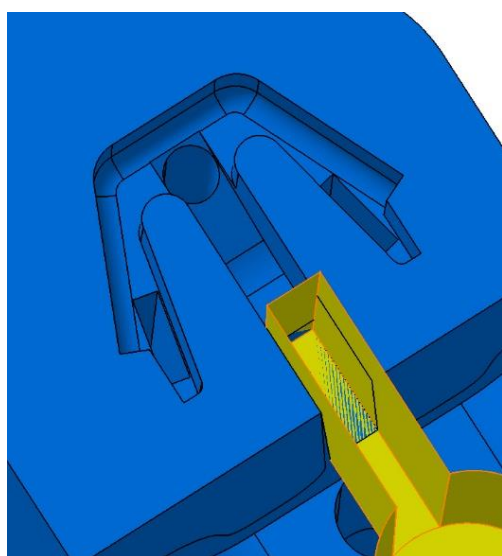
Obrázek 7 - elektroda č.2 - tvar modelu elektrody



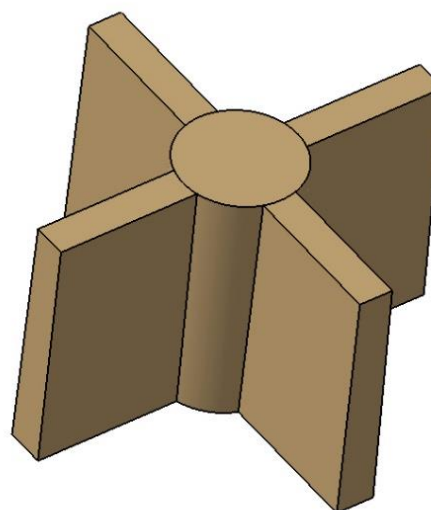
Obrázek 8 - elektroda č.3 - znázornění na tvaru formy



Obrázek 9 - elektroda č.3 - tvar modelu elektrody



Obrázek 10 - elektroda č.4 - znázornění na tvaru formy



Obrázek 11 - elektroda č.4 - tvar modelu elektrody

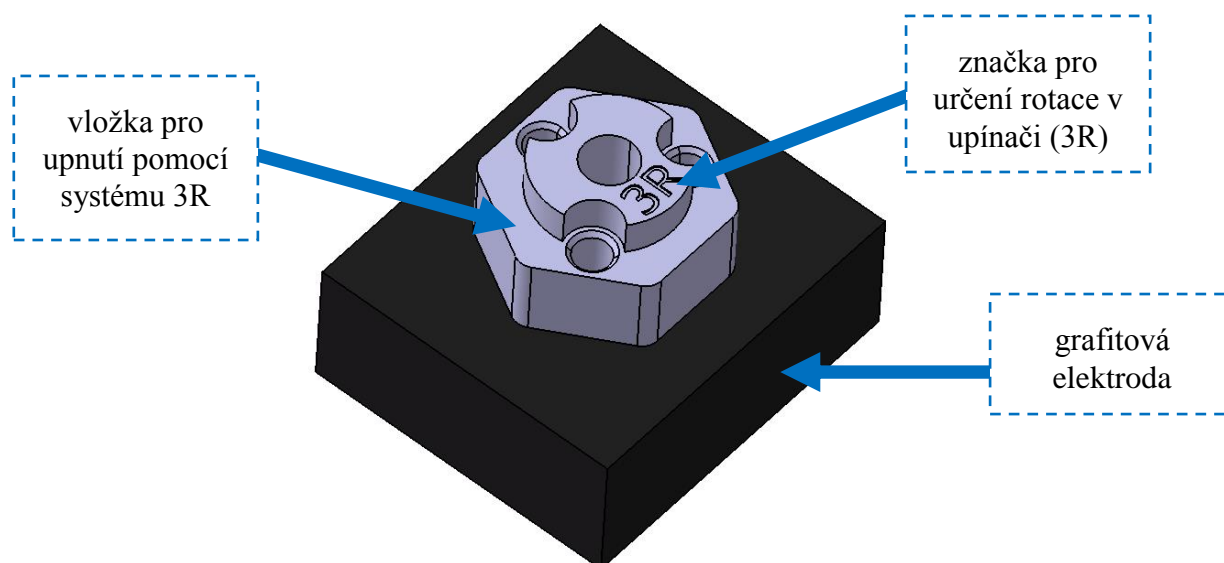
3 Rozbor současného stavu

Práce je zaměřena především na tvorbu programů pro obrábění grafitových elektrod pomocí CAD/CAM systému. Vzhledem k tomu, že je tvorba programu pouze zlomek toho, z čeho se příprava tvarového grafitového nástroje pro elektroerozivní obrábění skládá, budou představeny i další hlavní části pro jejich výrobu. Celý proces je rozdělen do několika etap. První je návrh tvaru elektrody, dále tvorba technologie obrábění. Další etapou je samotná výroba následovaná metrologickou kontrolou.

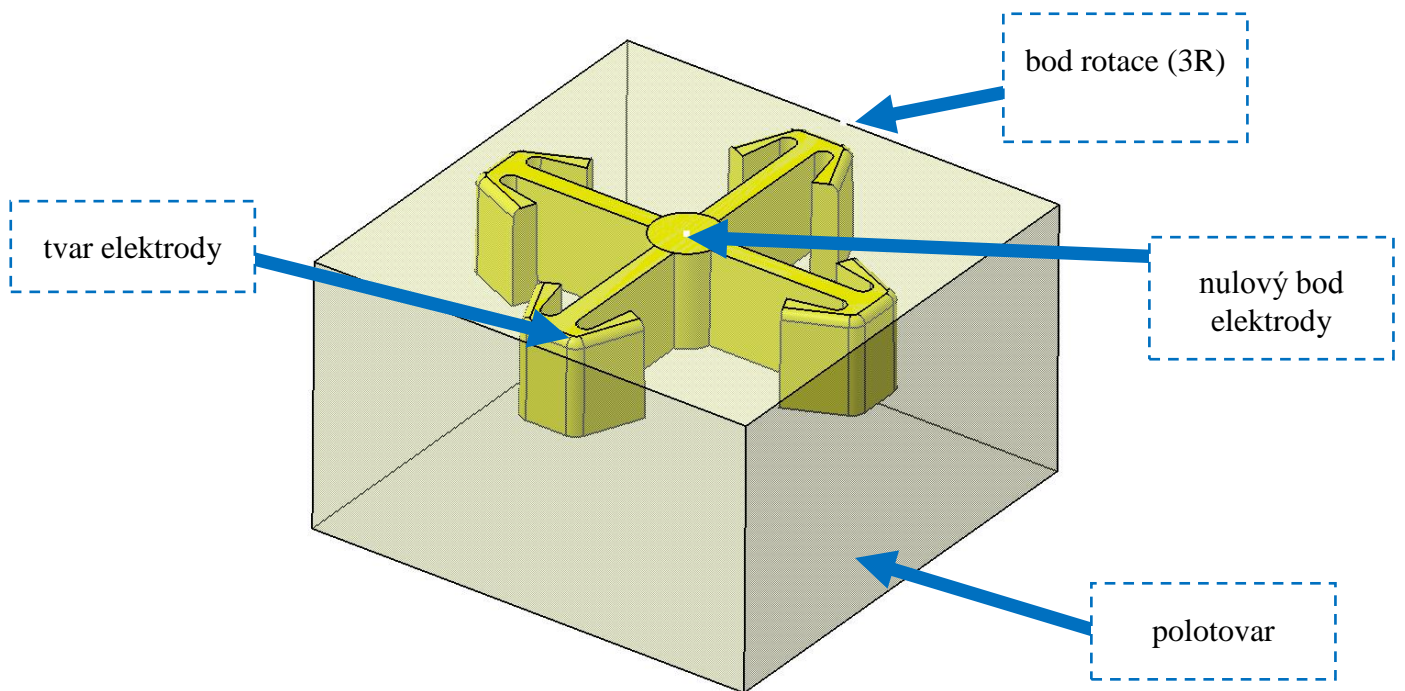
3.1 Postup výroby elektrody

3.1.1 Návrh tvaru elektrody

Výroba elektrody začíná návrhem tvaru elektrody. To je provedeno v CAD/CAM systému CATIA V5. Tvar elektrody vychází z tvaru obráběné (jiskřené) plochy. Je vybrána požadovaná oblast, která se bude jiskřit, a do ní se otisknou, případně dále upraví plochy. To je provedeno v modulu plošného modelování „Generate Shape Design“. Dalším krokem při modelování je volba polotovaru. Ten se volí jako nejmenší možný kvádr s adekvátními přídávky. Polotovar je připraven z výchozího zdroje, velkého grafitového kvádru, který je dělen na pásové pile. Dále je potřeba doplnit další důležité prvky. To jsou nulové body, jak pro obrábění elektrody, tak i pro následné obrábění elektrodou. Nulové body jsou odvozeny z druhu upínání, která je použito. Pro elektrody je použito upínání pomocí systému „3R“. Níže na obrázku je tento systém upínání vyobrazen (Obrázek 12). Od něj je odvozena poloha nuly v rovině „XY“ a již zmíněný bod „3R“, který určuje směr natočení. V ose „Z“ je nulový bod obvykle umístěn na vrchu tvaru. Výhodou jednotného držáku je jednoduchost upínání při dalších operacích s elektrodou, při kterých je toto upnutí také využito. Poslední fází je vygenerování souboru s modelem elektrody. K tomu slouží vytvořené makro, jež vytvoří samostatný „CATpart“ pro každou elektrodu zvlášť. Na následujícím obrázku je vyobrazena vymodelovaná elektroda se základními prvky (Obrázek 13).



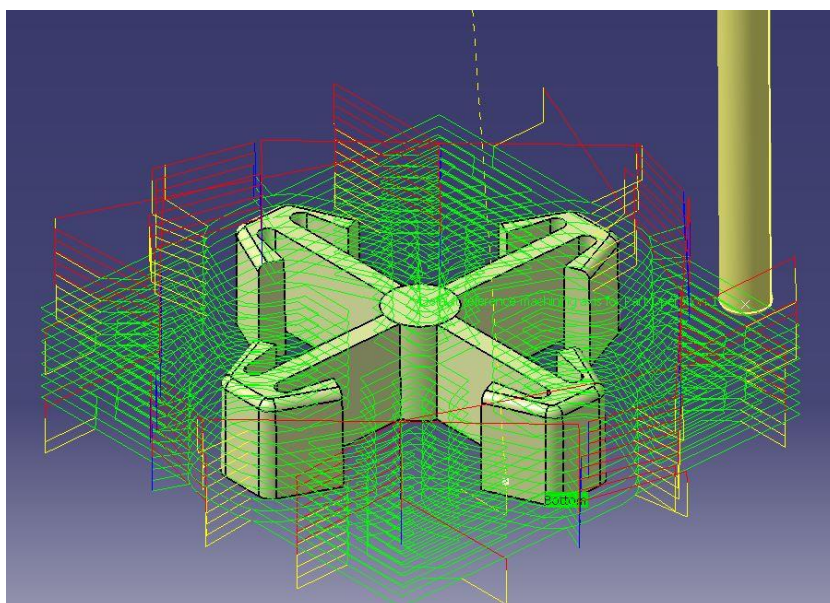
Obrázek 12 - upínání grafitových elektrod - systém 3R



Obrázek 13 - vymodelovaná elektroda se základními prvky

3.1.2 Tvorba technologie obrábění

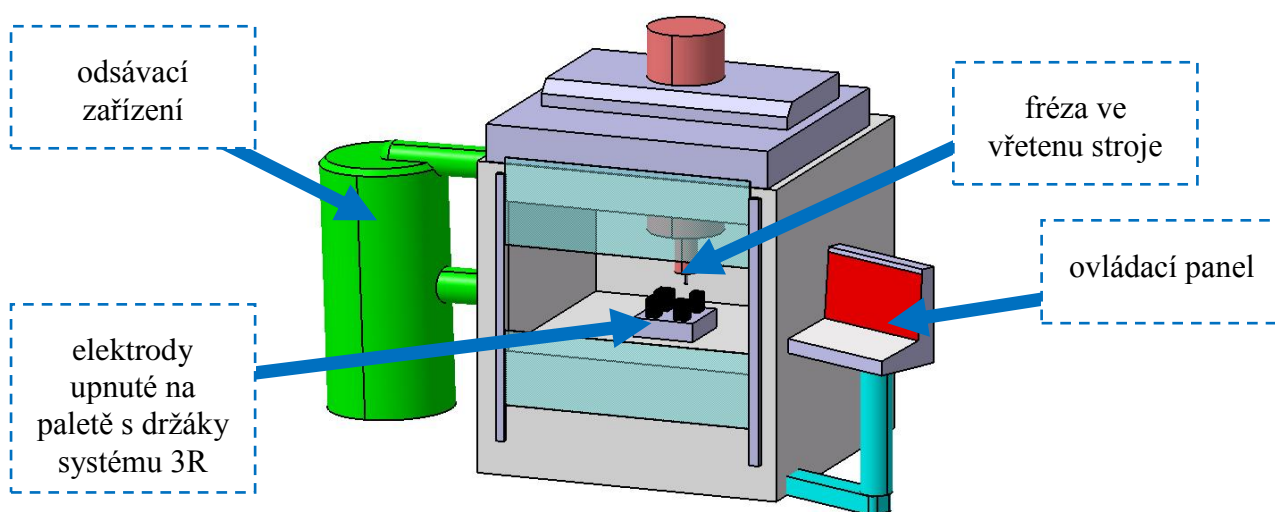
Pro vytvoření technologie obrábění je použit opět CAD/CAM software CATIA V5. V modulu pro tvarové obrábění frézováním „Surface Machining“ je v návaznosti na návržení tvaru elektrody tento tvar vyhrubován a následně postupně dokončen. K tomu je potřeba správného výběru frézovacích nástrojů a vhodných obráběcích cyklů. Nakonec se z vytvořených drah obrábění vygeneruje NC program, který je nahrán na DNC server. Na obrázku níže je vyobrazen příklad vypočítaných drah pomocí již zmíněného softwaru (Obrázek 14).



Obrázek 14 - příklad vyobrazení vypočítaných drah při tvorbě programu

3.1.3 Výroba

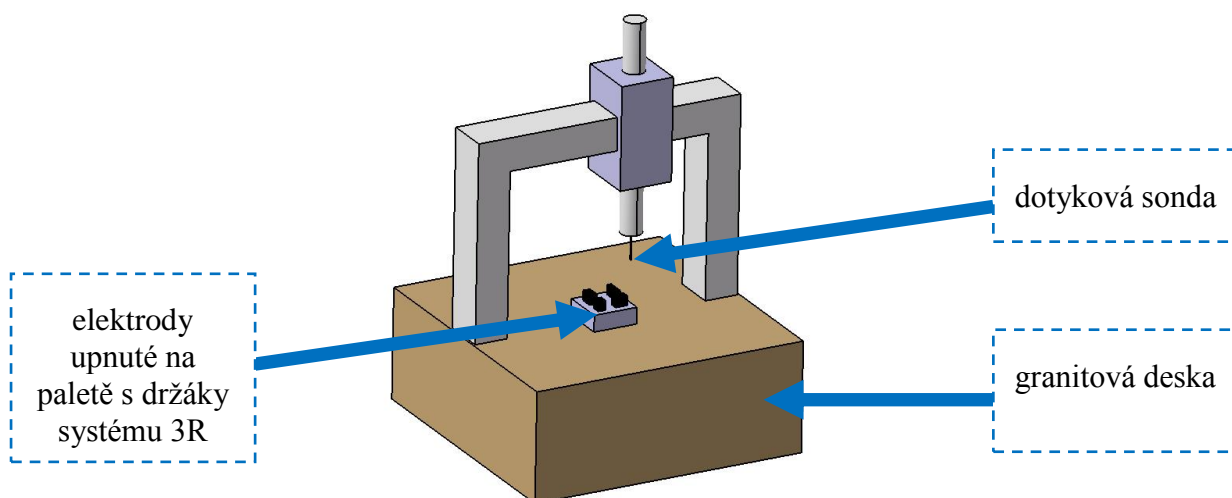
Výroba elektrody začíná přípravou a upnutím polotovaru, tedy grafitového kvádrů o daných rozměrech. Nejprve je k polotovaru připevněna vložka pro upnutí do systému „3R“ (Obrázek 12). Takto připravené polotovary mohou být upnuty na paletu, disponující držáky se stejným systémem upínání. Dalším krokem je příprava nástrojů následována samotnou výrobou, frézováním. Je k tomu použito 3-osé frézovací centrum, které je vybaveno zařízením pro odsávání grafitového odpadu. Na obrázku níže je znázorněn schematicky tento stroj (Obrázek 15).



Obrázek 15 - schématické znázornění frézování grafitových elektrod

3.1.4 Metrologická kontrola

Poslední fází výroby elektrody je kontrola správnosti rozměrů. Ta se provádí na 3D měřicím přístroji pomocí dotykové sondy. Kontrola je provedena komparací s modelem použitým u předchozích operací.

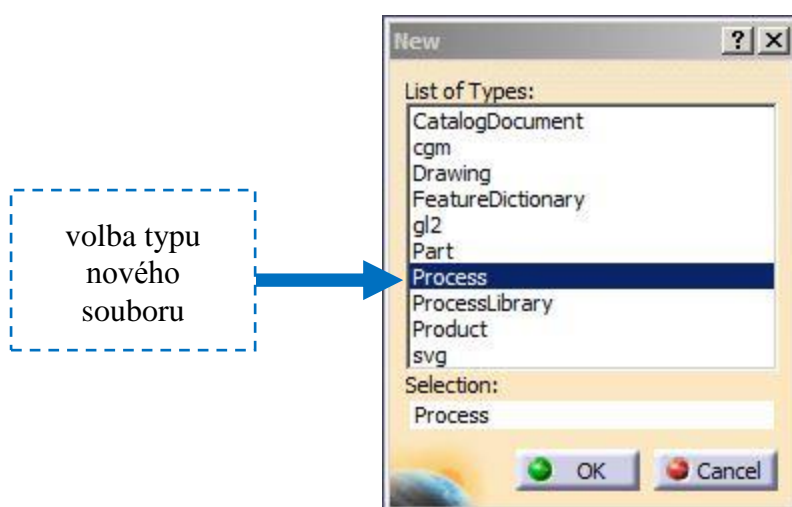


Obrázek 16 - schématické znázornění metrologické kontroly na 3D měřicím přístroji

3.2 Současný stav tvorby technologie obrábění

Současný stav by se dal nazvat jako „programování od nuly“. Tvorba technologie není podpořena žádnou automatizací či zjednodušením. Pro každou elektrodu je založeno nové obrábění, a je tvořena nová technologie o začátku. V následujícím textu je popsán současný postup při tvorbě technologie obrábění pro grafitovou elektrodu.

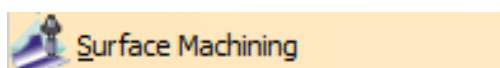
1. Založení souboru „Process“. Je zde několik možností, jak vytvořit tento soubor. Jednou z popisovaných možností je založení nového souboru z hlavní nabídky a to pomocí „New file“. Při výběru této možnosti je zobrazeno okno s možnými typy souborů, které lze vytvořit. Nabídka se odvíjí dle aktivních licencí pro různé moduly. Pro obrábění se tedy z nabídky vybere typ souboru „Process“, jak je vyobrazeno na obrázku níže (Obrázek 17).



Obrázek 17 - výběr nového souboru typu Process

Další možností je při otevřeném modelu, respektive modelu sestavy obráběného dílu vybrat z hlavní nabídky modul pro obrábění. Tím se vytvoří soubor typu „Process“ automaticky. Výhodou oproti předchozímu postupu je automatické naplnění obráběné sestavy do „Part Operation“. Po založení nového souboru je vhodné a pro plnou funkčnost dokonce nezbytné soubor uložit.

2. Výběr správného pracovního prostředí, tedy modulu pro obrábění tvarových ploch. V tomto případě jím bude „Surface machining“ (Obrázek 18). Tento modul obsahuje cykly především pro 3-osé obrábění.



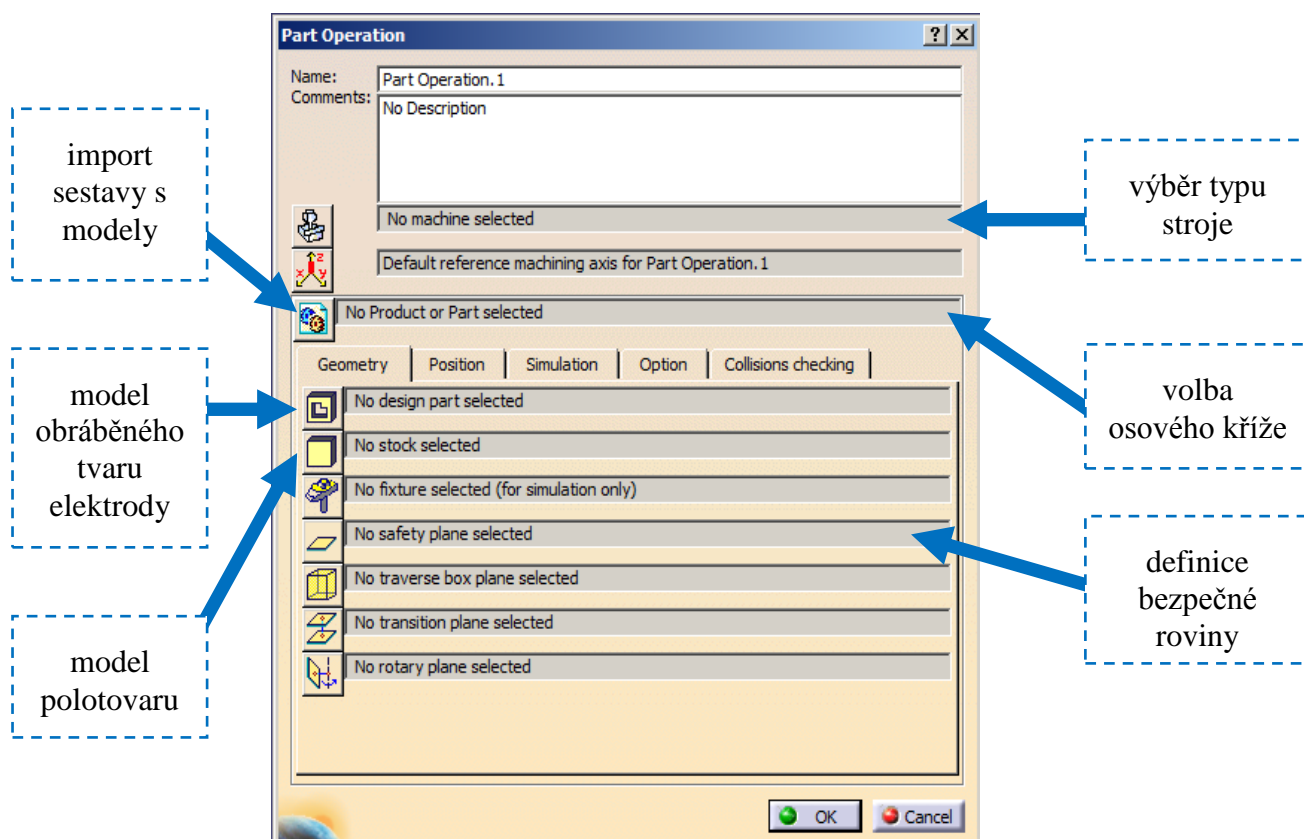
Obrázek 18 - výběr modulu pro obrábění tvarových ploch

3. Dalším krokem je vložení položky „Part Operation“. Po výběru položky z palety (Obrázek 19) je nutné vybrat položku ve stromě, za kterou bude umístěn. (Tento krok není nutný při tvorbě programu pro první elektrodu ve vytvořeném souboru typu „Process“. Položka „Part Operation“ je automaticky jeho součástí.)



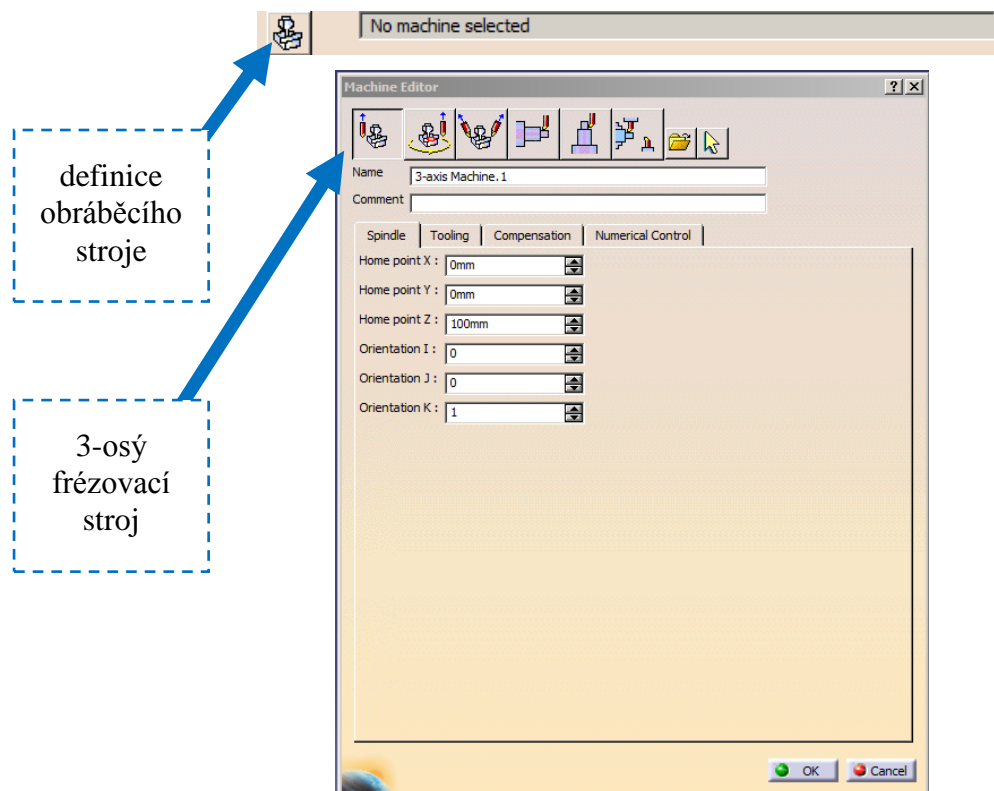
Obrázek 19 - paleta nástrojů obsahující Part Operation

4. Následující operací je vyplnění nezbytných položek v „Part Operation“ pro správný chod všech potřebných funkcí. Mezi tyto položky patří naplnění modelem obráběného dílu či sestavy, dále výběr stroje, výběr a orientace osového kříže, výběr geometrie obráběného tvaru a polotovaru, případně volba bezpečné roviny. Na obrázku níže je popis těchto základních položek (Obrázek 20) a v následujícím textu jsou podrobněji popsány jejich definice.



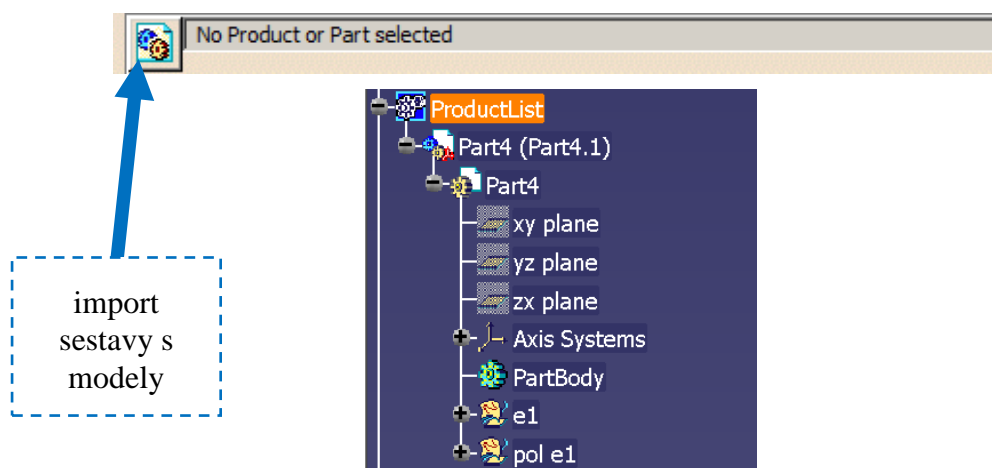
Obrázek 20 - Part Operation - popis položek

První položkou je výběr stroje, jak již bylo řešeno, tak v tomto případě bude využito 3-osého frézovacího stroje (Obrázek 21)



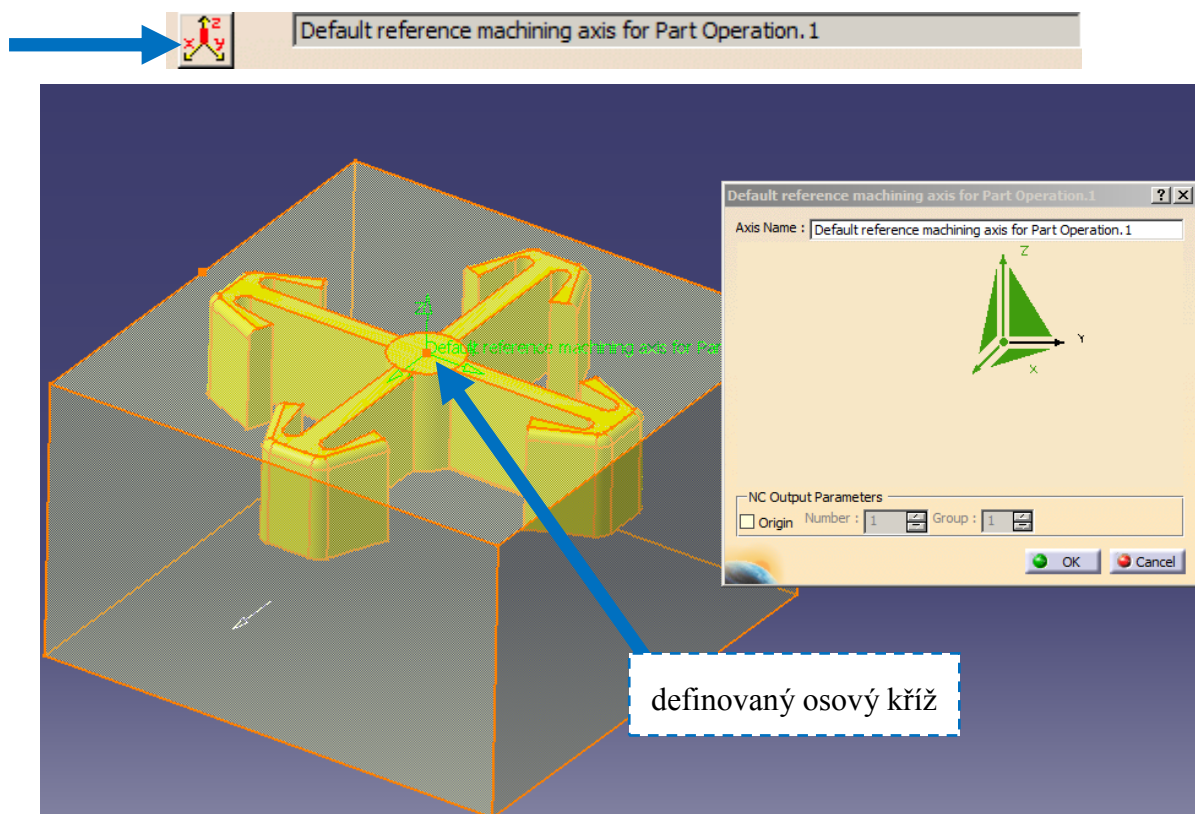
Obrázek 21 - definice obráběcího stroje

Před výběrem ostatních potřebných položek v „Part Operation“, kterými jsou výběr osového kříže a zvolení modelu obráběného tvaru a polotovaru je import sestavy s těmito prvky. Po výběru možnosti pro import je zobrazeno okno se správcem souborů a může být vybrán soubor typu „Product“ nebo „Part“. Po tomto úkonu lze modely najít ve stromě navigace pod položkou „ProductList“ (Obrázek 22)



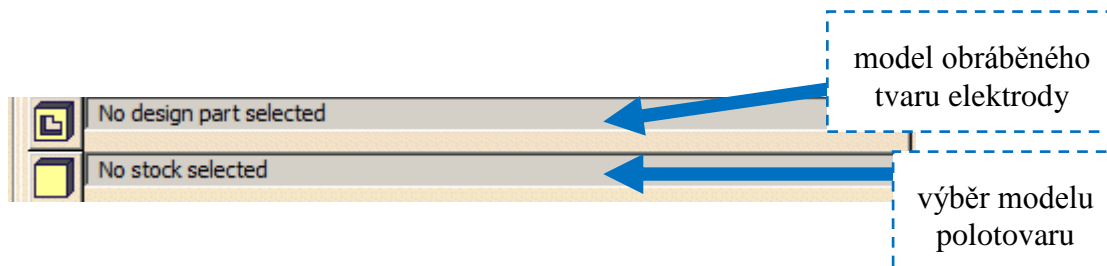
Obrázek 22 - import sestavy modelů

Po vložení sestavy je možné nadefinovat osový kříž (Obrázek 23). Nabízejí se zde dvě možnosti. Buď to zvolit připravený namodelovaný osový kříž nebo zvolit nulový bod a následně aretaci osy „Z“ a „X“. V obou případech se po definování osového kříže v otevřeném okně změní jeho barva z červené na zelenou. Poloha nulového bodu a rotace osového kříže vychází z použitého upnutí dle systému „3R“, jak již bylo popsáno v předchozím textu (na straně 17).



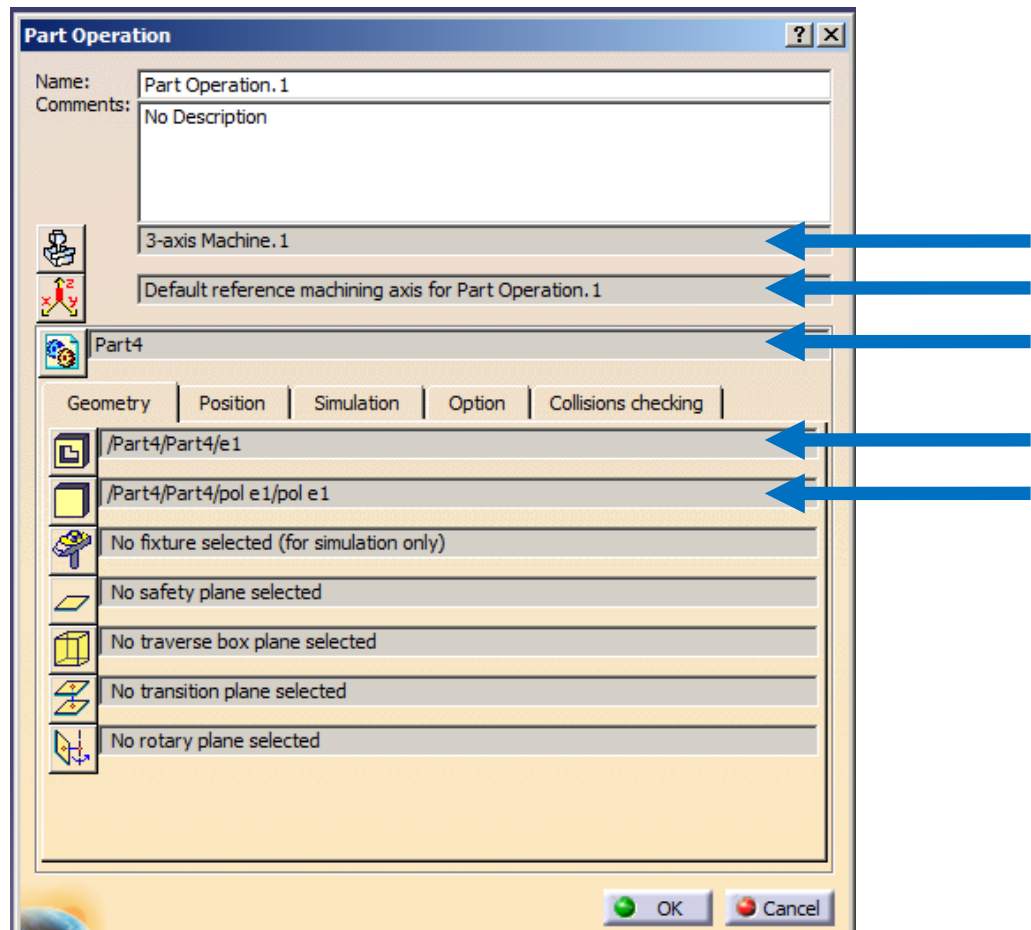
Obrázek 23 - definice osového kříže

Poslední potřebnou položkou a to zejména pro funkční simulaci je výběr geometrie. To je zvolení modelu, který reprezentuje tvar obráběné elektrody a polotovaru. To se po výběru položky provede buď výběrem požadovaného modelu ze stromu, nebo výběrem viditelného modelu.



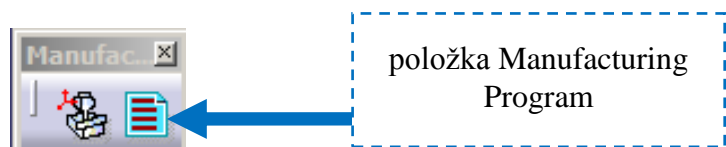
Obrázek 24 - výběr geometrie v Part Operation

Na následujícím obrázku je vyobrazen „Part Operation“ s vyplněnými nezbytně nutnými položkami pro další práci.



Obrázek 25 - vyplněný Part Operation

5. Dalším krokem je vložení položky samotného programu „Manufacturing Program“ (Obrázek 26), pod který je již možné vkládat obráběcí cykly. Opět je u výběru z palety nutné vybrat položku ve stromě, kam se má program umístit. (U prvního programu v novém souboru typu „Process“ není nutné tento krok provádět, položka „Manufacturing Program“ je stejně jako „Part Operation“ defaultně jeho součástí.)



Obrázek 26 - paleta nástrojů obsahující Manufacturing Program

6. Nyní je již možné tvořit samotnou technologii obrábění pomocí využití vhodných cyklů. Na paletě nástrojů se nabízí výběr hrubovacích a dokončovacích cyklů. Dokončovací jsou pak rozděleny pro horizontální, vertikální či jejich kombinaci.

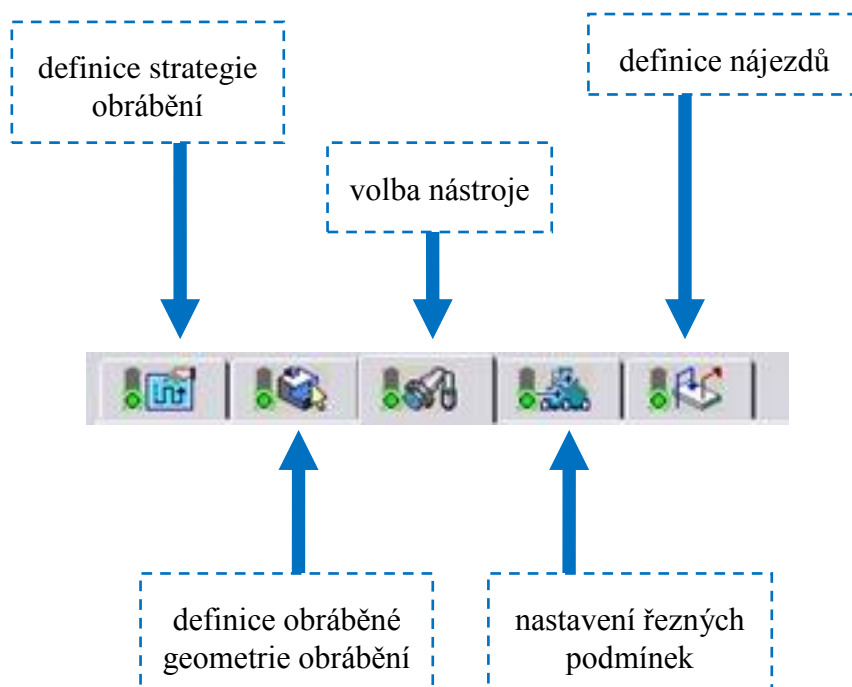


Obrázek 27 - paleta nástrojů obsahující cykly pro obrábění

Každý cyklus z modulu pro frézování tvarových ploch obsahuje pět základních záložek. V každé z nich se definují parametry obrábění. Těmito záložkami jsou:

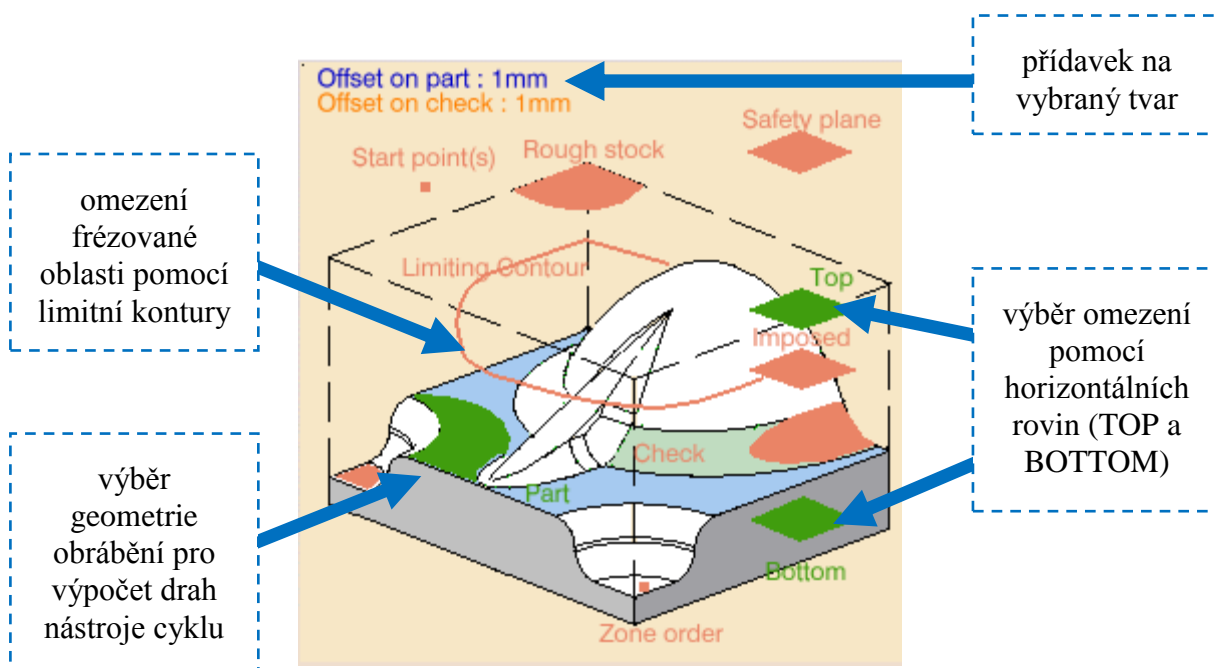
- Definice strategie obrábění
- Definice obráběné geometrie
- Volba nástroje
- Řezné podmínky
- Definice nájezdů

Jejich umístění v cyklech je vyobrazeno na následujícím obrázku.



Obrázek 28 - záložky cyklů pro obrábění

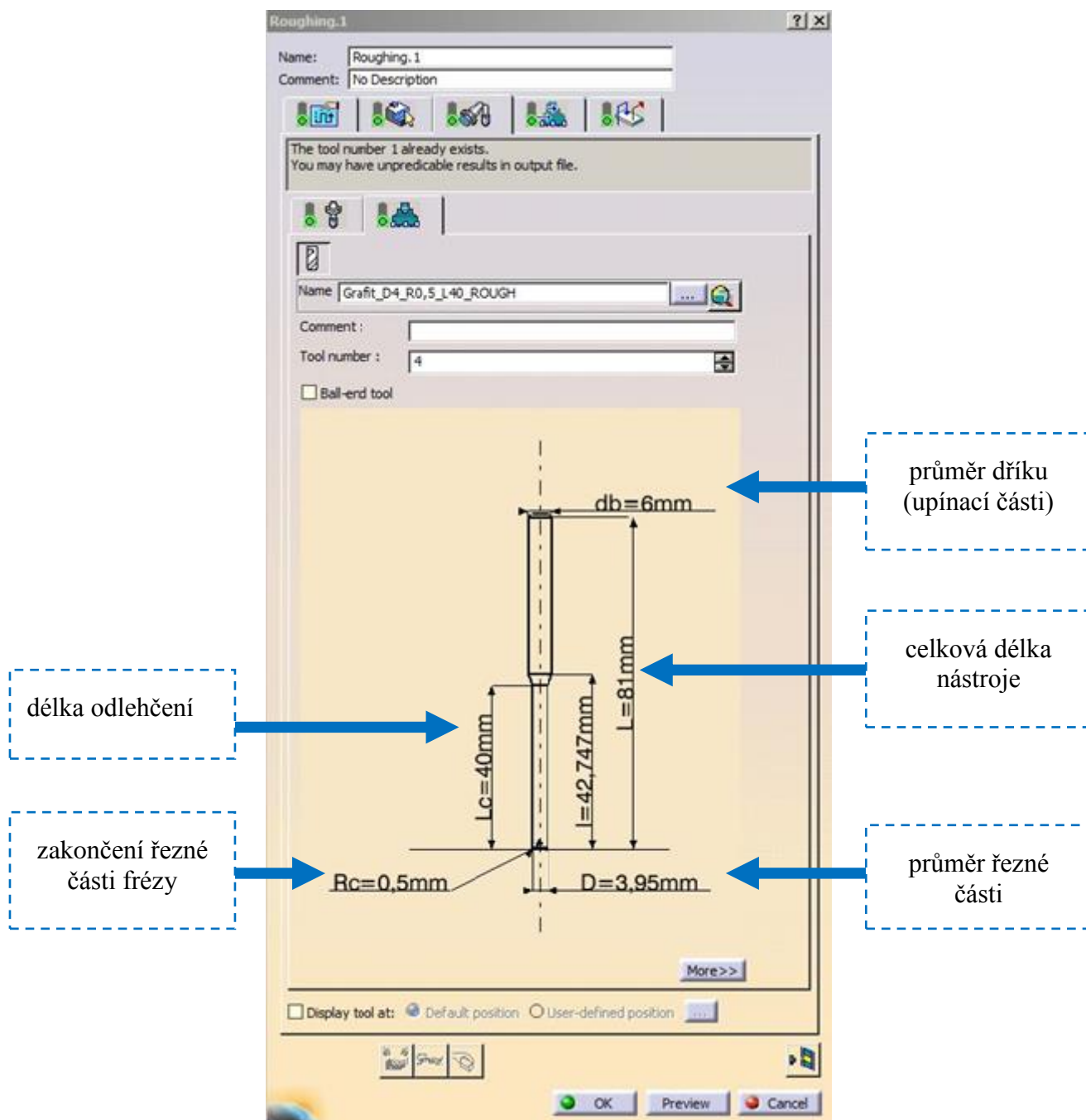
7. U každého vybraného cyklu je nutné definovat, respektive změnit jejich defaultní hodnoty na požadované.
- Na první kartě, tedy pro definici strategie obrábění se nastavují parametry s tím související. To jsou například přísuvy nástroje, jak v axiálním tak v radiálním směru. Dále například poloha nástroje vůči obrobku, tedy sousledné či nesousledné frézování.
 - Druhá karta slouží pro definici geometrie, pro výpočet drah nástroje a dalšími parametry s ní související. Jako jsou například přídavky na tvar při obrábění. Definice geometrie v cyklech je vyobrazena na následujícím obrázku.



Obrázek 29 - definice geometrie v cyklech

- Následující záložka slouží pro volby nástroje. Od výběru nástroje se obvykle odvíjí ostatní nastavované parametry v cyklech. U použitých dokončovacích monolitních fréz lze definovat následující rozměry:
 - Průměr řezné části
 - Zakončení řezné části frézy
 - Délka odlehčení
 - Průměr upínací části nástroje
 - Celková délka nástroje

Z toho nejdůležitějšími rozměry jsou průměr řezné části a zakončení řezné části. Od těchto rozměrů se odvíjí výpočet drah nástroje. Ostatní rozměry jsou pouze pro výpočet kolizí a simulaci. Na následujícím obrázku je znázorněn popis těchto rozměrů nástroje. Pro více reálnou simulaci je pak možné pro nástroj nadefinovat upínač.



Obrázek 30 - definice nástroje

- Následující karta cyklu souvisí s vybraným nástrojem, slouží pro nastavení řezných podmínek, jakými jsou posuvy a otáčky. Základními zadávanými parametry jsou posuvy v milimetrech za minutu. Kromě zadávané posuvové hodnoty pro samotné obrábění, lze zadat rozdílné hodnoty pro rychlost nájezdu do řezu a také z jeho odjezdu.
- Obsah poslední záložky souvisí se strategií obrábění. Volí se na ní druhy nájezdů nástroje do řezu.

3.2.1 Tvorba technologie obrábění pro další elektrodu obdobného tvaru

Pro elektrody obdobného tvaru a rozměrů není použito žádné zjednodušení. Celý proces tvorby programu pro obrábění se opakuje dle předchozího postupu.

3.2.2 Další činnosti při tvorbě programu

Další činností při tvorbě programu je kontrola pomocí simulace a to buď pomocí „Photo analýzy“, kde lze správným nastavením kontrolovat správnost obrobení dle barevného rozlišení. Z této analýzy lze tedy vyčíst například, zda je některá plocha nedofrézována, to je přebývá materiál vůči požadovanému stavu. Nebo lze naopak určit přebrání, tedy že elektroda je rozměrově do mínusu vůči tvaru, který je vyžadován. Další nabízenou možností je „Video simulace“. V tomto druhu simulace jsou vidět pojezdy nástroje a úběr materiálu. Simulaci lze zpřesnit volbou prvků, které jsou obsaženy. Základní prvky zahrnuté do této simulace je obráběný polotovar respektive výsledný tvar, nástroje s případnými navolenými nástrojovými upínači a případné upínací přípravky, kterými může být například svěrák, upínky, či jakýkoliv jiný vytvořený model.

Pokud je vše v pořádku, tak se může vygenerovat program, což je poslední činností, která následuje po tvorbě technologie. To může být provedeno buď přímo do formátu pro daný CNC stroj přes integrovaný postprocesor, či do APT souboru, ve kterém jsou uložena „surová“ data, která je následně možné převést do formátu pro cílený CNC stroj přes externí postprocesor.

4 Návrh variantního řešení

K vytvoření technologie obrábění je stejně jako v případě současného stavu využito CAD/CAM softwaru CATIA V5. Tento software nabízí spoustu integrovaných funkcí, které při vhodném užití usnadňují práci při tvorbě NC programu. Další možností pro usnadnění programování ale i usnadnění při jiných operacích v softwaru je možnost vytvoření dalších funkcí. K tomu slouží otevřenost k programovacímu jazyku VBA (Visual Basic for Application). Obrovskou výhodou je, že stejný programovací jazyk je součástí balíčku MS OFFICE, což umožňuje vzájemné propojení, které lze využít například pro tvorbu různé dokumentace či práci s parametry v tabulkách apod.

Při návrhu variantních řešení tvorby technologie obrábění elektrody bude využito pouze integrovaných aplikací v modulu pro tvarové obrábění „Surface Machining“, bez přídavného programování v již zmíněném programovacím jazyce VBA.

4.1 Variantní řešení

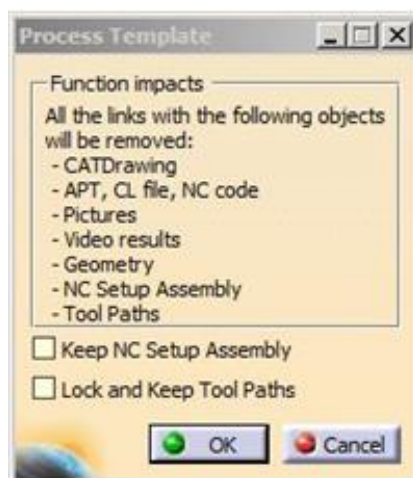
4.1.1 Programování pomocí vytvořených šablon obrábění

Vytvoření šablony pro obrábění je založeno na tvorbě technologie způsobem podobným současnému stavu. Tato metoda programování je vhodná zejména pro elektrody velice podobného tvaru, u kterých bude v nejlepším případě možné využít stejných nástrojů a stejné obráběcí cykly.

4.1.2 Popis řešení

Před vytvořením samotné šablony, kterou lze vhodně použít dál pro podobné tvary, je nutné mít vytvořenou kompletní technologii obrábění. Při použití šablon pro obrábění je předpoklad, že u budoucího tvaru bude možné využít stejné nástroje, stejné obráběcí cykly a jejich pořadí.

Funkce pro tvorbu šablon obrábění se ukrývá mezi nástroji pod intuitivním názvem „Process Template“ (Obrázek 31 - okno funkce Process Template



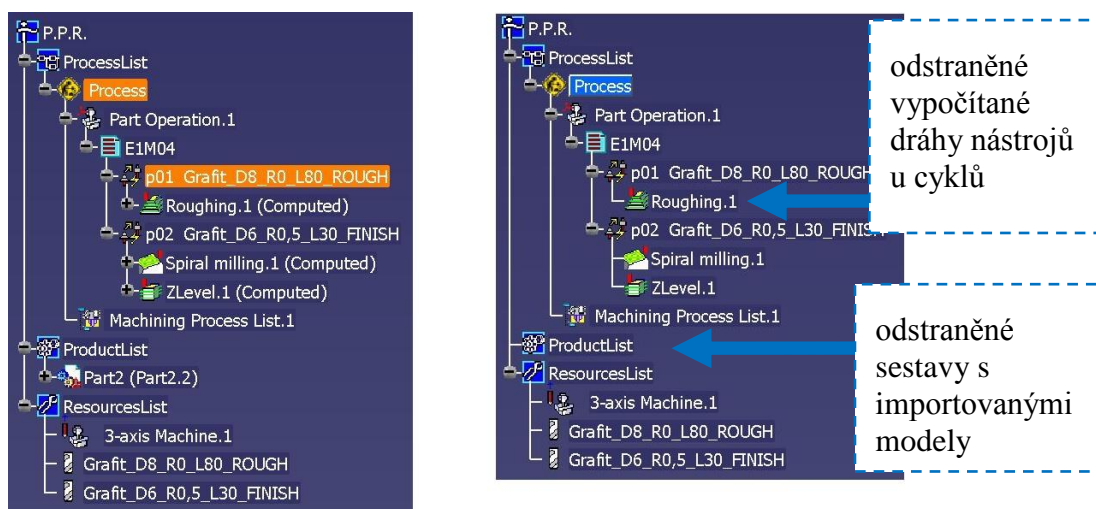
Obrázek 31 - okno funkce Process Template

V horní části okna jsou uvedeny položky, které budou z obrábění odstraněny. Těmi jsou:

- CATDrawing
 - Soubory výkresové dokumentace
- APT, CL file, NC code
 - Uložené soubory typu APT, CL nebo NC kód
- Pictures
 - Uložené obrázky
- Video results
 - Uložené výsledky video simulace – modely v určité etapě obrábění
- Geometry
 - Navolená geometrie v cyklech obrábění
- NC Setup Assembly
 - Vazba na sestavu modelů, které jsou obráběny
- Tool Paths
 - Vypočítané dráhy nástrojů v cyklech obrábění

Další nabízené možnosti funkce pro tvorbu vzoru obrábění jsou ponechání vazeb se sestavou modelů „Keep NC Setup Assembly“ a uzamčení a ponechání drah v cyklech „Lock and Keep Tool Paths“ (Obrázek 31).

Po aplikaci funkce jsou výše zmíněné prvky z celého souboru obrábění odstraněny (Obrázek 32). Tím vznikne vyprázdněné obrábění, tedy požadovaná šablona obrábění. Hlavním cílem funkce je odstranění geometrie z obrábění. Technologie obrábění následně může být použita pro obrábění podobného tvaru bez nutnosti opětovné definice částí týkajících se strategie obrábění a nástrojů. Tím je tvorba technologie velice zjednodušena a je zkrácen čas strávený její tvorbou.



Obrázek 32 - strom obrábění - před a po použití funkce pro vytvoření šablony

4.1.3 Programování pomocí funkcí zbytkového obrábění

V CAD/CAM softwaru CATIA V5 jsou implementovány nástroje sloužící pro zautomatizování programování. Funkce slouží k automatickému rozdělení dokončovacích cyklů pro horizontální a vertikální obrábění, které jsou následně aplikovány v požadovaných oblastech geometrie. Tato metoda je vhodná zejména pro tvorbu programu složitých tvarů, u kterých by bylo komplikované vybírat geometrie pro jednotlivé cykly.

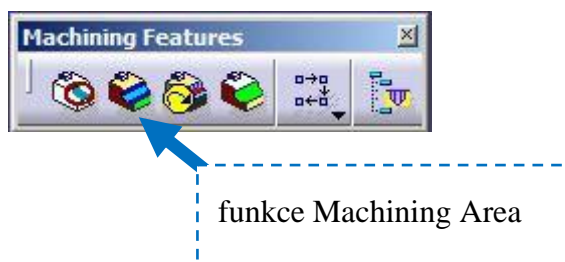
4.1.4 Popis řešení

Prvním krokem stejně jako u současného stavu je použití hrubovacího cyklu. Automatický cyklus poslouží pro vyhrubování tvaru ze zadaného polotovaru. Vzhled vyhrubované elektrody by měl být co nejvíce přiblížen konečnému tvaru klipu, avšak se zvolenými přídávky na dokončení.



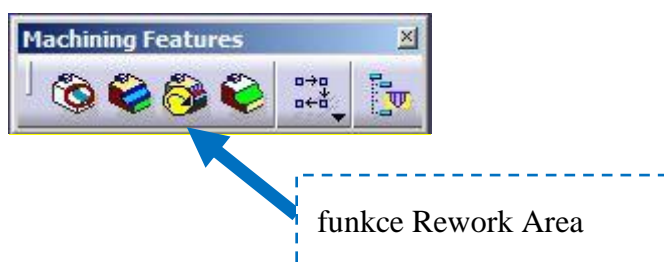
Obrázek 33 - paleta nástrojů obsahující obráběcí cykly

Po vyhrubování následuje funkce „Machining Area“, který je k nalezení na paletě nástrojů „Machining Features“ (Obrázek 34). Ta slouží s vybraným nástrojem k dokončení obrábění. Funkce dle zadaných parametrů, jako je především velikost axiálního a radiálního kroku nástroje vygeneruje požadované dokončovací cykly. Vygenerované cykly jsou rozděleny pro horizontální a vertikální plochy. Jejich dráhy začínají, končí a překrývají se v požadovaném úhlu.



Obrázek 34 - paleta nástrojů Machining Features - Machining Area

Posledním krokem je použití funkce pro samotné zbytkové obrábění. Ta je k nalezení pod názvem „Rework Area“, na stejné paletě nástrojů jako předchozí funkce. Tato funkce slouží pro vyhledání míst, které nástroj v předchozích cyklech nemohl vybrat a zůstal na tvaru nějaký materiál. Požadavkem pro vyhledání takových míst na tvaru je definování nástroje, který byl použit v předchozí operaci a nástroj, který bude následně použit. Stejně jako v předchozí operaci se aplikací funkce dosáhne vygenerování dokončovacích cyklů, které jsou v požadovaných mezích rozděleny na horizontální a vertikální plochy. Ovšem, již nejsou aplikovány na celý tvar ale pouze na vyhledané oblasti.



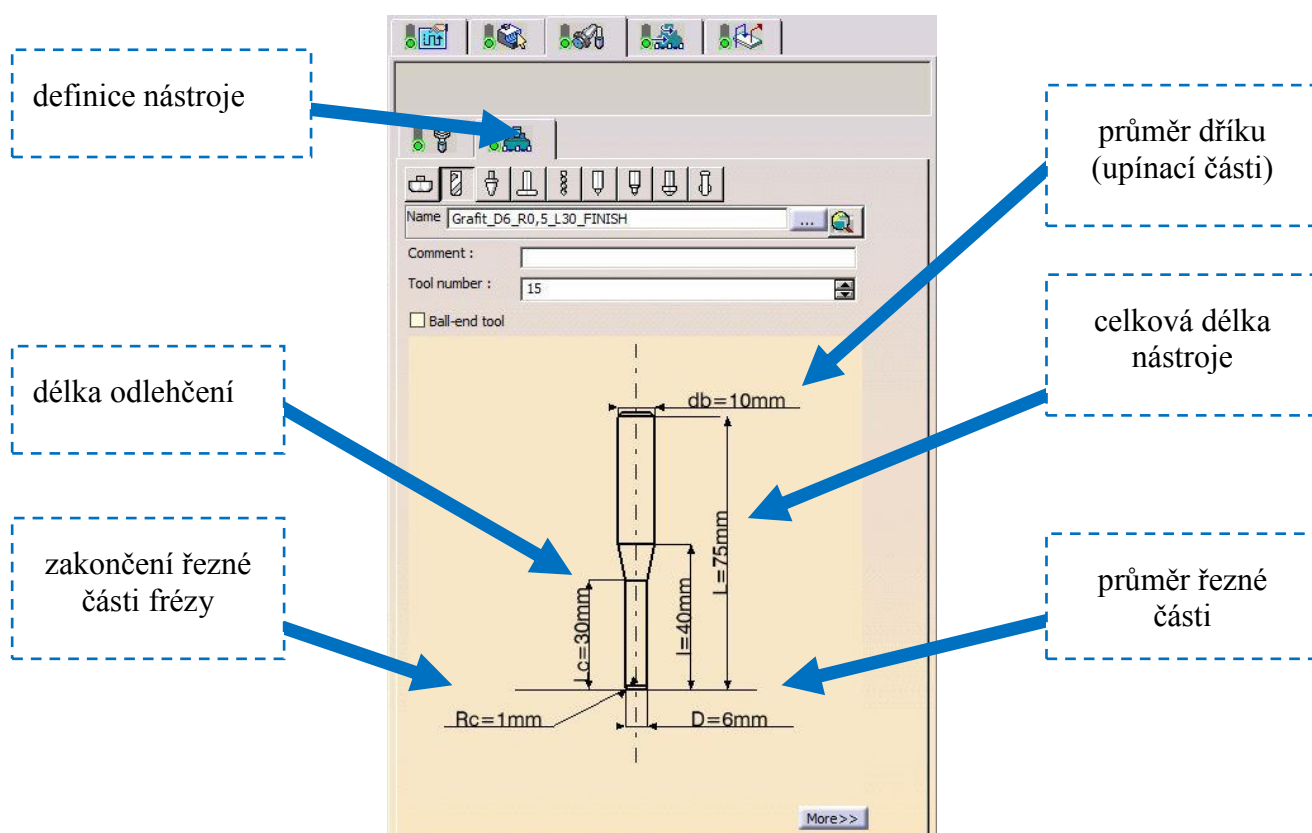
Obrázek 35 - paleta nástrojů Machining Features - Rework Area

4.2 Obecná doporučení pro usnadnění práce při tvorbě technologie

V softwaru CATIA V5 je umožněno dalších zjednodušení, které lze aplikovat v modulech obrábění. Velice dobrou pomůckou pro usnadnění může být využití katalogů nástrojů, případně pak katalog nájezdů pro obrábění.

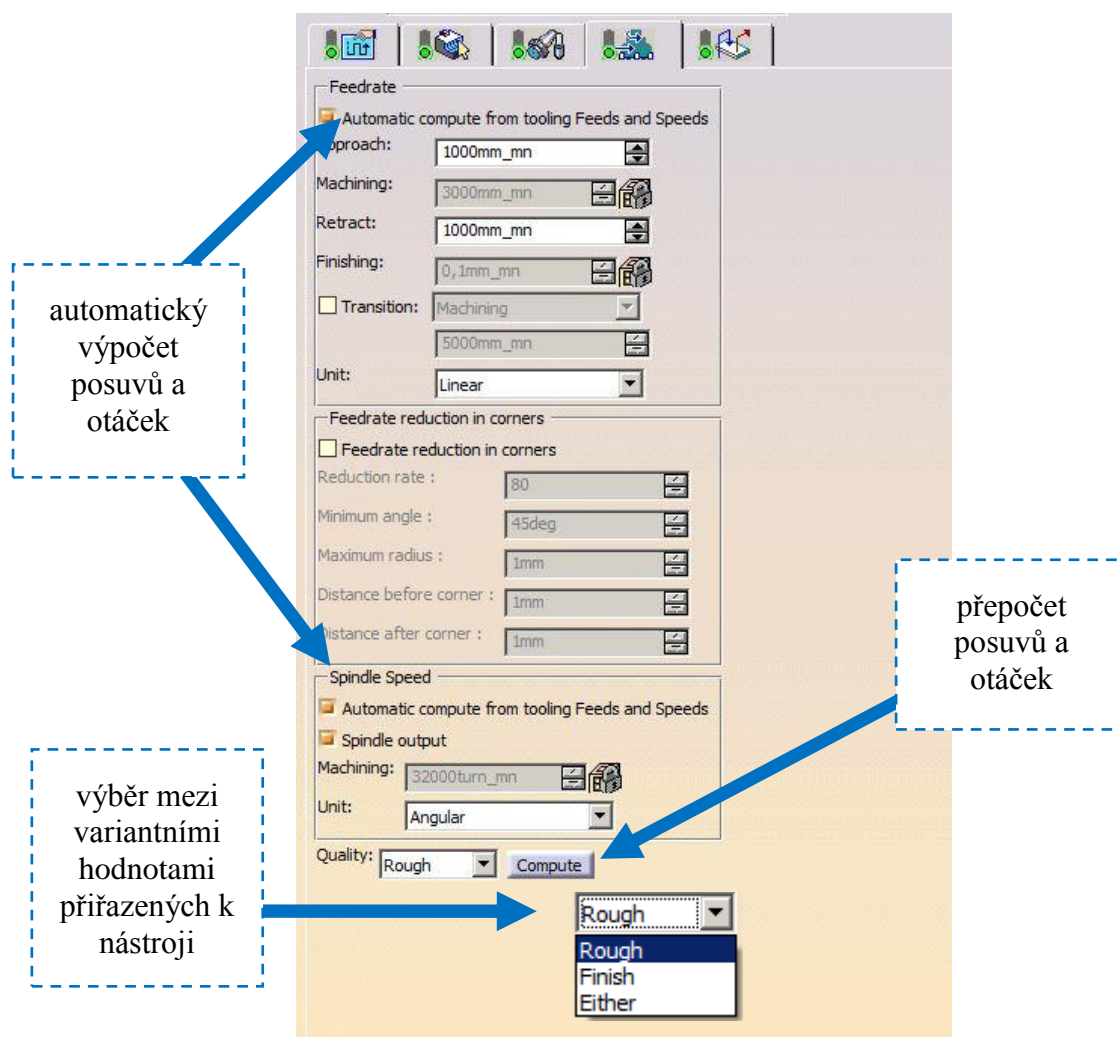
4.2.1 Katalog nástrojů

Katalog nástrojů může posloužit jako základní pomůcka pro usnadnění při tvorbě programu pro obrábění. Při použití katalogu nástrojů není nutné opakovaně definovat rozměry nástroje (Obrázek 36). To nejen velice zkrátí čas při programování, ale i eliminuje možnost překlepu při zadávání hodnot. V katalogu je možnost nástroje rozdělit do skupin dle typu nástroje.



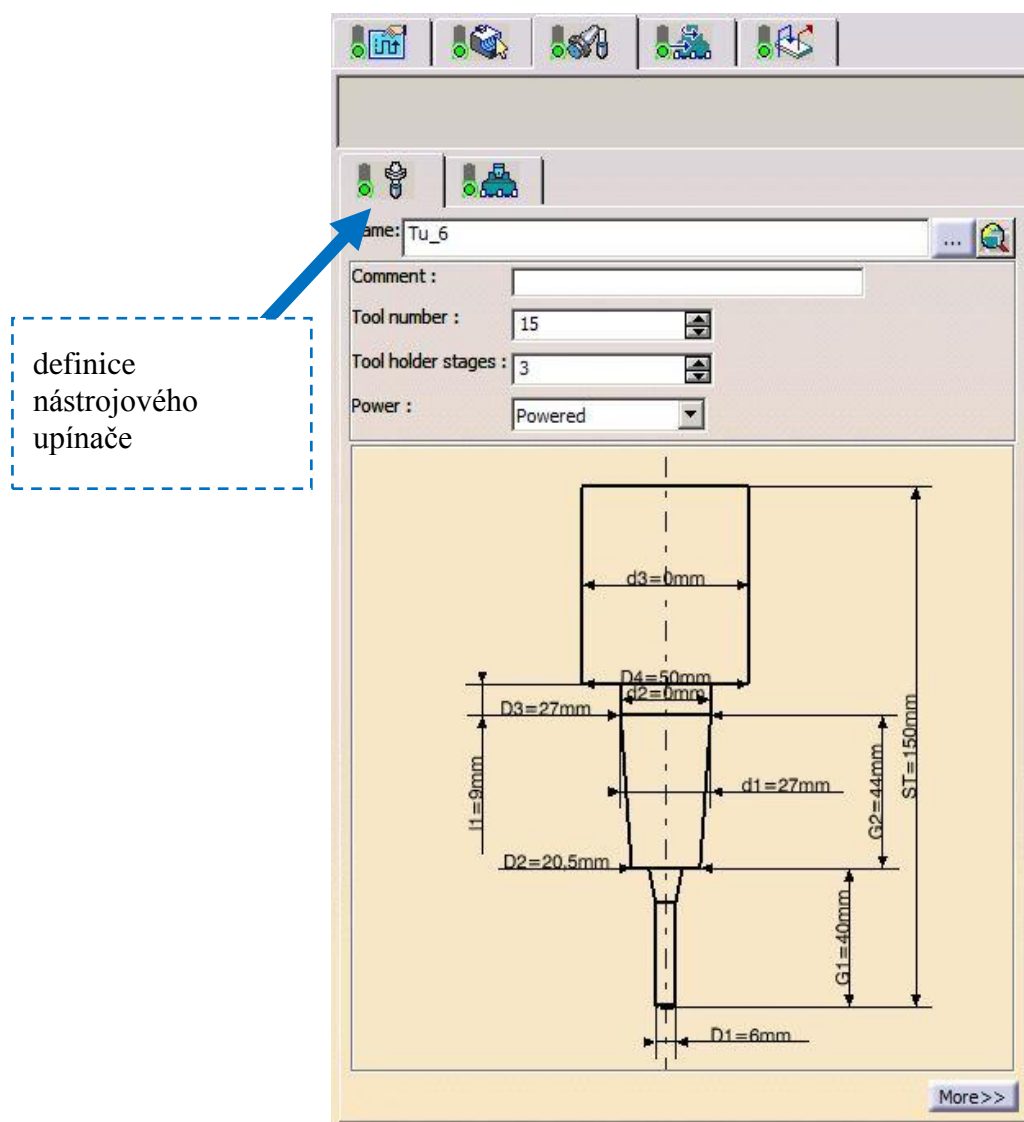
Obrázek 36 - frézovací nástroj se základními rozměry

Kromě základních rozměrů, které jsou popsány na obrázku výše, je možné do katalogu k nástrojům přiřadit řezné parametry. Do katalogu je zanesena hodnota řezné rychlosti, počet zubů, velikost posuvu na zub. Tyto hodnoty lze zadat pro tři stádia obrábění, hrubování, před-dokončení a dokončovací operace. Ze zadaných hodnot je pak automaticky dopočten posuv v milimetrech za minutu a otáčky vřetene.



Obrázek 37 - nastavení řezných podmínek

Pro reálnější simulaci řezného procesu lze k nástroji přiřadit upínač. Ten lze stejně jako u nástroje definovat zadáním rozměrů přímo při výběru nástroje nebo jej opět navolit z vytvořeného katalogu (Obrázek 38).



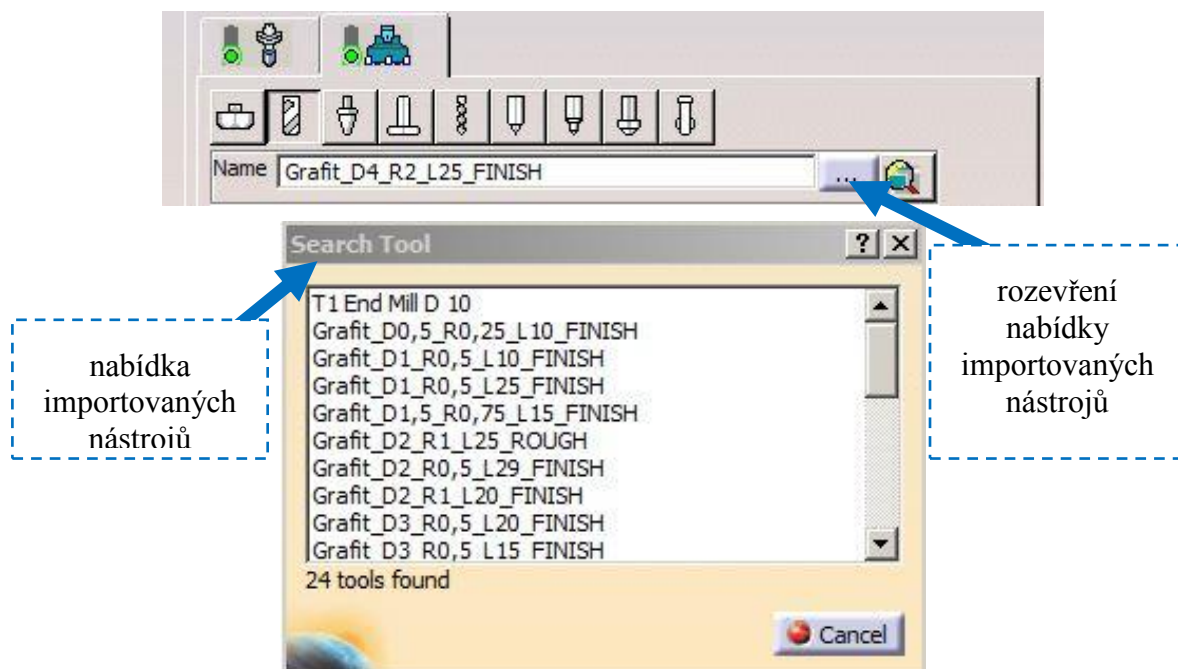
Obrázek 38 - definice nástrojového upínače

Jelikož se pro obrábění používá obvykle stejný výběr nástrojů, které jsou stále naplněny v zásobníku nástrojů v obráběcím centru, je možné katalog a zásobník nástrojů sladit a přiřadit k nim pevnou polohu. Propojením nástrojů v katalogu a ve stroji dochází k usnadnění nejen při tvorbě programu ale i v samotné výrobě.

Při nižším počtu používaných nástrojů je možné nástroje importovat do stromu obrábění pod položku „Resource List“ (Obrázek 39). Tím se dosáhne omezeného zjednodušeného výběru nástrojů. Výběr nástroje se následně provede dle obrázku níže.



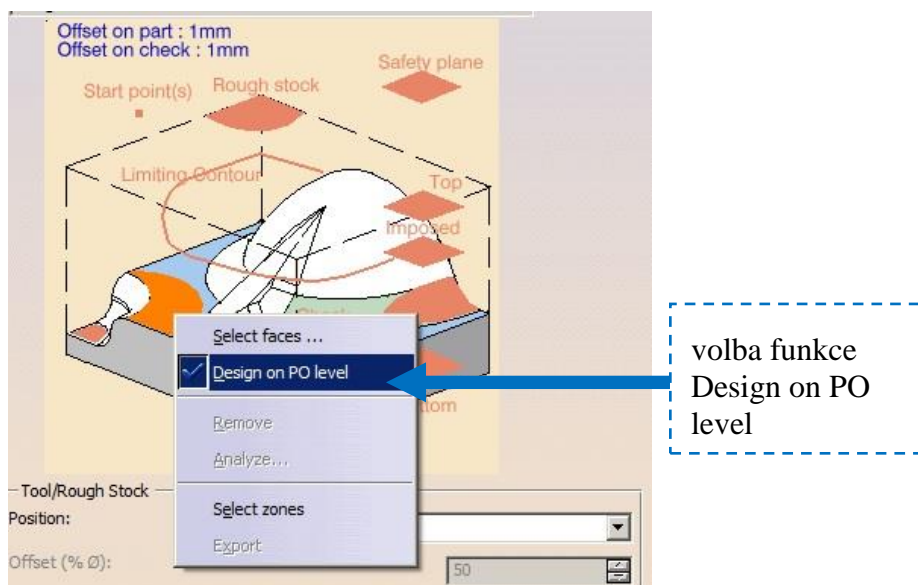
Obrázek 39 - paleta nástrojů s možností importu nástrojů



Obrázek 40 - volba importovaného nástroje

4.2.2 Výběr obráběné geometrie „Design on PO level“

Ve většině případů obrábění jednodušších tvarů je vybírán celý obráběný tvar. Není nutné vybírat jednotlivé plochy na modelu. U cyklů pro tvarové obrábění, lze zvolit při výběru modelu pro výpočet drah funkce zrychleného výběru „Design on PO level“. Tato funkce se ukrývá v kontextové nabídce volby „Part“ (Obrázek 41). Zvolení této položky způsobí automatické natažení modelu navoleného v „Part Operation“. Dále je nutné při výběru geometrie v obráběcích cyklech zvolit omezení obráběné oblasti pomocí limitní kontury nebo horizontálními rovinami „Top“ a „Bottom“.

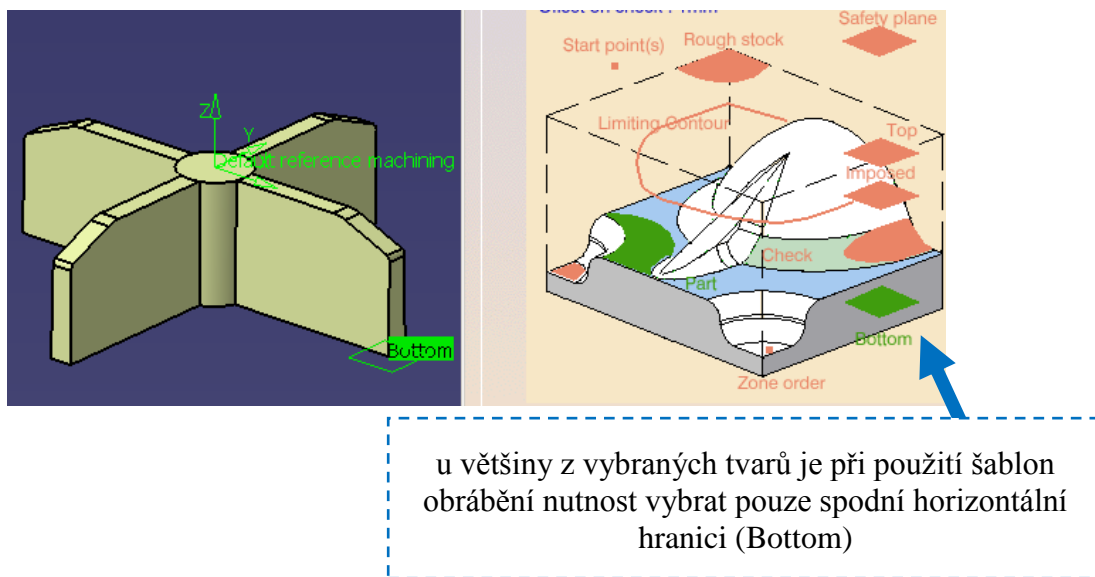


Obrázek 41 - Design on PO level

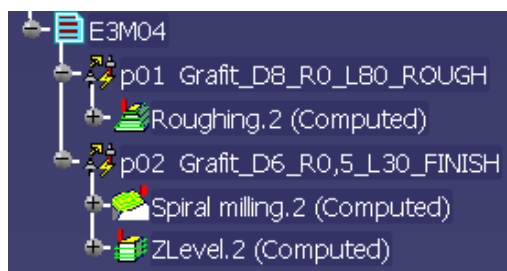
5 Výběr vhodného řešení

Východiskem pro výběr variantního řešení je co nejvíce zjednodušit postup při tvorbě technologie vybraných elektrod (strana 12). U většiny z vybraných elektrod je využito pouze dvou nástrojů. To nahrává variantě tvorby technologie obrábění pomocí šablon. Variantu tvorby technologie pomocí zbytkového obrábění, která automaticky nalezne oblasti, které nejsou dofrézovány po prvním nástroji, by bylo vhodné použít pouze u elektrody č.1 (Obrázek 44 - doplňující výběr u elektrody č.1. Protože se zde nacházejí některé oblasti, které musí být kvůli nedostupnosti dofrézovány menším nástrojem. Použitím této metody by odpadlo ruční omezování oblasti pomocí limitní kontury. Nevýhodou použití funkcí pro zbytkové obrábění může být také to, že vygenerované cykly jsou špatně upravitelné. Při opakovaném obrábění podobných dílů je očekávané řádné odladění drah nástroje pro zvýšení trvanlivosti nástroje. Programování pomocí zbytkového obrábění by bylo výhodnější spíše pro tvorbu technologie u složitějších tvarů, u kterých je komplikovaný výběr oblastí pro dofrézování menšími nástroji.

Pro tři ze čtyř vybraných typových elektrod je výhodnější aplikace obrábění pomocí šablon (Obrázek 42). Pro výběr řešení bylo rozhodnuto také dle výsledků kritérií v Tabulka 1 - výběr variant, kde také převažuje výhodnost této varianty. Proto je k řešení optimalizace tvorby technologie obrábění vybraných grafitových elektrod vybráno variantní řešení „Programování pomocí vytvořených šablon obrábění“.

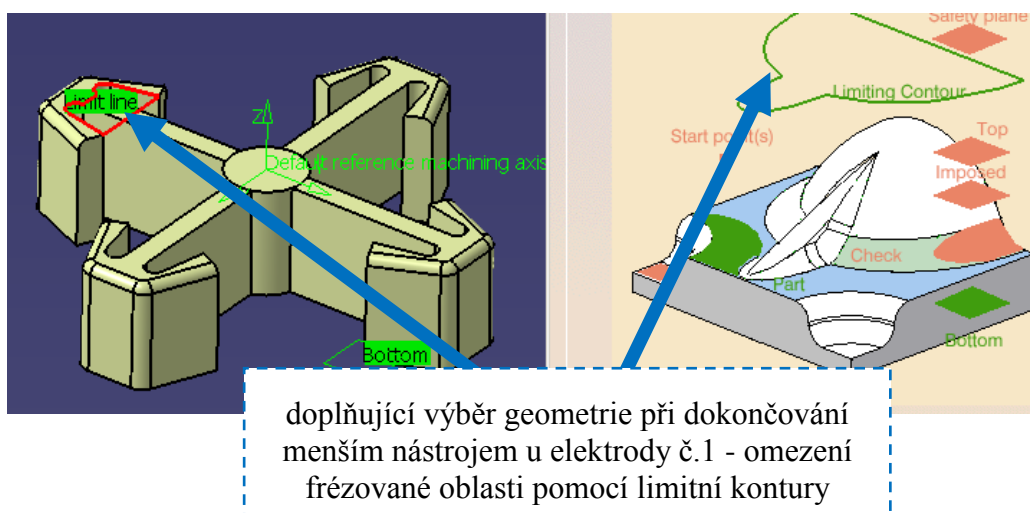


Obrázek 42 - výběr geometrie u vybraných elektrod

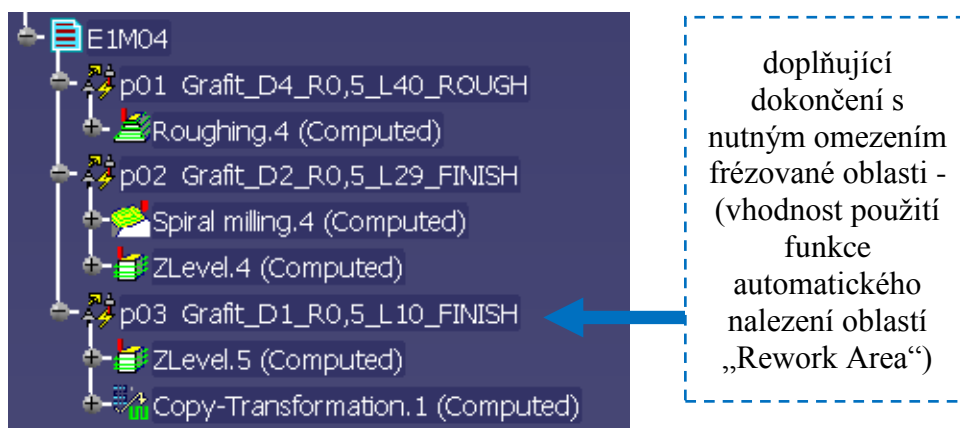


Obrázek 43 - struktura programu u většiny z vybraných elektrod

u většiny z vybraných tvarů jsou použity pouze dva nástroje, které frézují celý tvar, není nutnost výběru



Obrázek 44 - doplňující výběr u elektrody č.1



Obrázek 45 - struktura programu pro obrábění elektrody č.1

Tabulka 1 - výběr variant

kritérium	Tvorba technologie pomocí šablon	Tvorba technologie pomocí funkcí zbytkového obrábění
Jednoduchost výběru obráběné geometrie	ANO	NE (pouze u tvaru elektrody č.1 je výhodnější)
Dobrá editovatelnost cyklů pro odladění programu	ANO	NE
Vhodnost užití pro jednoduché tvary	ANO	NE
Nenáročnost na zkušenosti programátora	ANO	NE

6 Zpracování vybraného řešení

V následujícím textu je podrobně popsána tvorba technologie obrábění pro jeden vybraný tvar z typových elektrod (viz. kapitola Cíle, na straně 2). V první části je kapitola zaměřena na postup při tvorbě šablony pro obrábění. V druhé části je pak popsáno jak vytvořenou šablonu aplikovat pro obdobný tvar. V popisu řešení není zahrnuta tvorba modelu elektrody, předpokladem je připravená sestava, která obsahuje model elektrody, model polotovaru a nulový a aretační „3R“ bod. Části modelu jsou popsány na straně (16).

6.1 Popis tvorby šablony technologie obrábění

Tvorba šablony technologie obrábění je velice obdobná s řešením popsaným v kapitole Současný stav (stránka 17). V tomto řešení jsou však zakomponována některá řešení, která jsou popsána na stránce (31).

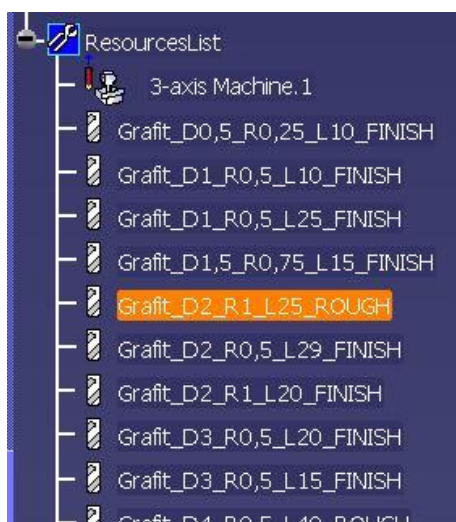
Několik prvních kroků při tvorbě technologie navrženým řešením je tedy totožných se současným stavem, těmi jsou:

- Založení souboru typu „Process“ (stránka 19)
- Vložení a vyplnění „Part Operation“ (stránka 19)

1. V dalším kroku je využito usnadnění pomocí katalogu nástrojů. Jelikož se využívá pouze omezený počet a to zejména kvůli velikosti zásobníku stroje je možné si všechny nástroje importovat do stromu pod položku „Resource List“, kde se ukrývá též vybraný obráběcí stroj. Při velkém počtu importovaných nástrojů by se strom mohl zdát velice nepřehledný.

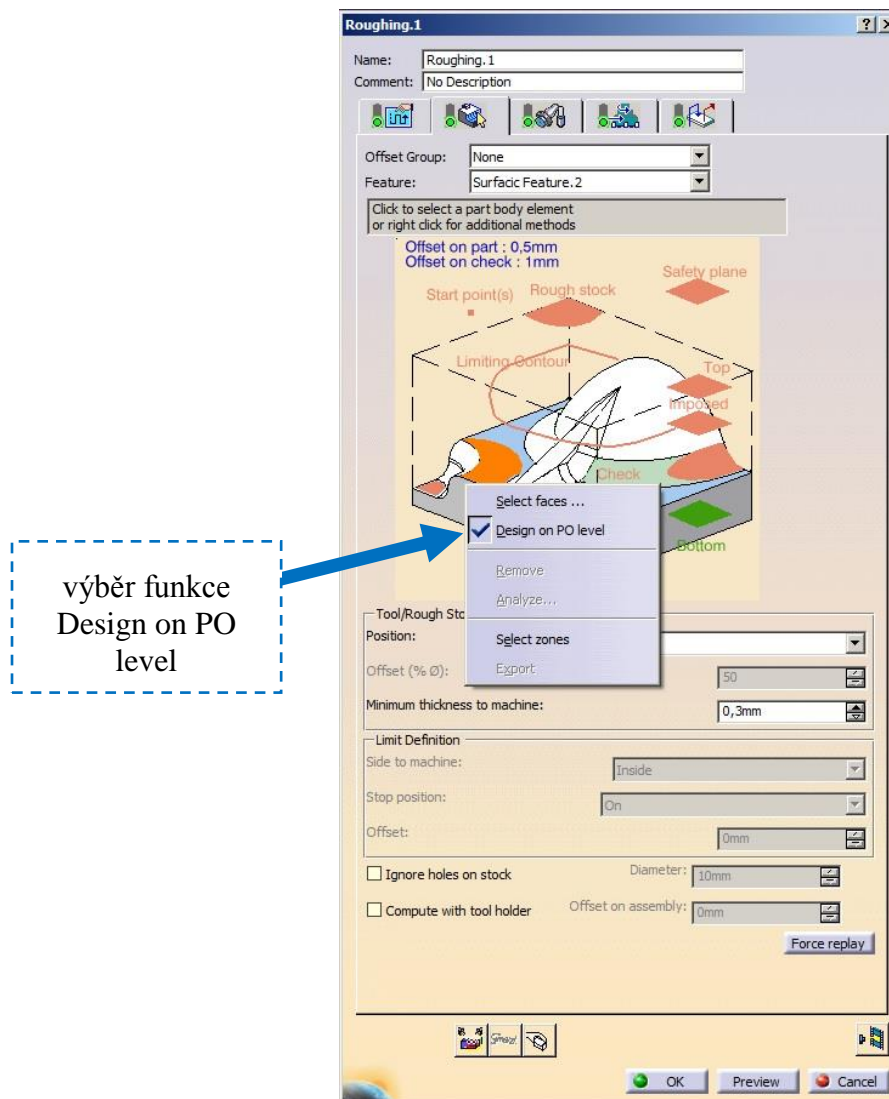


Obrázek 46 - import nástrojů



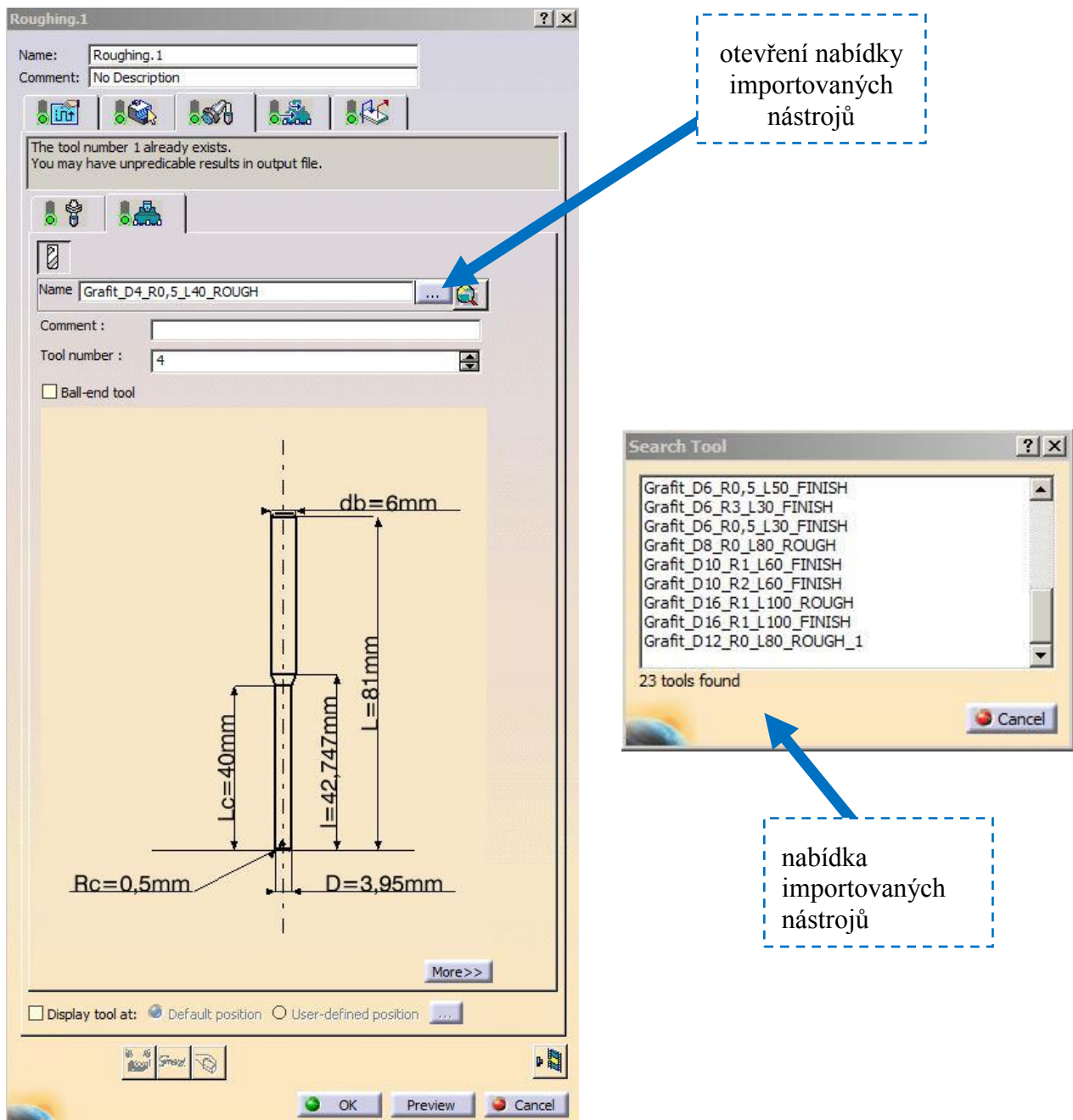
Obrázek 47 - naimportované nástroje ve stromě

2. Dalším krok, kterým je vložení je vložení položky „Manufacturing Program“ pod „Part Operation je též shodný s řešením současného stavu (stránka 19).
3. V dalším kroku jsou vkládány cykly pro obrábění. I zde je postup shodný se současným stavem až na použití obecných možností usnadnění, které jsou popsány na straně (31). Jejich aplikace v navrženém řešení je popsána níže.
 - První změnou je usnadnění výběru geometrie. Pomocí funkce „Design on PO level“ není nutné vybírat součást či plochy geometrie. Při použití této funkce je do cyklu pro výpočet drah automaticky vybrána geometrie, která byla již vybrána do „Part Operation“. Předpokladem pro použití této funkce je jednoduchost obráběného tvaru, která umožní vybrat celý tvar. Aplikace se provádí přímo na kartě cyklu pro volbu geometrie. V kontextové nabídce při výběru součásti „Part“ je navolena možnost již zmíněné funkce (Obrázek 48 - aplikace Design on PO level).



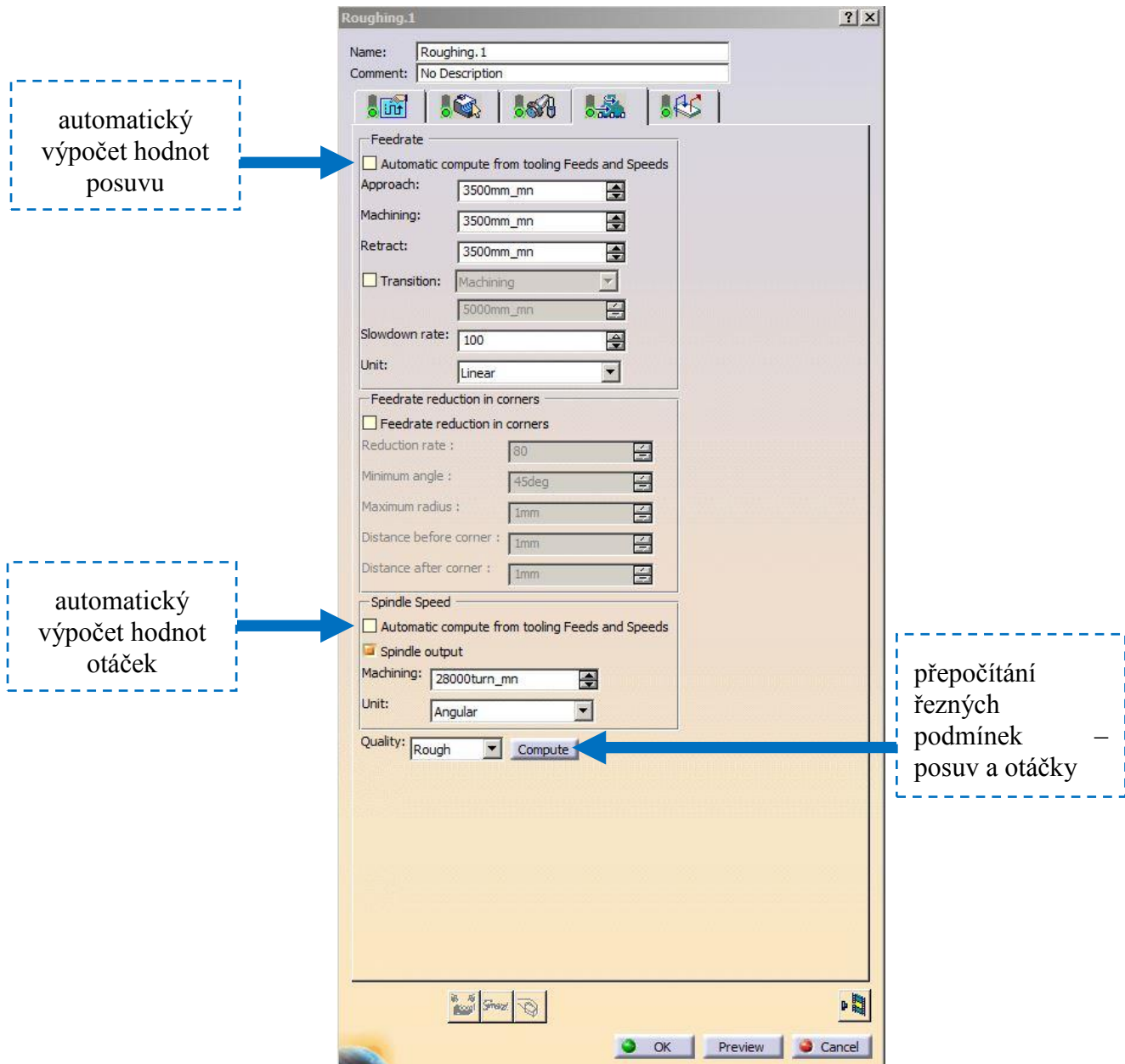
Obrázek 48 - aplikace Design on PO level

- Další změnou je výběr nástroje a nastavení řezných podmínek. K tomu je využito připraveného katalogu nástrojů. V katalogu jsou definované jak rozměry nástrojů, tak i řezné podmínky pro dané nástroje. Jelikož lze použít malý počet nástrojů, bude využito naimportování nástrojů do stromu. Následně je výběr nástrojů zjednodušen, postup je vyobrazen na obrázcích níže.



Obrázek 49 -výběr nástroje z naimportovaného seznamu

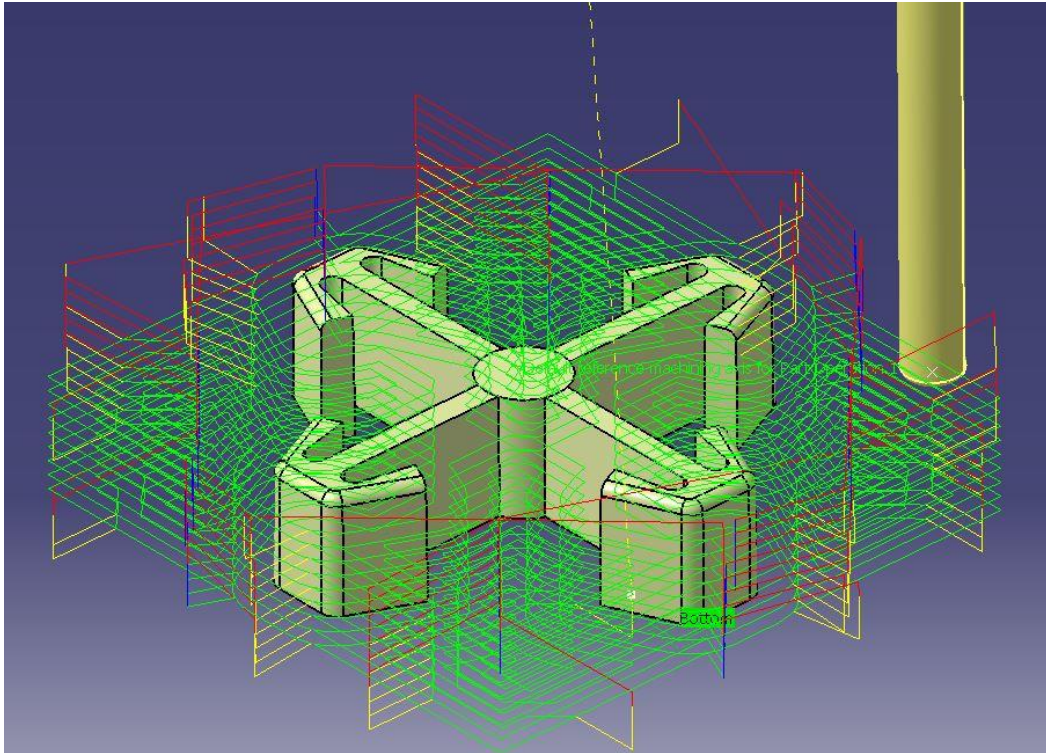
Další využití katalogu je při nastavování řezných podmínek nástrojů, posuvů a otáček. Pokud jsou přiřazeny k nástrojům v použitém katalogu, lze použít automatický výpočet otáček a posuvu pro obrábění. Buď je ponechána permanentně vybraná volba „Automatic compute“ nebo lze přepočítat hodnoty posuvů výběrem „Compute“.



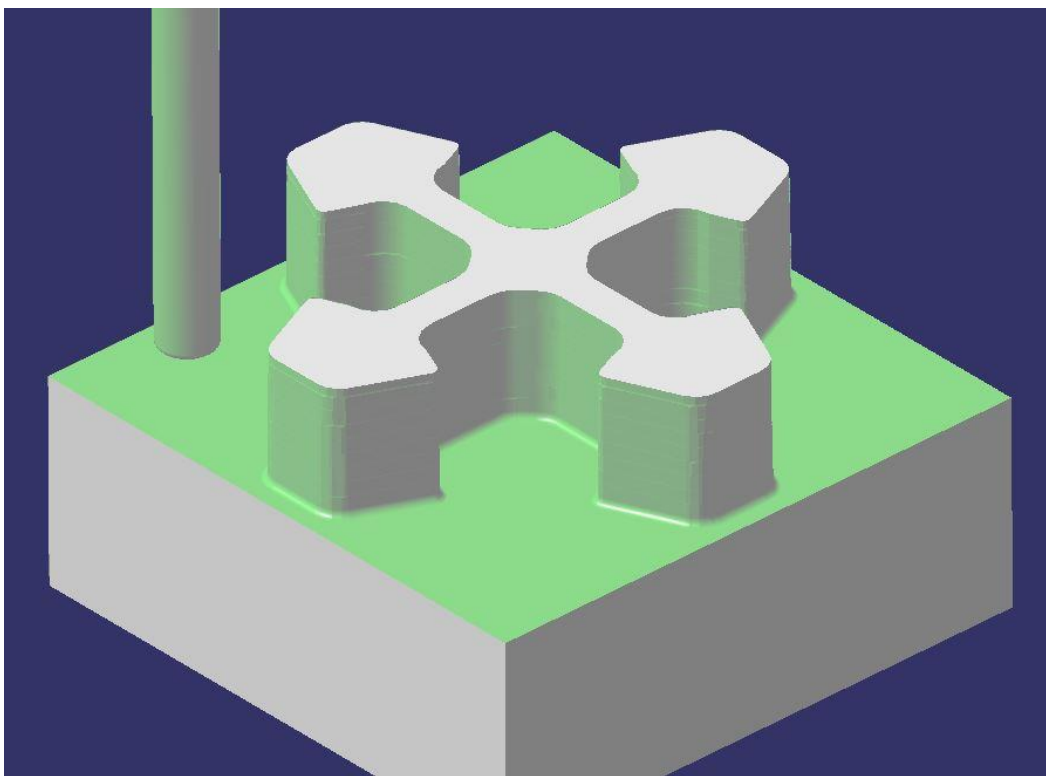
Obrázek 50 - nastavení řezných podmínek

Na záložce cyklu s volbou nájezdů je možné stejně jako u nástrojů vybírat z vytvořeného katalogu.

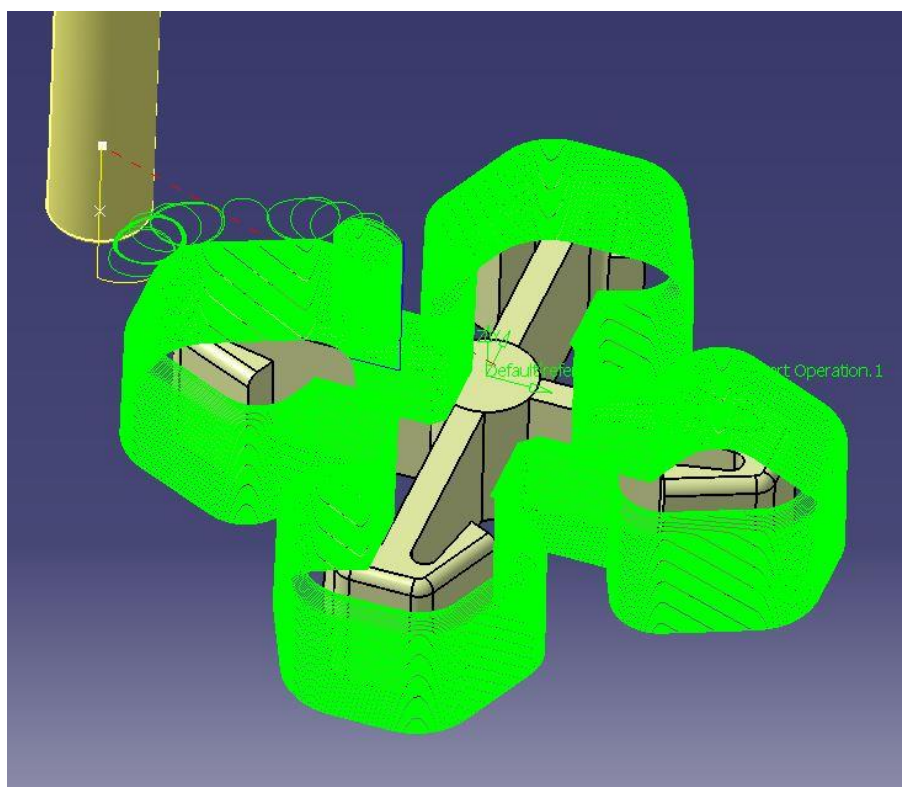
Na následujících obrázcích jsou vyobrazeny dráhy nástrojů a výsledky po jednotlivých fázích obrábění.



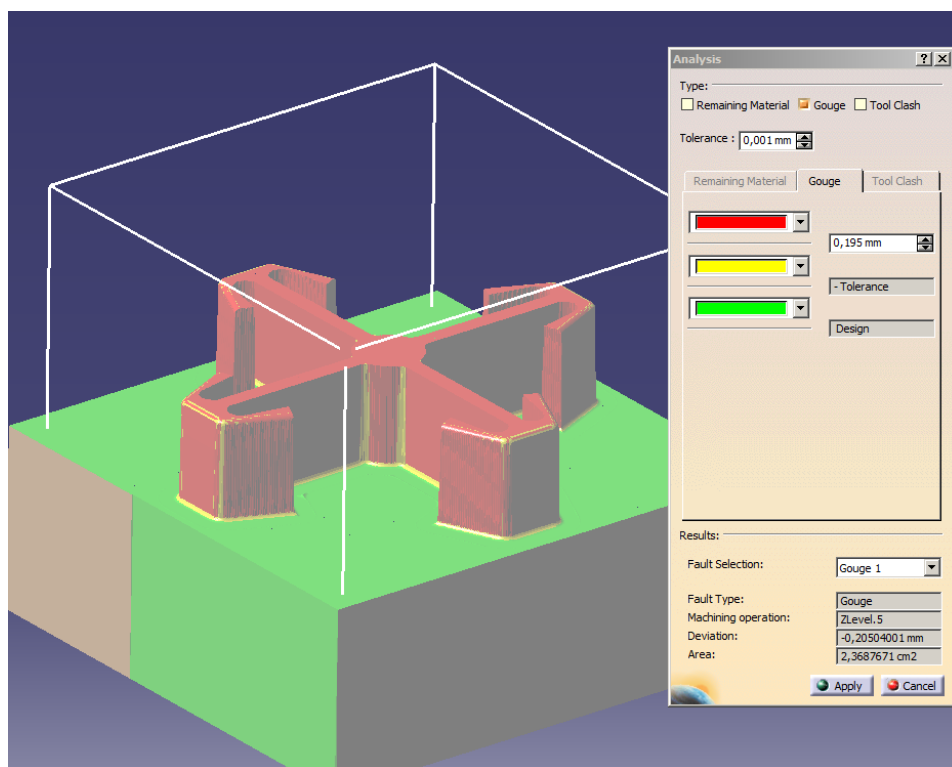
Obrázek 51 - ukázka drah pro hrubovací cyklus



Obrázek 52 - ukázka stavu po hrubovacím cyklu

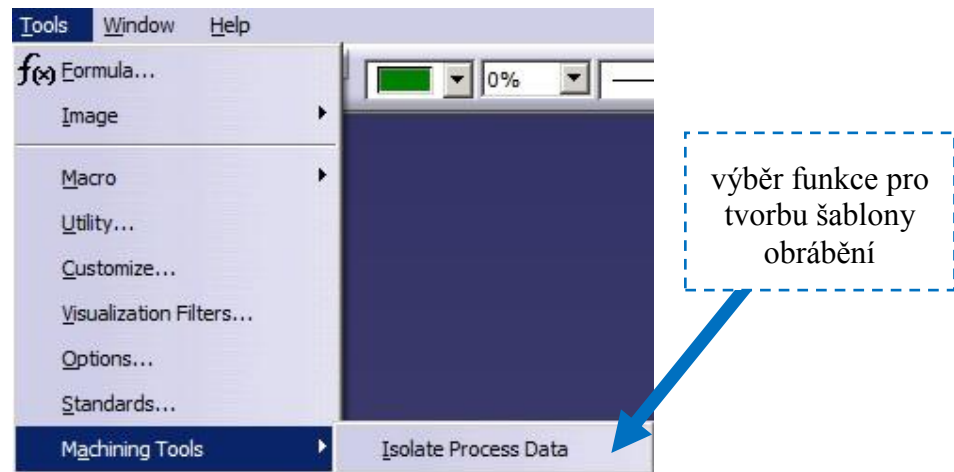


Obrázek 53 - ukázka drah dokončovacích cyklů



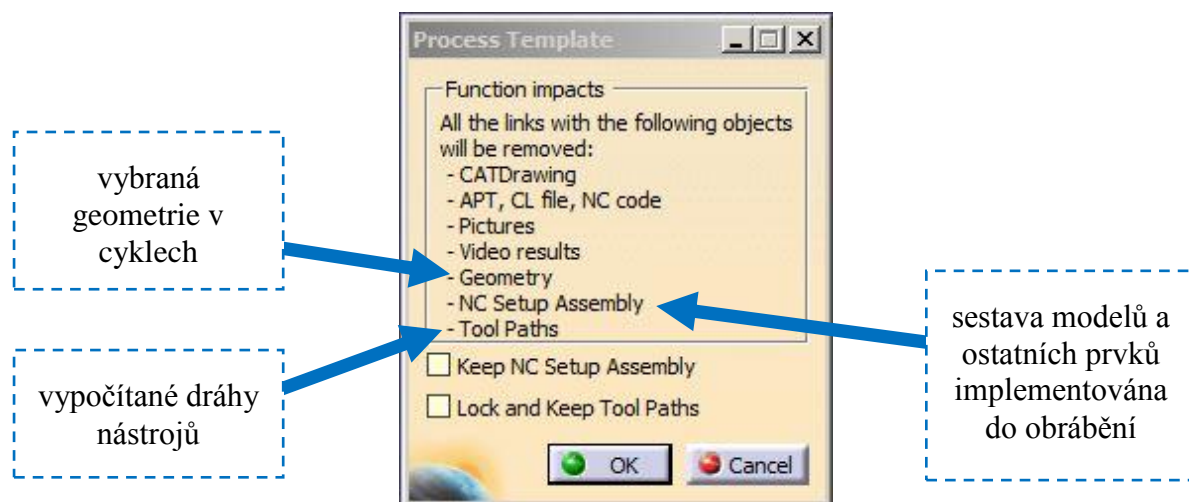
Obrázek 54 - Photo rozměrová analýza s barevným rozlišením

- V následujícím kroku bude za pomoci funkce „Isolate Process Data“ provedena úprava obrábění. Dojde k odstranění dat o modelu či sestavě obráběného tvaru, tedy elektrody a k odstranění vypočtených dat. Funkce „Isolate Process Data“ pro odstranění vazeb a geometrie z cyklů pro obrábění se nachází defaultně pod položkou „Machining Tools“. To je možné najít po rozevření nabídky položky „Tools“ na hlavní liště (Obrázek 55).



Obrázek 55 - volba funkce Isolate Process Data

Po výběru této funkce je zobrazeno okno s názvem „Process Template“ tedy v přímém překladu „šablona procesu“ (Obrázek 56).



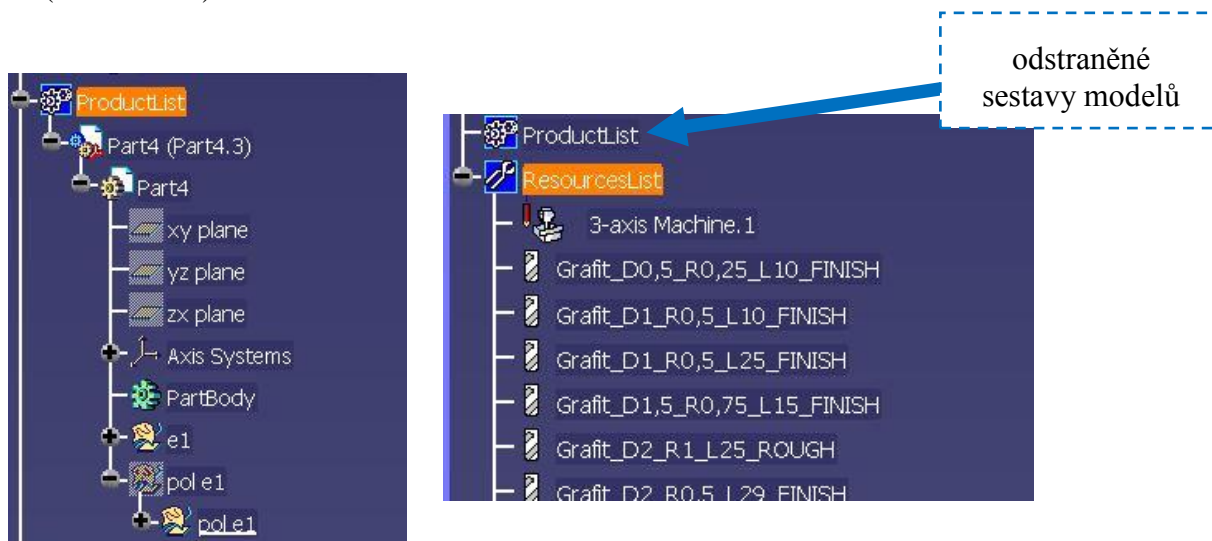
Obrázek 56 - okno funkce Process Template

Hlavním požadavkem při této tvorbě šablony technologie obrábění je odstranění:

- NC Setup Assembly – sestavy obsahující modely elektrod a jejich polotovarů
- Geometry - Navolená geometrie v cyklech, která bude též s novými modely odlišná
- Tool Paths - Odstranění vypočítaných drah nástrojů v cyklech

Pro požadovaný výsledek je nastavení funkce ponecháno v původním znění a může být potvrzena.

- Po provedení této operace, jsou změny znatelné již ve stromě, těmi jsou:
 - vyprázdněná položka „Product List“ ve stromě. Pod touto položkou se nalézaly sestavy modelů s elektrodami a jejich polotovary, případně dalšími prvky (Obrázek 57).



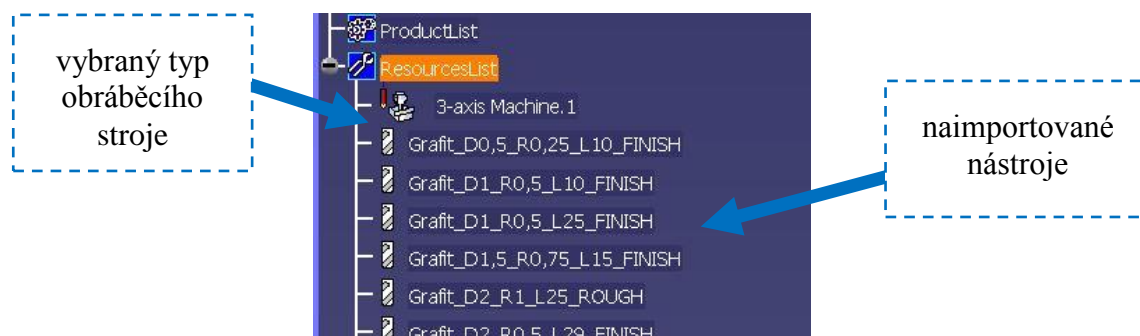
Obrázek 57 - Product List ve stromě před a po použití funkce pro vytvoření šablony

- U všech obráběcích cyklů byly odstraněny vypočítané dráhy nástrojů (Obrázek 58).



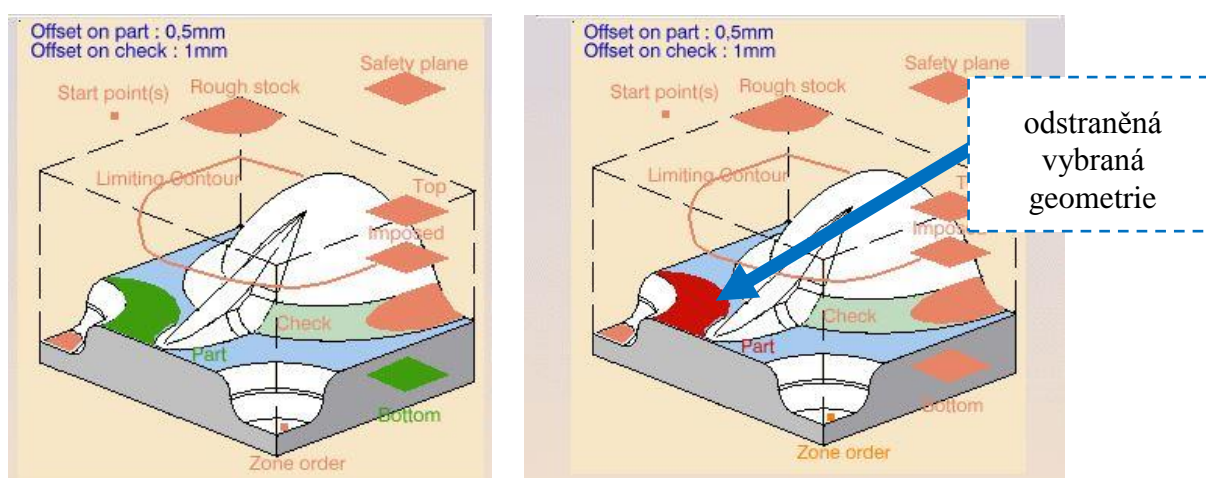
Obrázek 58 - Odstranění vypočítaných drah u cyklů po aplikaci funkce pro tvorbu šablony

- V položce „Resources List“ zůstaly zachovány naimportované nástroje a vybraný typ obráběcího stroje (Obrázek 59).



Obrázek 59 - Resources List

- Další viditelné změny lze nalézt v obráběcích cyklech na kartě pro výběr geometrie. Všechny navolené položky byly odstraněny (Obrázek 60).



Obrázek 60 - Odstranění vybrané geometrie u cyklů po aplikaci funkce pro tvorbu šablon

- Na ostatních záložkách byly všechny parametry zachovány, což bylo cílem tvorby šablony obrábění. Zůstaly tedy zachovány:
 - Parametry určené pro strategii obrábění řezné parametry
 - Navolené nástroje u všech cyklů
 - Nastavení řezných podmínek u nástrojů
 - Definované nájezdy nástrojů
- Nyní lze takto vytvořenou šablonu obrábění použít pro tvorbu technologie obrábění pro jiný, obdobný tvar elektrody. Před použitím je vhodné takto upravený soubor uložit.

6.2 Obecná aplikace šablony technologie obrábění pro grafitové elektrody

Pro tvorbu programu pro obrábění elektrody podobného tvaru je využito šablony vytvořené v předešlém kroku. Lze využít buď to celý vytvořený soubor typu „Process“ nebo pouze požadovaný vykopírovaný „Part Operation“, který bude následně vložen do jiného souboru. Pro vytvoření technologie obrábění je nyní potřeba nastavit a vyplnit správně „Part Operation“ a následně provést úpravy v jednotlivých cyklech.

6.2.1.1 Nastavení Part Operation

V položce „Part Operation“ je opět nutné definovat položky nezbytné pro správnou funkčnost následujících kroků. Těmi jsou:

- Import sestavy obsahující model elektrody
- Výběr osového kříže s definováním jeho orientace
- Výběr obráběného modelu a polotovaru
- Případná definice a nastavení bezpečné roviny

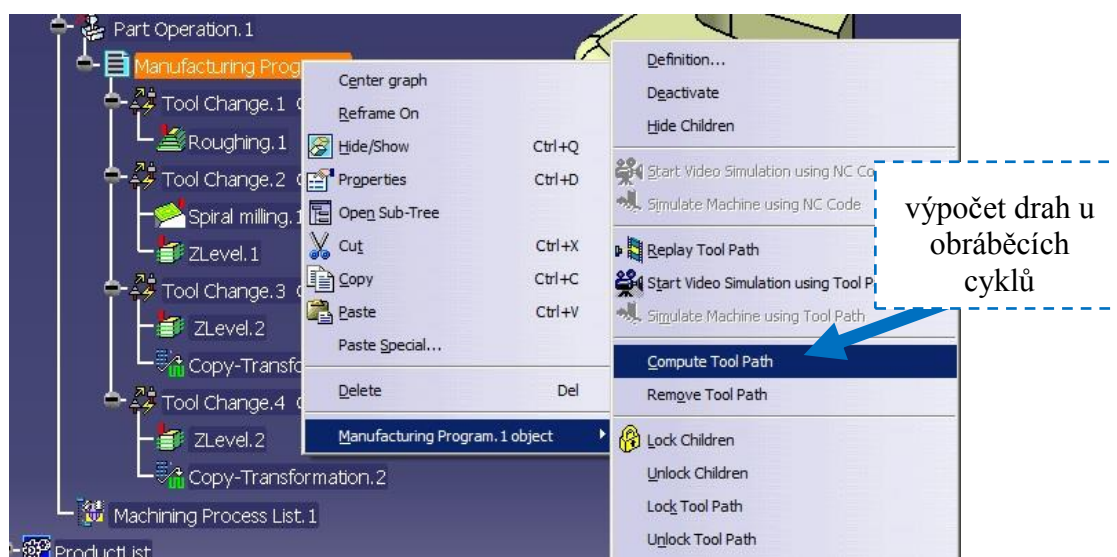
Při použití vzoru odpadá nastavení obráběcího stroje a případně i dalších parametrů, pokud byly měněny jejich defaultní hodnoty. Tato položka a změněné parametry zůstaly při tvorbě vzoru zachovány. Položky v „Part Operation“ jsou popsány na straně (20).

6.2.1.2 Nastavení jednotlivých cyklů obrábění

V následující etapě tvorby technologie obrábění je předpokladem podobnost tvarů a rozměrů elektrody. Tento předpoklad umožní ponechat a použít stejnou strukturu programu. To znamená:

- Použití stejných obráběcích cyklů ve stejném pořadí
- Použití stejných nástrojů

Při splnění těchto podmínek podobností je možné přejít přímo k nastavení obráběcích cyklů. Nyní jedinou změnou, která se musí před výpočtem drah nástrojů provést, je výběr obráběné geometrie. U všech z řešených tvarů elektrod je pro každý cyklus možné vybrat jako obráběné plochy „Part“ celou součást. Lze tedy využít funkce pro automatický výběr součásti z „Part Operation“. Toho je docíleno tak, jak je popsáno na straně (27), zaškrtnutím „PO level“ v kontextové nabídce položky „Part“. Jelikož tomu takto při tvorbě šablony obrábění bylo, odpadá nutnost výběru obráběných ploch. Plochy budou automaticky vytaženy z „Part Operation“. Na záložce pro výběr geometrie je dále nutné vybrat různá omezení například typu „TOP“, „BOTTOM“ a limitní kontury. Výběr geometrie v cyklech je popsán na straně (19). Pokud je u obráběcího cyklu takto učiněno, je možné pro něj spočítat a vytvořit dráhy. To lze provést komplexně pro všechny vybrané položky „Compute Tool Path“ v kontextové nabídce celého „Manufacturing Program“ (Obrázek 61).

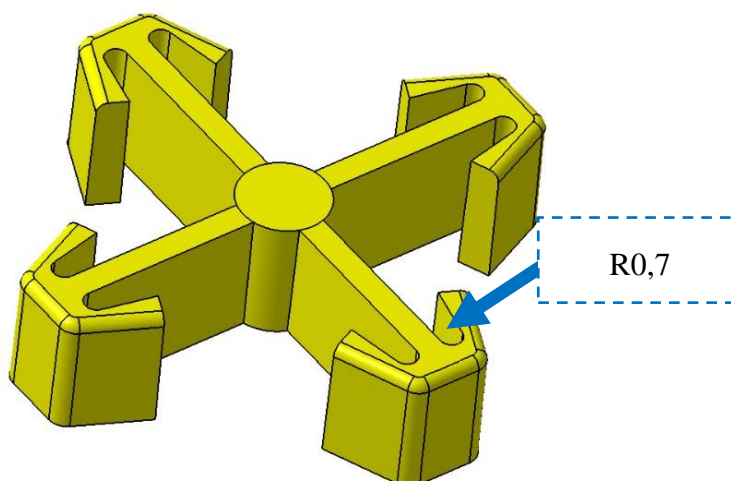


Obrázek 61 – komplexní výpočet drah u obráběcích cyklů

6.3 Aplikace šablon technologie obrábění pro vybrané elektrody

Jak již bylo zmíněno v kapitole výběru vhodného řešení na straně (35) tak technologie obrábění pro dva tvary vybraných grafitových elektrod je shodná. Jsou u nich použité stejné nástroje a stejný sled obráběcích cyklů. Lze tedy jednu vytvořenou šablonu využít nejen na další tvary elektrod stejného typu, jak bylo cílem, ale na všechny tyto další tvary elektrod. Pro další dvě je technologie též obdobná, ale musí být doplněna o další cykly nebo je u nich změněn nástroj. Tudíž pro aplikaci na sadu elektrod čtyř tvarů typových elektrod je nutné vytvořit pouze tři šablony. V následujícím textu je ukázaná aplikace šablon obrábění pro vybrané typové elektrody, které byly vytvořeny postupem, který je popsán na straně (37). Přípravná část, kterou je založení souboru a naplnění „Part Operation“, je u všech obráběných elektrod shodná. Tyto kroky byly popsány na straně (28) a již nebude v následujícím textu zmiňována.

6.3.1 Elektroda č.1

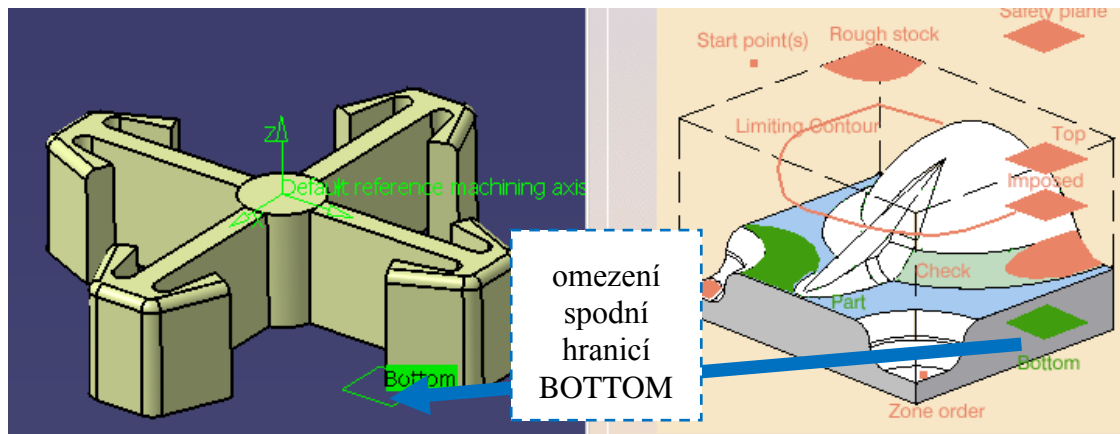


Obrázek 62 - tvar elektrody č.1

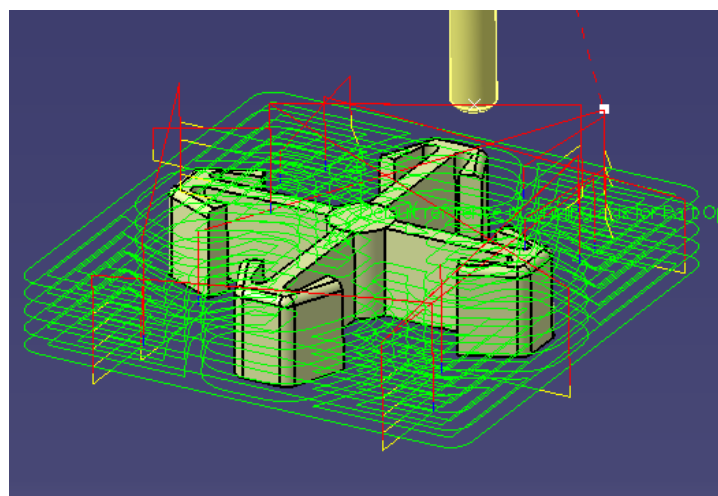


Obrázek 63 - sled cyklů obrábění elektrody č.1

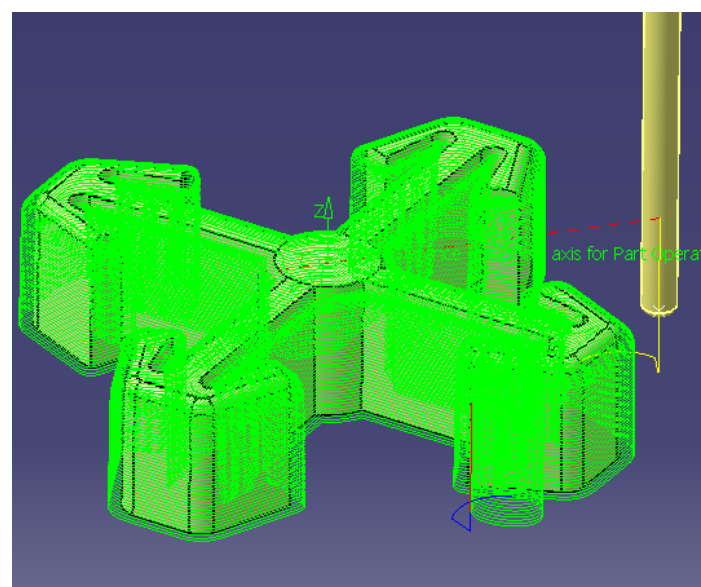
Při výběru geometrie pro výpočet drah pro hrubování a dokončení větší frézou je nutné vybrat pouze spodní hranici, tedy „BOTTOM“ (Obrázek 64 - výběr geometrie u elektrody č.1



Obrázek 64 - výběr geometrie u elektrody č.1



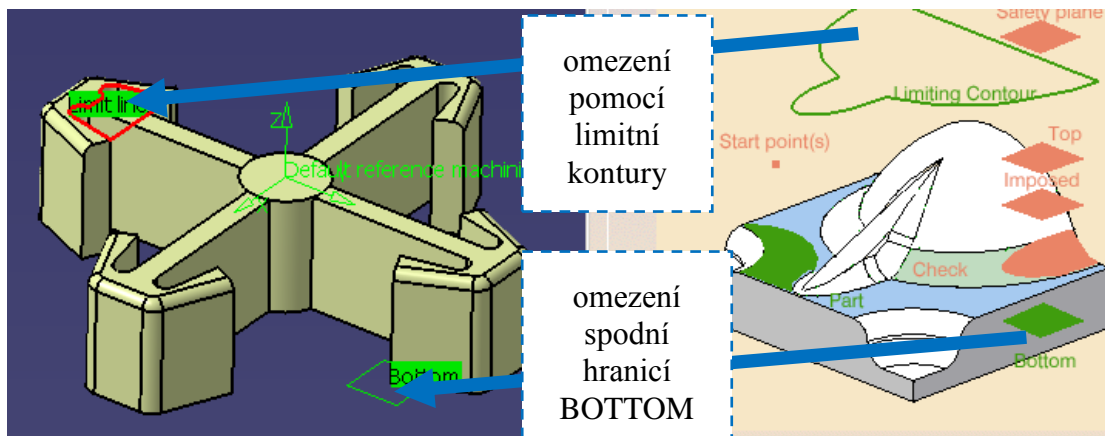
Obrázek 65 - vypočítané dráhy nástroje u elektrody č.1 pro hrubování



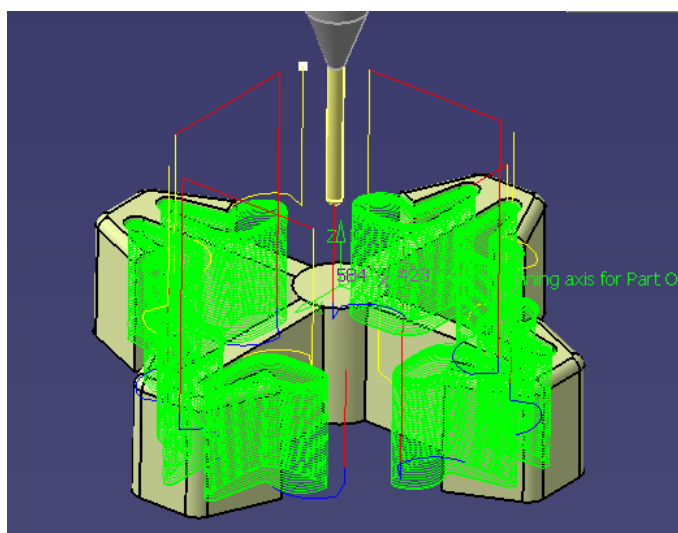
Obrázek 66 - vypočítané dráhy nástroje elektrody č.1 pro dokončení

U tohoto typu ze série vybraných elektrod je nutné použít na dofrézování menší nástroj, protože obsahuje rohový rádius o velikosti přibližně 0,7mm (Obrázek 62). Pro tuto potřebu je

vhodné omezit frézovanou oblast limitní konturou (Obrázek 67) a stejně jako v předchozích operacích definování spodní hranice.

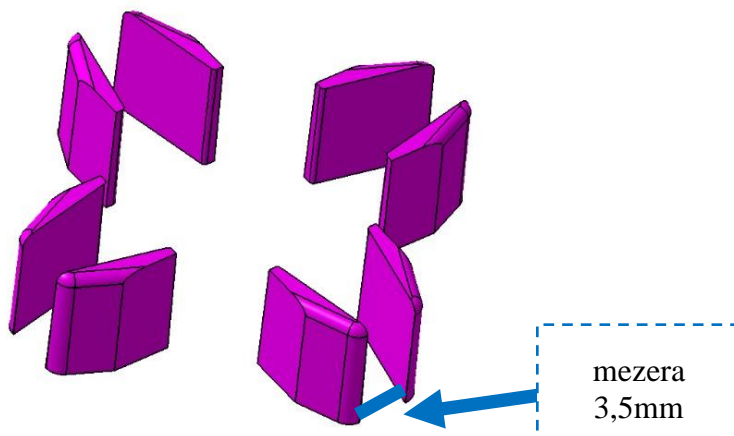


Obrázek 67 - výběr geometrie u elektrody č.1 pro dokončování

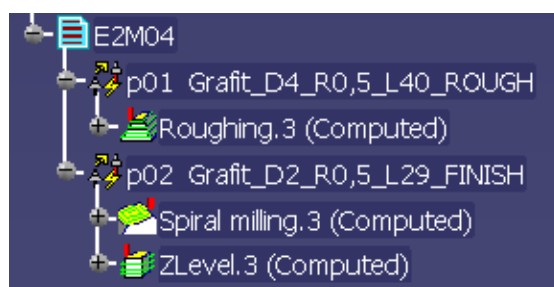


Obrázek 68 - vypočítané dráhy nástroje elektrody č.1 pro dokončení

6.3.2 Elektroda č.2

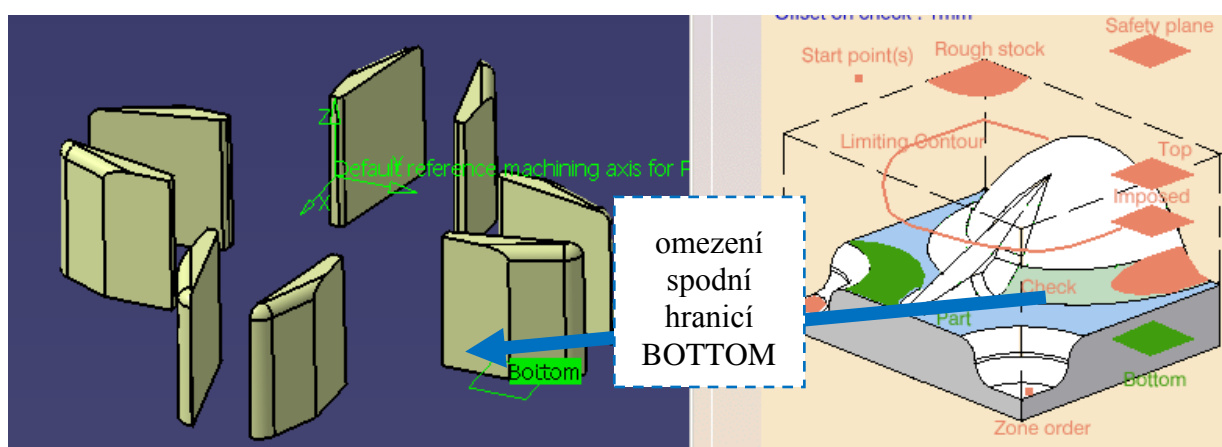


Obrázek 69 - tvar elektrody č.2

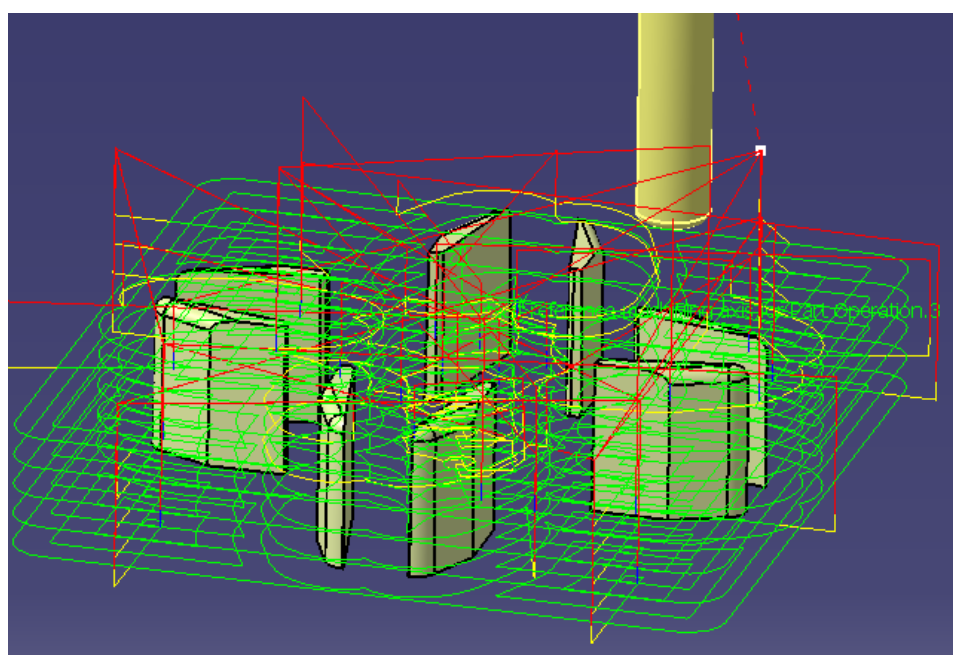


Obrázek 70 - sled cyklů obrábění elektrody č.2

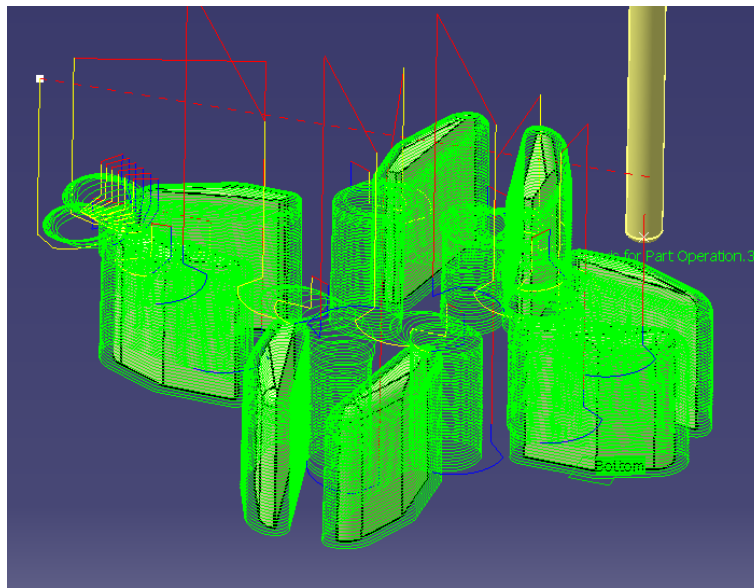
U tohoto typu elektrody je nutné použít pro dokončení frézu menšího průměru, protože nejužší frézované místo je šířky přibližně 3,5mm (Obrázek 69). Pro všechny operace stačí při použití šablony definovat spodní hranici.



Obrázek 71 - výběr geometrie u elektrody č.1

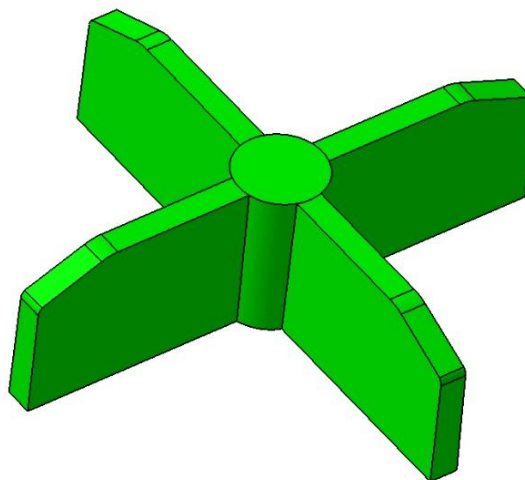


Obrázek 72 - vypočítané dráhy nástroje u elektrody č.2 pro hrubování

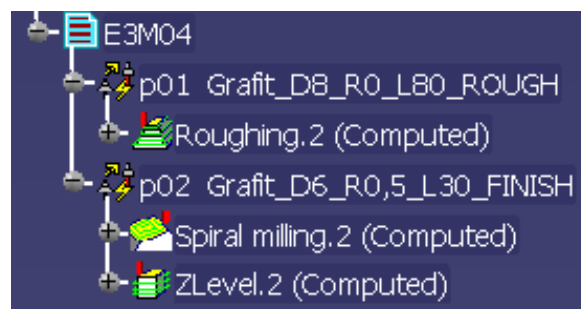


Obrázek 73 - vypočítané dráhy nástroje u elektrody č.2 pro dokončení

6.3.3 Elektroda č.3

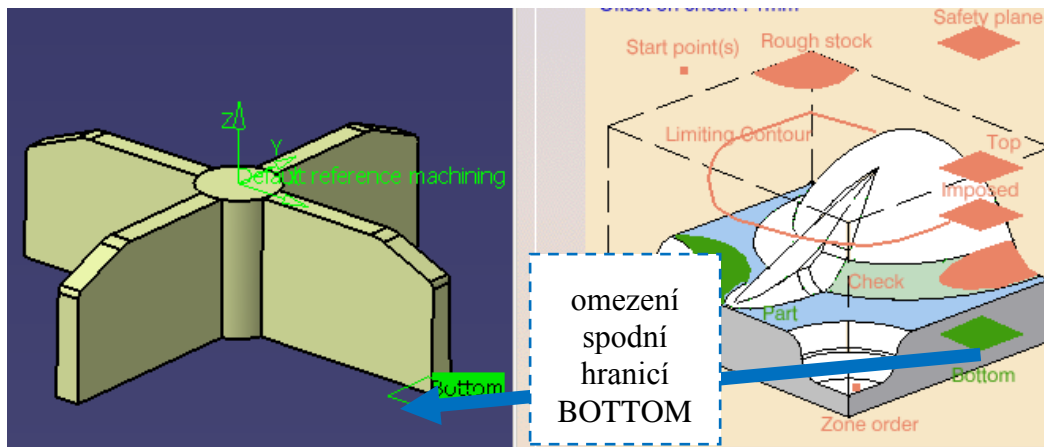


Obrázek 74 - tvar elektrody č.3

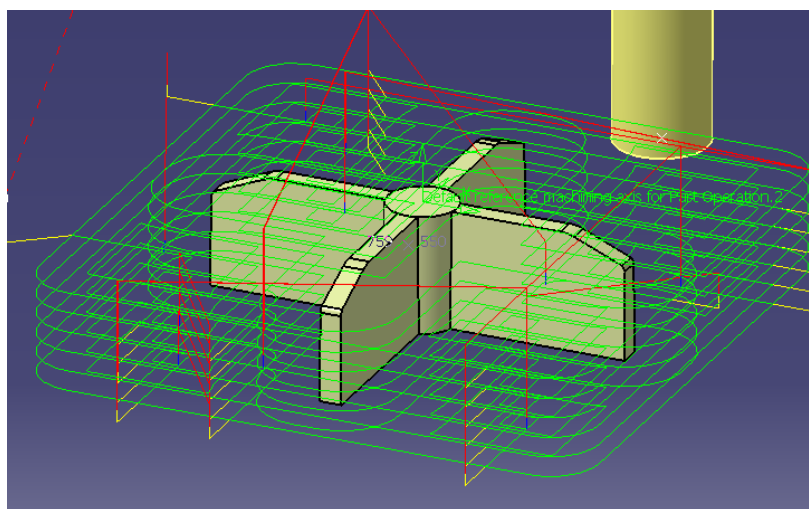


Obrázek 75 - sled cyklů obrábění elektrody č.3

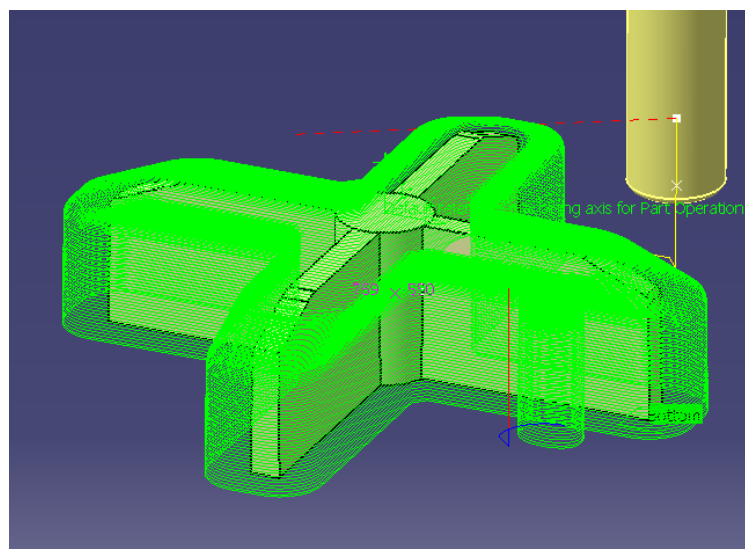
Pro všechny cykly je nutné při použití šablony definovat pouze spodní hranici „BOTTOM“.



Obrázek 76 - výběr geometrie u elektrody č.3

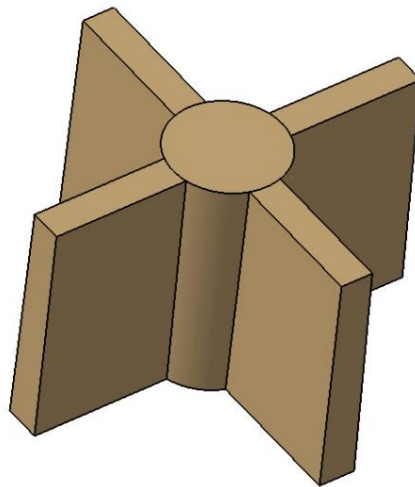


Obrázek 77 - vypočítané dráhy nástroje u elektrody č.3 pro hrubování

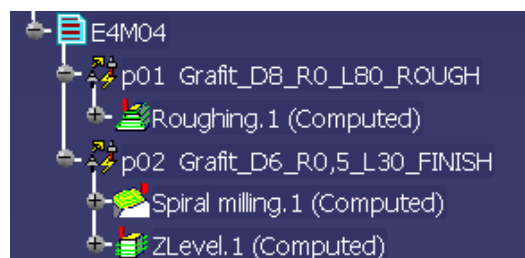


Obrázek 78 - vypočítané dráhy nástroje elektrody č.3 pro dokončení

6.3.4 Elektroda č.4

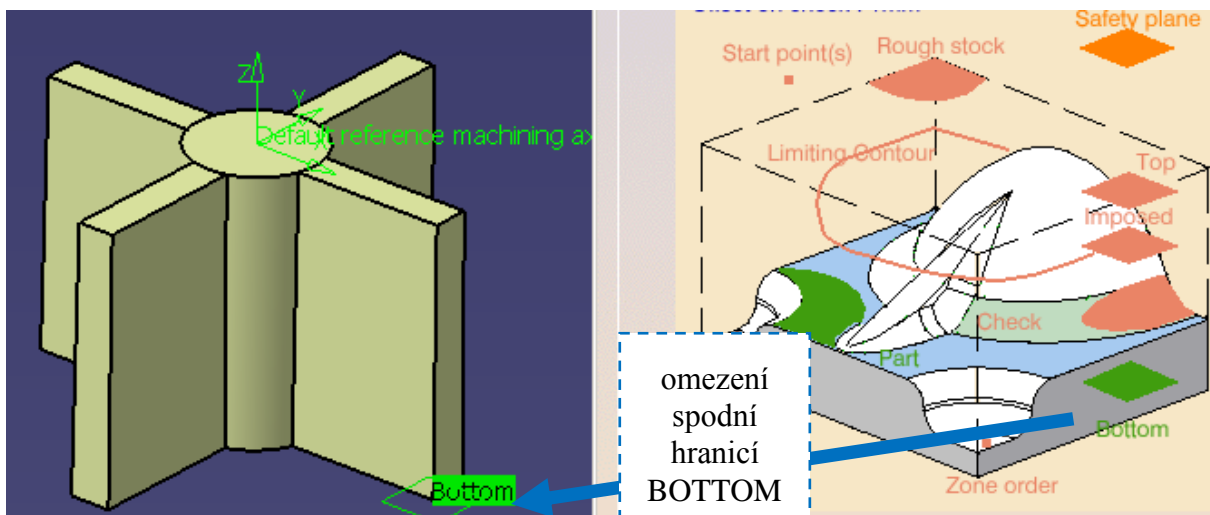


Obrázek 79 - tvar elektrody č.4

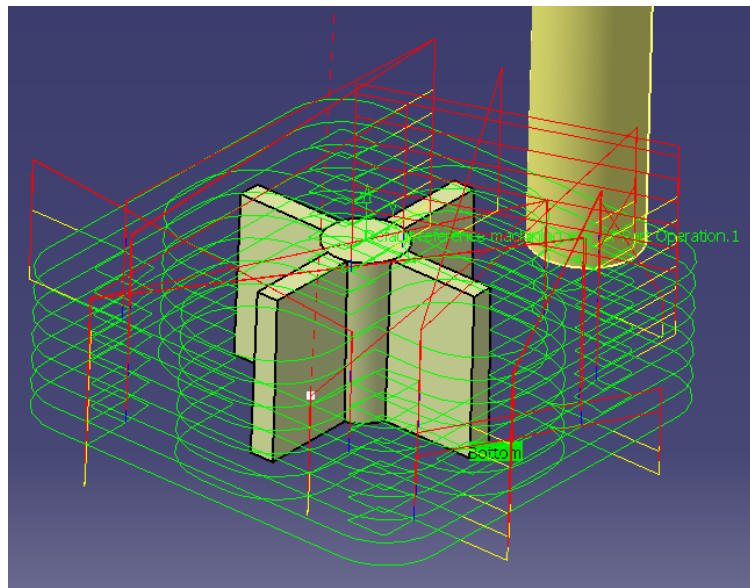


Obrázek 80 - sled cyklů obrábění elektrody č.4

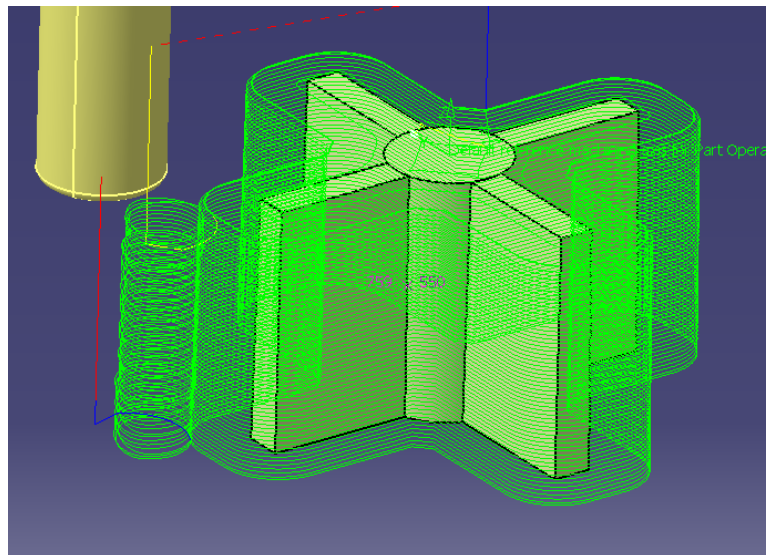
Pro typovou elektrodu jako je tvar č.4 je použita stejná šablona jako u tvaru č.3. Jako v předchozích případech je i zde nutné definovat pouze spodní hranici.



Obrázek 81 - výběr geometrie u elektrody č.4



Obrázek 82 - vypočítané dráhy nástroje u elektrody č.4 pro hrubování



Obrázek 83 - vypočítané dráhy nástroje elektrody č.4 pro dokončení

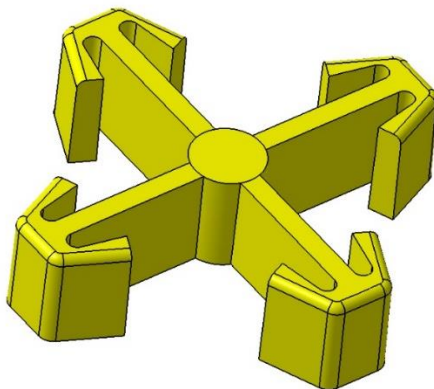
7 Hodnocení přínosů

Hlavním požadovaným přínosem, který lze očekávat je zkrácení času tvorby technologie obrábění typových tvarů grafitových elektrod pro elektroerozivní obrábění. Pro zjištění, zda tohoto přínosu bylo opravdu dosaženo, bylo vytvořeno přímé měření času programování. To je popsáno v následujícím textu. Čas programování závisí na více faktorech, jako jsou především zkušenosti a praxe programátora, tudíž lze tyto zjištěné hodnoty považovat spíše jako informativní. I tak, naměřené časy programování poslouží jako dobrý ukazatel změny stavu.

7.1 Srovnání času programování

Srovnání proběhlo za pomoci CAD/CAM programátora. Pro srovnání byly připraveny sestavy elektrod pro jiskření tvaru klipu (viz. kapitola Cíle na straně 12). Sestavy byly připraveny přímo pro tvorbu technologie obrábění. Jejich obsah tedy zahrnoval všechny důležité prvky jako modely, polotovary a nulové body. Pro programátora byly vytvořeny dvě varianty, druhá varianta byl model stejného typu elektrody mírně rozměrově odlišný od první, aby bylo nutné vytvořit pro součásti nové programy. Srovnání zahrnovalo následující postup:

- Programátor vytvořil program pro elektrodu dle postupu, který je popsán v kapitole Rozbor současného stavu na straně 19.
- Programátor vytvořil programy pro dvě sestavy elektrod s mírně odlišnými rozměry dle postupu v navrženém řešení. Nejprve vytvořil šablonu typového tvaru elektrody a následně použil vzor technologie obrábění pro druhou rozměrovou variantu.
- Elektroda č. 1

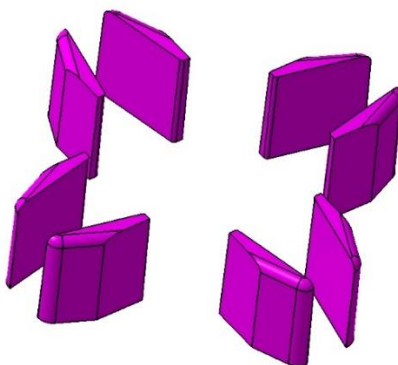


Obrázek 84 - tvar elektrody č.1

Tabulka 2 - měření časů pro tvorbu technologie obrábění pro elektrodu č.1

	Čas tvorby technologie obrábění
Programování od nuly (současný stav)	15 minut
Tvorba šablony	13 minut
Aplikace šablony obrábění	3 minuty

- Elektroda č. 2

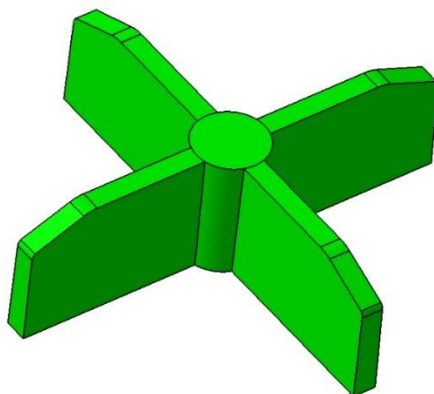


Obrázek 85 - tvar elektrody č.2

Tabulka 3 - měření časů pro tvorbu technologie obrábění pro elektrodu č.2

	Čas tvorby technologie obrábění
Programování od nuly (současný stav)	13 minut
Tvorba šablony	11 minut
Aplikace šablony obrábění	2 minuty

- Elektroda č. 3

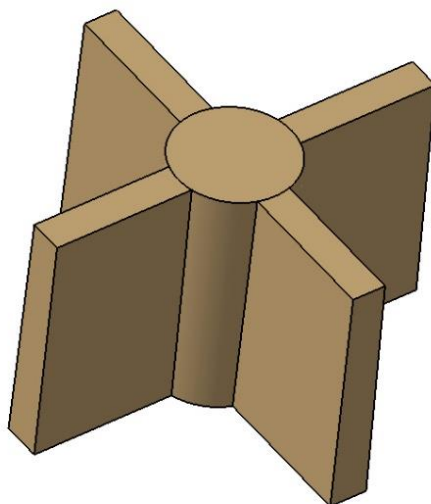


Obrázek 86 - tvar elektrody č.3

Tabulka 4 - měření časů pro tvorbu technologie obrábění pro elektrodu č.3

	Čas tvorby technologie obrábění
Programování od nuly (současný stav)	12 minut
Tvorba šablony	11 minut
Aplikace šablony obrábění	2 minuty

– Elektroda č. 4



Obrázek 87 - tvar elektrody č.4

Tabulka 5 - měření časů pro tvorbu technologie obrábění pro elektrodu č.4

	Čas tvorby technologie obrábění
Programování od nuly (současný stav)	13 minut
Tvorba šablony	0 minut (je použita stejná šablona jako u typové elektrody č.3)
Aplikace šablony obrábění	2 minuty

Jak lze vidět z hodnot, tak u každého vybraného tvaru se zlepšil výrazně čas při tvorbě technologie navrženým řešením. Čas se snížil i u programování prvního tvaru typové elektrody, kde byly oproti současnému stavu využity vytvořené katalogy nástrojů. U programování obrábění dalšího tvaru stejného typu elektrody byl čas v porovnání s předchozím postupem téměř zanedbatelný. Při programování pomocí šablon se dá počítat i se snížením chybovosti, která by mohla vznikat při rutinním zadávání parametrů pro obrábění.

Z naměřených časových údajů vychází výrazné zlepšení času při tvorbě technologie obrábění při použití šablon pro obrábění. Pro sadu vybraných čtyř elektrod pro jiskření tvaru klipu do formy se docílilo výrazného zlepšení z původní hodnoty 53 minut na 9 minut (hodnota navrženého řešení je při zanedbání času tvorby šablony, která byla použita jako program a její časová hodnota je obdobná se současným stavem). Procentuálně lze vyjádřit, že došlo ke snížení času tvorby technologie obrábění o více než 80%.

Typizací jednoduchých tvarů elektrod, dle sledu použitých cyklů a nástrojů lze pomocí navrženého řešení, tedy pomocí šablon pro obrábění, dosáhnout výrazného ušetření.

Například (časové údaje vychází z řešených tvarů elektrod) :

Průměrná časová hodnota při tvorbě technologie stylem „programování od nuly“.

13 minut

Průměrná časová hodnota při tvorbě technologie pomocí šablony (při zanedbání času tvorby šablony).

2 minuty

Při tvorbě technologie průměrně pěti elektrod každý den při dvousměnném provozu vychází čas pro tvorbu technologie obrábění „programování od nuly“ na 1300 minut za měsíc (20 pracovních dní).

Při tvorbě stejného počtu elektrod pomocí technologie šablon je časová hodnota 200 minut za stejné období.

Průměrná hodinová sazba za CAD/CAM programátora činí 1500 Kč. Původním řešením by tvorba programů pro obrábění elektrod zabrala programátorovi přibližně 21 hodin za měsíc. Navrženým řešením přibližně 3 hodiny. Při tvorbě technologie obrábění pro grafitové elektrody, je možné ušetřit potencionálně přibližně 27000 Kč měsíčně.

8 Závěr

Hlavním cílem práce bylo optimalizovat respektive zkrátit čas tvorby technologie obrábění u typových tvarů grafitových elektrod pro elektroerozivní obrábění. V úvodu práce byl představen současný postup jak tvorby technologie pro obrábění tak seznámení s celým procesem výroby grafitových elektrod. Bylo zjištěno, několik netaktických kroků při tvorbě programů pro podobné tvary elektrod pro jiskření tvaru klipu ve formě pro vstřikování plastů. Především opakování rutinních kroků, které by bylo možné při práci eliminovat. V další části byla navržena řešení optimalizace a několik dalších obecných možností integrovaných v softwaru CATIA V5, které usnadňují práci při programování. Z navržených řešení bylo následně jedno vybráno na základě vhodnosti pro danou problematiku. Vybrané řešení, kterým se stala tvorba technologie za pomoci šablon obrábění, bylo obecně představeno a následně aplikováno na vybrané tvary typových elektrod. V závěru bylo provedeno srovnání navrženého řešení a současného stavu z hlediska času. Tím byla zjištěna možnost velké úspory času při aplikování tvorby technologie navrženým řešením, tedy programování pomocí šablon obrábění. Zjištěné hodnoty mají však spíše informativního rázu, protože závisí na více aspektech. Těmi mohou být například složitost tvarů elektrod, či v neposlední řadě zkušenosti a praxe pracovníka.

Seznam použitých zdrojů

- [1] Poco: EDM Technical Manual [online]. Copyright © [cit. 18.05.2018]. Dostupné z: <http://www.edmtechman.com/library/EDM-104612-1113-CZ-A4.pdf>
- [2] TechPark.sk : Co je to obrábění EDM . : TechPark.sk : [online]. Copyright © 2008 [cit. 18.05.2018]. Dostupné z: <http://www.techpark.sk/technika-32010/co-je-to-obrabeni-edm-.html>
- [3] CATIADOC - La documentation et le manuel de Catia V5. CATIADOC - La documentation et le manuel de Catia V5 [online]. Copyright © Dassault Syst [cit. 18.05.2018]. Dostupné z: <http://catiadoc.free.fr/>
- [4] PeHToo :: Pure High Technology. :: PeHToo :: Pure High Technology [online]. Copyright © 2010. PeHToo a.s. All rights reserved [cit. 18.05.2018]. Dostupné z: <http://www.pehtoo.com/>

Seznam obrázků

Obrázek 1 - Plastový výlisek.....	12
Obrázek 2 - řez tvaru klipu ve formě	13
Obrázek 3 - vložka formy pro jiskření tvaru klipu.....	13
Obrázek 4 - elektroda č.1 - znázornění na tvaru formy.....	14
Obrázek 5 - elektroda č.1 - tvar modelu elektrody.....	14
Obrázek 6 - elektroda č.2 - znázornění na tvaru formy.....	14
Obrázek 7 - elektroda č.2 - tvar modelu elektrody.....	14
Obrázek 8 - elektroda č.3 - znázornění na tvaru formy.....	15
Obrázek 9 - elektroda č.3 - tvar modelu elektrody.....	15
Obrázek 10 - elektroda č.4 - znázornění na tvaru formy.....	15
Obrázek 11 - elektroda č.4 - tvar modelu elektrody.....	15
Obrázek 12 - upínání grafitových elektrod - systém 3R	16
Obrázek 13 - vymodelovaná elektroda se základními prvky	17
Obrázek 14 - příklad vyobrazení vypočítaných drah při tvorbě programu	17
Obrázek 15 - schématické znázornění frézování grafitových elektrod	18
Obrázek 16 - schématické znázornění metrologické kontroly na 3D měřícím přístroji	18
Obrázek 17 - výběr nového souboru typu Process.....	19
Obrázek 18 - výběr modulu pro obrábění tvarových ploch	19
Obrázek 19 - paleta nástrojů obsahující Part Operation.....	20
Obrázek 20 - Part Operation - popis položek.....	20

Obrázek 21 - definice obráběcího stroje	21
Obrázek 22 - import sestavy modelů.....	21
Obrázek 23 - definice osového kříže.....	22
Obrázek 24 - výběr geometrie v Part Operation	22
Obrázek 25 - vyplněný Part Operation.....	23
Obrázek 26 - paleta nástrojů obsahující Manufacturing Program.....	23
Obrázek 27 - paleta nástrojů obsahující cykly pro obrábění	24
Obrázek 28 - záložky cyklů pro obrábění	24
Obrázek 29 - definice geometrie v cyklech.....	25
Obrázek 30 - definice nástroje	26
Obrázek 31 - okno funkce Process Template.....	28
Obrázek 32 - strom obrábění - před a po použití funkce pro vytvoření šablony.....	29
Obrázek 33 - paleta nástrojů obsahující obráběcí cykly	30
Obrázek 34 - paleta nástrojů Machining Features - Machining Area	30
Obrázek 35 - paleta nástrojů Machining Features - Rework Area.....	31
Obrázek 36 - frézovací nástroj se základními rozměry.....	31
Obrázek 37 - nastavení řezných podmínek	32
Obrázek 38 - definice nástrojového upínače	33
Obrázek 39 - paleta nástrojů s možností importu nástrojů.....	33
Obrázek 40 - volba importovaného nástroje	34
Obrázek 41 - Design on PO level.....	34
Obrázek 42 - výběr geometrie u vybraných elektrod.....	35
Obrázek 43 - struktura programu u většiny z vybraných elektrod.....	35
Obrázek 44 - doplňující výběr u elektrody č.1	36
Obrázek 45 - struktura programu pro obrábění elektrody č.1	36
Obrázek 46 - import nástrojů	37
Obrázek 47 - naimportované nástroje ve stromě.....	37
Obrázek 48 - aplikace Design on PO level	38
Obrázek 49 -výběr nástroje z naimportovaného seznamu	39
Obrázek 50 - nastavení řezných podmínek	40
Obrázek 51 - ukázka drah pro hrubovací cyklus.....	41
Obrázek 52 - ukázka stavu po hrubovacím cyklu	41
Obrázek 53 - ukázka drah dokončovacích cyklů	42
Obrázek 54 - Photo rozměrová analýza s barevným rozlišením.....	42

Obrázek 55 - volba funkce Isolate Process Data.....	43
Obrázek 56 - okno funkce Process Template.....	43
Obrázek 57 - Product List ve stromě před s po použití funkce pro vytvoření šablony.....	44
Obrázek 58 - Odstranění vypočítaných drah u cyklů po aplikaci funkce pro tvorbu šablony .	44
Obrázek 59 - Resources List	45
Obrázek 60 - Odstranění vybrané geometrie u cyklů po aplikaci funkce pro tvorbu šablon...	45
Obrázek 61 – komplexní výpočet drah u obráběcích cyklů	46
Obrázek 62 - tvar elektrody č.1	47
Obrázek 63 - sled cyklů obrábění elektrody č.1	47
Obrázek 64 - výběr geometrie u elektrody č.1	48
Obrázek 65 - vypočítané dráhy nástroje u elektrody č.1 pro hrubování	48
Obrázek 66 - vypočítané dráhy nástroje elektrody č.1 pro dokončení.....	48
Obrázek 67 - výběr geometrie u elektrody č.1 pro dokončování	49
Obrázek 68 - vypočítané dráhy nástroje elektrody č.1 pro dokončení.....	49
Obrázek 69 - tvar elektrody č.2.....	49
Obrázek 70 - sled cyklů obrábění elektrody č.2.....	50
Obrázek 71 - výběr geometrie u elektrody č.1	50
Obrázek 72 - vypočítané dráhy nástroje u elektrody č.2 pro hrubování	50
Obrázek 73 - vypočítané dráhy nástroje u elektrody č.2 pro dokončení.....	51
Obrázek 74 - tvar elektrody č.3	51
Obrázek 75 - sled cyklů obrábění elektrody č.3.....	51
Obrázek 76 - výběr geometrie u elektrody č.3	52
Obrázek 77 - vypočítané dráhy nástroje u elektrody č.3 pro hrubování	52
Obrázek 78 - vypočítané dráhy nástroje elektrody č.3 pro dokončení.....	52
Obrázek 79 - tvar elektrody č.4.....	53
Obrázek 80 - sled cyklů obrábění elektrody č.4.....	53
Obrázek 81 - výběr geometrie u elektrody č.4	53
Obrázek 82 - vypočítané dráhy nástroje u elektrody č.4 pro hrubování	54
Obrázek 83 - vypočítané dráhy nástroje elektrody č.4 pro dokončení.....	54
Obrázek 69 - tvar elektrody č.1	55
Obrázek 70 - tvar elektrody č.2	56
Obrázek 71 - tvar elektrody č.3	56
Obrázek 72 - tvar elektrody č.4	57

Seznam tabulek

Tabulka 1 - měření časů pro tvorbu technologie obrábění pro elektrodu č.1.....	55
Tabulka 2 - měření časů pro tvorbu technologie obrábění pro elektrodu č.2.....	56
Tabulka 3 - měření časů pro tvorbu technologie obrábění pro elektrodu č.3.....	56
Tabulka 4 - měření časů pro tvorbu technologie obrábění pro elektrodu č.4.....	57