

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA STROJNÍ

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

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Návrh řešení orovnávaní tvarové plochy brusného kotouče
pro ostříčku „SHÜTTE“

Autor: **Bc. Aneta MILSIMEROVÁ**

Vedoucí práce: **doc. Ing. Jiří ČESÁNEK, Ph.D.**

Akademický rok 2013/2014

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Aneta MILSIMEROVÁ**
Osobní číslo: **S12N0064P**
Studijní program: **N2301 Strojní inženýrství**
Studijní obor: **Strojírenská technologie - technologie obrábění**
Název tématu: **Návrh řešení orovnávaní tvarové plochy brusného kotouče pro ostříčku "SCHÜTTE"**
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. Stanovení tvaru brusného kotouče pro obrábění zvolené tvarové plochy
3. Návrh řešení orovnávaní brusného kotouče
4. Technickoekonomické vyhodnocení navrženého řešení
5. Závěr

Rozsah grafických prací: dle potřeby
Rozsah pracovní zprávy: 50 - 70 stran
Forma zpracování diplomové práce: tištěná
Seznam odborné literatury:

ŽÁRA, J., BENEŠ, B., SOCHOR, J., FELKEL, P.: Moderní počítačová grafika. Brno: Computer Press, 2004. ISBN 80- 251- 0454- 0

JEŽEK, F. : Geometrické a počítačové zpracování. Plzeň : ZČU, 1996

JANDEČKA, K. , ČESÁNEK, J. , KOŽMÍN, P. : Programování NC strojů. Plzeň: ZČU, 2000. ISBN 80- 7082- 692- 4

CHLADIL, J. Přípravky a nástroje : část-obrábění. 3. vyd. Brno : VUT, 1992. ISBN 80-214-0408-6

Interní podklady závodu


STANĚK, J., NĚMEJC, J.: Metodika zpracování a úprava diplomových prací. Plzeň : ZČU,2005.

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: 7. října 2013
Termín odevzdání diplomové práce: 23. května 2014


Doc. Ing. Jiří Staněk, CSc.
děkan




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

V Plzni dne 7. listopadu 2013

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

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

Dále mé poděkování patří Ing. Hnátíkovi, Ph.D. za ochotu a odbornou pomoc při řešení problematiky.

Tato diplomová práce vznikla za podpory GA ZČU při řešení projektu SGS-031-2013 s názvem „Výzkum a vývoj pro inovace v oboru strojírenská technologie – technologie obrábění“.

ANOTAČNÍ LIST DIPLOMOVÉ PRÁCE

AUTOR	Příjmení Milsimerová	Jméno Aneta		
STUDIJNÍ OBOR	2303T004 „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	Návrh řešení orovnávaní tvarové plochy brusného kotouče pro ostříčku „SHÜTTE“			

FAKULTA	strojní	KATEDRA	KTO	ROK ODEVZD.	2014
----------------	---------	----------------	-----	--------------------	------

POČET STRAN (A4 a ekvivalentů A4)

CELKEM	90	TEXTOVÁ ČÁST	42	GRAFICKÁ ČÁST	48
---------------	----	---------------------	----	----------------------	----

STRUČNÝ POPIS (MAX 10 ŘÁDEK) ZAMĚŘENÍ, TÉMA, CÍL POZNATKY A PŘÍNOSY	Práce se zabývá problematikou broušení čel zubů odvalovacích fréz pomocí tvarového brusného kotouče. Hlavním zaměřením je řešení podřezávání šroubové drážky broušeného nástroje o zvolené geometrii. Cílem je navrzení takového tvaru kotouče, aby nedocházelo k podříznutí, a návrh strojního orovnávaní do navrženého tvaru. Přínosem při tvorbě práce je grafické zobrazení podříznutí a vytvoření simulace broušení šroubové drážky.
KLÍČOVÁ SLOVA ZPRAVIDLA JEDNOSLOVNÉ POJMY, KTERÉ VYSTIHUJÍ PODSTATU PRÁCE	Odvalovací fréza šneková, tvarový brusný kotouč, podříznutí, plocha čel zubů, orovnávaní, simulace

SUMMARY OF DIPLOMA SHEET

AUTHOR	Surname Milsimerová	Name Aneta	
FIELD OF STUDY	2303T004 „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	Solution design of grinding wheel shaped surface dressing on „SHÜTTE“ sharpening machine		

FACULTY	Mechanical Engineering	DEPARTMENT	Machining technology	SUBMITTED IN	2014
----------------	------------------------	-------------------	----------------------	---------------------	------

NUMBER OF PAGES (A4 and eq. A4)

TOTALLY	90	TEXT PART	42	GRAPHICAL PART	48
----------------	----	------------------	----	-----------------------	----

BRIEF DESCRIPTION TOPIC, GOAL, RESULTS AND CONTRIBUTIONS	The work deals with the grinding of teeth hobs using shaped grinding wheel. The main focus is to address undercutting helical grooves of a cut on the selected geometry. The aim is to design such a disk shape to avoid undercuts, and design of mechanical truing into the proposed shape. The benefit in the development work is a graphical view of sticking and creating simulation grinding screw groove.
KEY WORDS	Rolling worm milling cutter, shaped grinding wheel, undercut, teeth hobs, dressing, simulation

Obsah

1. Teoretický úvod	11
1.1. Odvalovací fréza – speciální nástroj	11
1.2. Ostření odvalovacích fréz	12
1.3. Fréza odvalovací šneková	13
2. Analýza současného stavu řešené problematiky	16
2.1. Odvalovací fréza se zvolenou geometrií	16
2.2. Stanovený brusný nástroj	19
2.3. Aplikovaný stroj pro ostření	20
2.4. Problematika při broušení čel zubů	20
2.4.1. Kinematika při procesu broušení	22
2.5. Návrh řešení	22
3. Stanovení tvaru brusného kotouče pro obrábění zvolené tvarové plochy	24
3.1. Metoda řezných rovin [6]	24
3.2. Konstrukce – stanovení nového tvaru brusného kotouče	24
3.2.1. Vytvoření pomocné plochy	25
3.2.2. Vytvoření pomocné geometrie	26
3.2.3. Vytvoření soustavy řezných rovin	28
3.2.4. Vyšetření jednotlivých bodů nového profilu brusného kotouče	35
3.2.5. Nový tvar brusného kotouče	36
3.3. Ověření a porovnání s původním tvarem	39
3.3.1. Porovnání s původním tvarem	41
4. Návrh řešení orovnění brusného kotouče	45
4.1. Orovňávání brusných kotoučů	45
4.1.1. Kinematika při orovňávání	45
4.1.2. Obecné zásady orovňávání jednokrystalovými orovnávači [7]	46
4.2. Orovňání – návrh strategie	46
4.2.1. Vytvoření geometrie	46
4.2.2. Strategie orovňání	49
4.3. Simulace orovňání	53
4.3.1. Dokumentace – NC data	57
4.4. Simulace broušení	57
4.4.1. Nadefinování strategie	62
4.4.2. Simulace s původním tvarem kotouče	65
4.4.3. Analýza zbytkového materiálu – původní kotouč	67

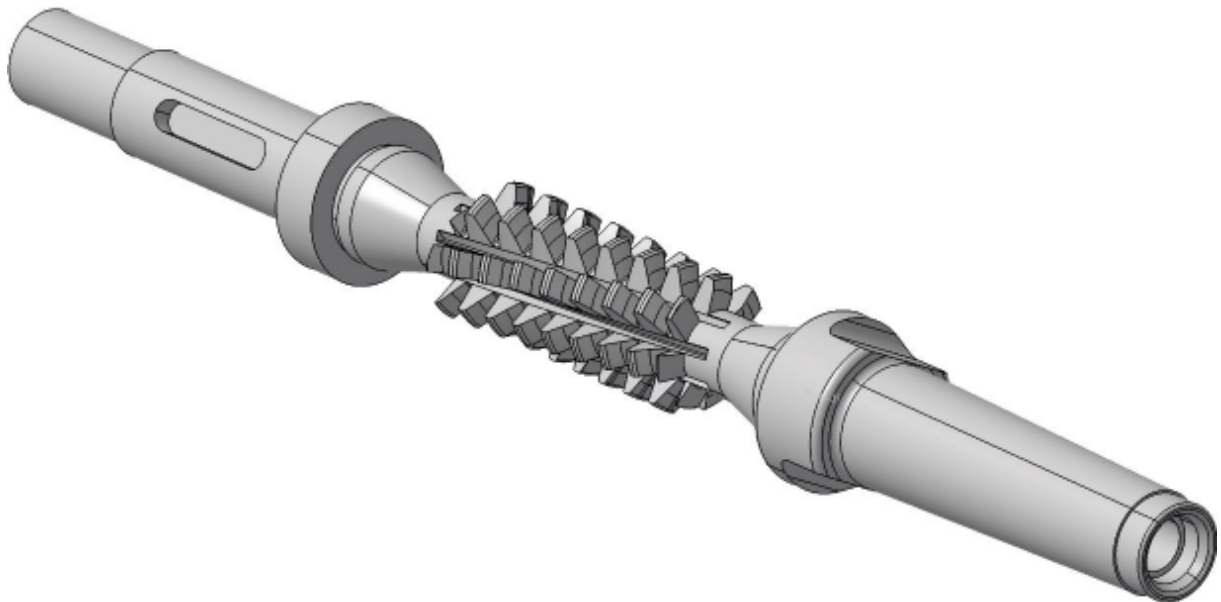
4.4.4.	Simulace s orovnaným tvarem kotouče.....	72
4.4.5.	Analýza zbytkového materiálu – orovnaný kotouč	74
4.5.	Technologický postup	77
4.5.1.	Původní tvar kotouče.....	78
4.5.2.	Navržený tvar kotouče.....	78
5.	Technickoekonomické zhodnocení	79
5.1.	Původní technologie	79
5.2.	Nová technologie.....	80
5.3.	Vyhodnocení	82
6.	Závěr.....	83
	POUŽITÁ LITERATURA.....	84
	SEZNAM OBRÁZKŮ	84
	SEZNAM TABULEK.....	86
	SEZNAM PŘÍLOH.....	86

1. Teoretický úvod

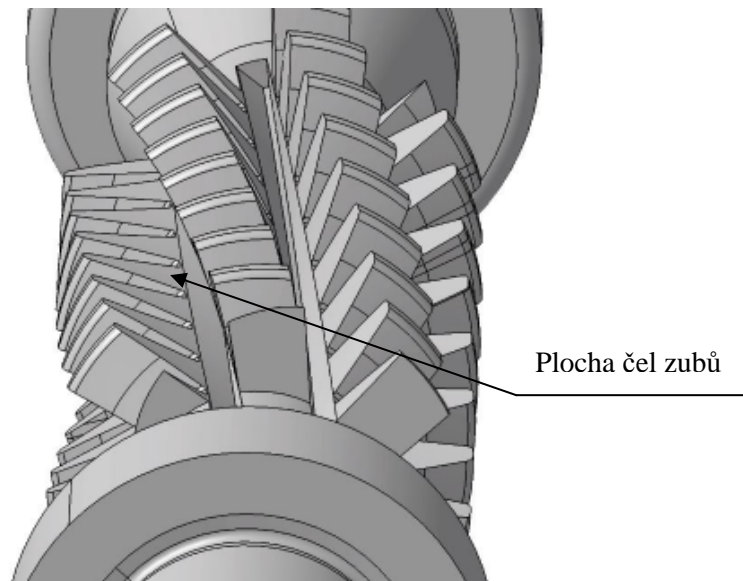
Základním podnětem řešení práce je problematika broušení odvalovacích fréz, v tomto případě se jedná o odvalovací frézy pro výrobu šnekového soukolí (viz Obr. 1: Odvalovací fréza šneková), broušení se provádí pomocí tvarového brusného kotouče. Konkrétně se tato práce zabývá problematikou broušení oblasti čel zubů (viz Obr. 2.: Detail plochy čel zubů) těchto fréz, jelikož při strojním broušení této plochy na stroji, který má firma k dispozici, dochází k podřezávání vlivem nevyhovujícího tvaru použitého brusného kotouče. Podřezávání plochy čel je následně řešeno zdlouhavým ručním orovnáváním brusného kotouče. Aplikace řešení této problematiky bude použita pro vybranou geometrii odvalovací frézy a stanovený brusný kotouč.

1.1. Odvalovací fréza – speciální nástroj

Lze říci, že co se týče odvalovacích fréz, jedná se o poměrně speciální nástroje, jelikož každý tento nástroj slouží pro výrobu konkrétního ozubení, které se liší modulem, výškou zubu, úhlem stoupání šroubovice zubů (pozn.: proto je také šnekové soukolí někdy nazýváno soukolím šroubovým), tvarem čel zubů, nebo např. zdali se jedná v jiném případě o globoidní ozubení apod. Přesnost odvalovací frézy přímo ovlivňuje přesnost vyráběného ozubení. Tento aspekt vyvolává vysoké požadavky na geometrickou přesnost těchto nástrojů, zejména v oblasti řezné části (v oblasti plochy, která tvoří čela jednotlivých zubů). Z důvodu zachování přesnosti a trvanlivosti nástroje je použit materiál se zakalenou strukturou, aby bylo dosaženo požadované tvrdosti k zajištění optimálního pracovního chodu při výrobě ozubení.



Obr. 1.: Odvalovací fréza šneková



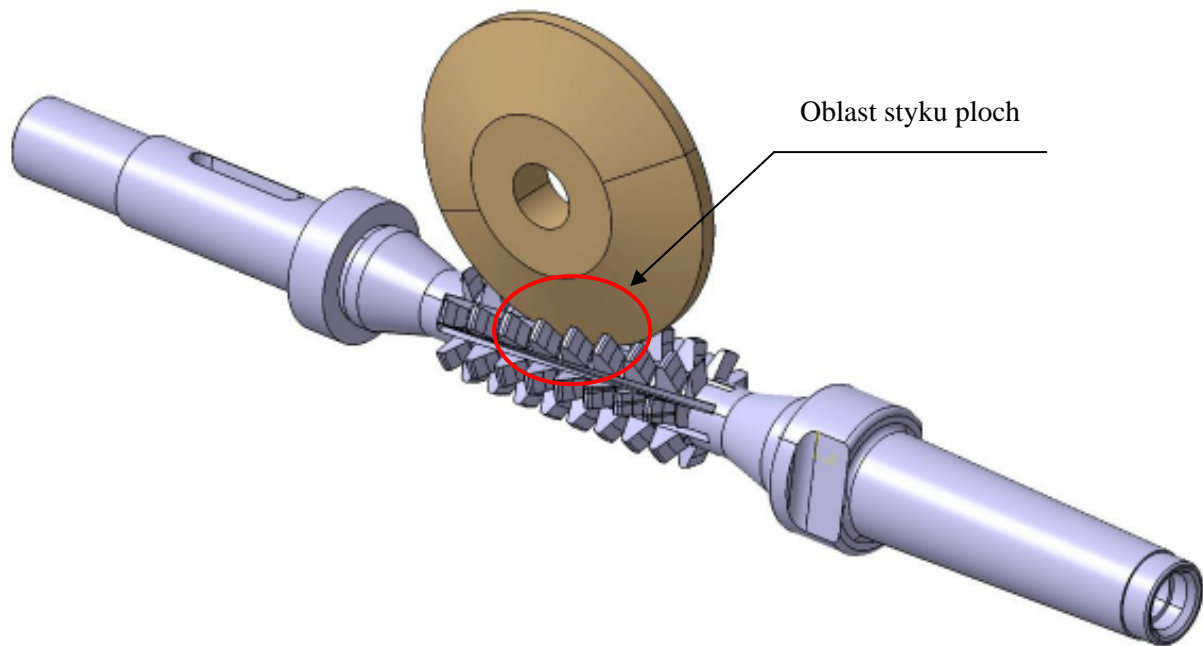
Obr. 2.: Detail plochy čel zubů

Při výrobě ozubení se vlivem záběrových podmínek nástroj opotřebovává a z důvodu zachování požadovaných parametrů frézy se provádí ostření těchto nástrojů. Z výše uvedeného vyplývá, že se jedná o velmi problematický proces. Hlavním faktorem je vysoká tvrdost materiálu nástroje, což značně omezuje výběr materiálu brusného nástroje. Dalším faktorem je tvar plochy čel zubů, což ovlivňuje tvar brusného nástroje.

1.2. Ostření odvalovacích fréz

Odvalovací frézy jsou ostřeny broušením pomocí nástrojů s tzv. nedefinovanou geometrií. Jedná se o brusné kotouče, jejichž základní materiál, který je tvořen zrnem, je držen do požadovaného tvaru pojivem. Jednotlivá zrna jsou nepravidelného tvaru, a tudíž v různých rovinách dosahuje každé z nich různého úhlu čela. Jelikož jsou zrna různě orientována, dochází v místě řezu k jejich postupnému otupování, až dojde k vylomení, a zrnem je nahrazeno zrnem novým. Postupné nahrazování zrn se nazývá jako samoostřicí schopnost brusných kotoučů. Tato vlastnost zajišťuje určitou životnost brusného kotouče, jelikož dochází ke značnému opotřebovávání z důvodu vysokých řezných rychlostí a dosahování vysokých teplot v místě řezu. S ohledem na aplikaci broušení se uvažuje druh a poměr brusiva k pojivu, zrnitost, tvrdost, tvar a rozměr brusného kotouče.

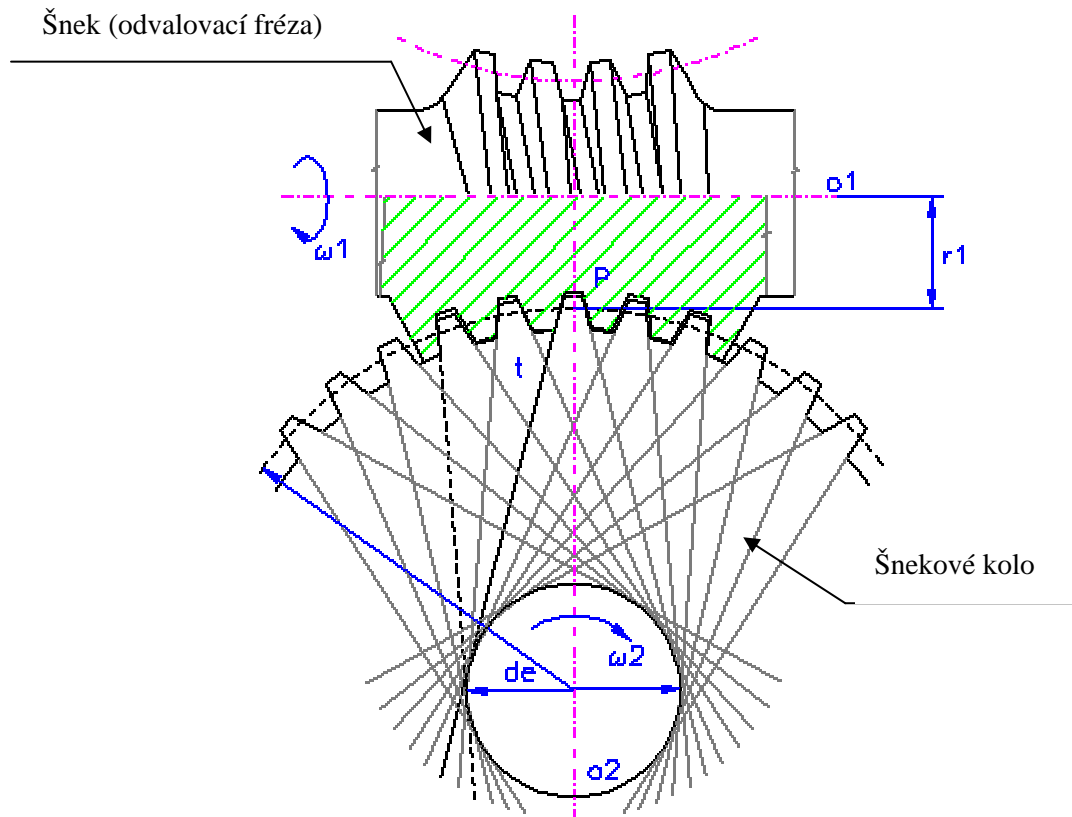
Při samotném procesu broušení při nastavení potřebné kinematiky soustavy stroj - brusný kotouč - odvalovací fréza dochází ke styku tvarových ploch čel zubů frézy a pracovní plochy brusného kotouče (viz Obr. 3.: Styk tvarových ploch).



Obr. 3.: Styk tvarových ploch

1.3. Fréza odvalovací šneková

Odvalovací frézy pro výrobu šnekového ozubení musí mít stejný průměr, profil a stoupání šroubovice jako šnek daného ozubení (viz Obr. 6.: Porovnání s odvalovací frézou). Každá fréza, jak již bylo výše uvedeno, je speciální pro daný modul a typ ozubení. Při výrobě šnekového ozubení je nástroj polohován jako šnek budoucího převodu a je odvalován po obvodu šnekového kola, které se současně pomalu otáčí při spřáhnutí otáček obou prvků (viz. Obr. 4.: Schéma šnekového soukolí, Obr. 5.: Model šnekového soukolí). Výhodou výroby odvalování je možnost vyrobit libovolný počet zubů. Při zachování ostatních parametrů lze měnit průměr šnekového kola.



ω_1 ...otáčky (pohyb) šneku nebo odvalovací frézy
 ω_2 ...otáčky (pohyb) šnekového kola

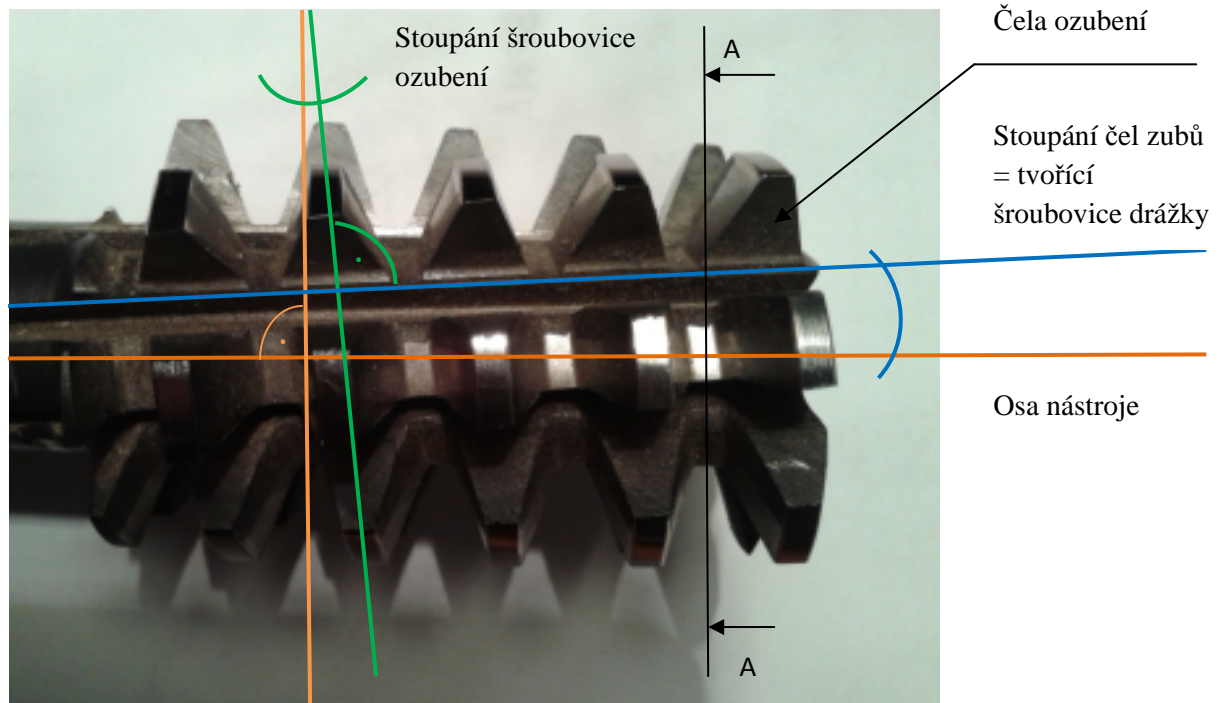
Obr. 4.: Schéma šnekového soukolí [2]



Obr. 5.: Model šnekového soukolí [3]

Na obr. 5. je patrný shodný tvar šneku šroubového soukolí s tvarem odvalovací frézy. Jak již bylo výše řečeno, odvalovací frézy pro výrobu tohoto ozubení mají zuby tvořeny ve šroubovici o stejném stoupání jako šnek, ale mají také vyrobeny drážky pod určitým úhlem od osy nástroje (viz Obr. 6.: Stoupání čel zubů) podle toho, zda se jedná o pravou nebo levou

frézu. Počet těchto drážek následně udávají počet zubů po obvodu nástroje (viz Obr. 7.: Počet zubů po obvodu nástroje – pohled A-A) a stoupání čel jednotlivých zubů. Konstrukce drážek a ostření čel zubů (řezné části) umožňuje úběr materiálu v polotovaru šnekového kola a tím vzniku ozubení.



Obr. 6.: Stoupání čel zubů



Obr. 7.: Počet zubů po obvodu nástroje – pohled A-A

2. Analýza současného stavu řešené problematiky

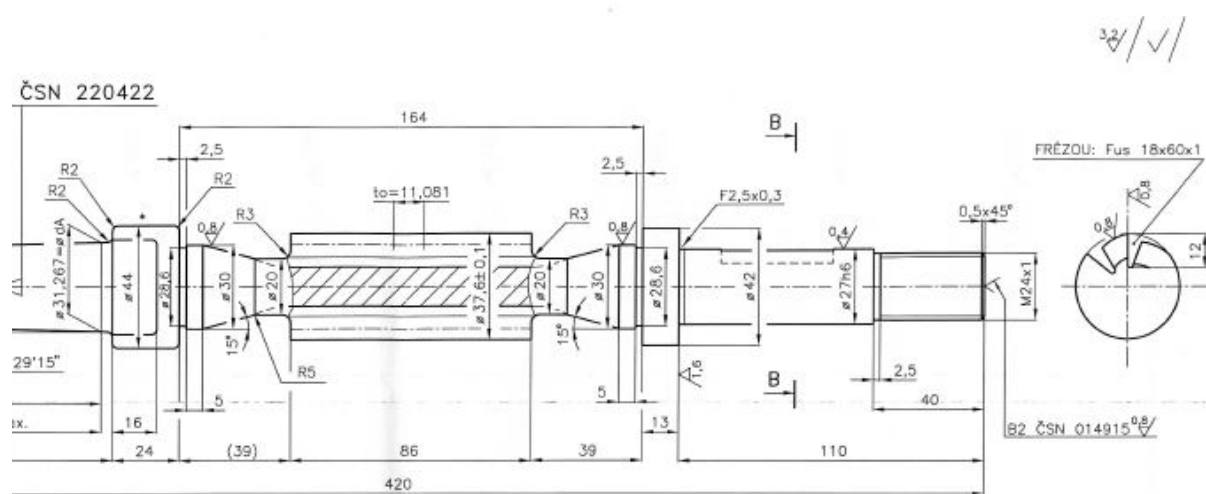
Zadavatelem řešení problematiky je firma Pilsen Tools, s.r.o., která se zabývá opravami strojů, vývojem, konstrukcí a výrobou upínacího, řezného a speciálního náradí dle norem nebo na přání zákazníka. Jednou ze širokého spektra činností je výroba nástrojů pro výrobu ozubení, a to odvalovacích fréz na šneková ozubení [1]. Tyto nástroje jsou vyráběny o různých průměrech, délce ozubení, počtem zubů po obvodu, stoupáním šroubovice a různých modulů dle modulu soukolí. Co se týče upnutí, vyrábějí se jak nástrčné, tak i se stopkou. Zuby jsou frézované.

2.1. Odvalovací fréza se zvolenou geometrií

Řešení problematiky bude aplikováno na nástroj o těchto geometrických parametrech (viz Tabulka 1.: Geometrické parametry, Obr. 8.: Výkres - detail, Příloha č. 1 - Výkres):

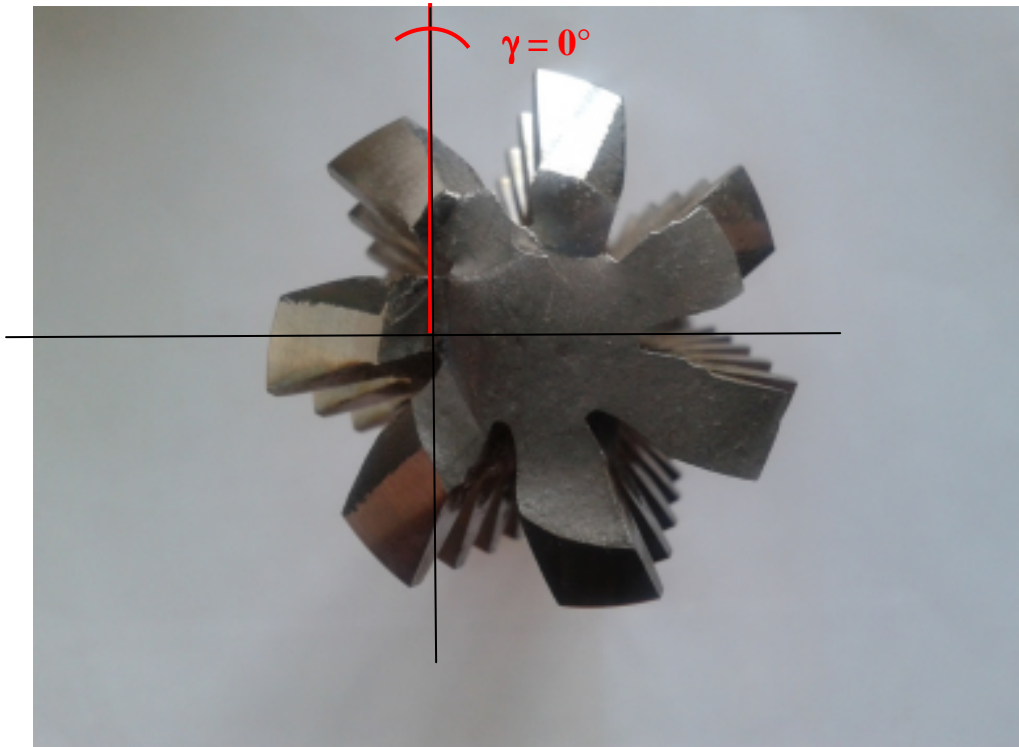
Parametr	Rozeř [mm]
Malý průměr	20,0
Velký průměr	37,6
Délka ozubení	86,0
Hloubka drážky	8,5
Stoupání řídicí šroubovice	711,2 (28 palců)

Tabulka 1.: Geometrické parametry

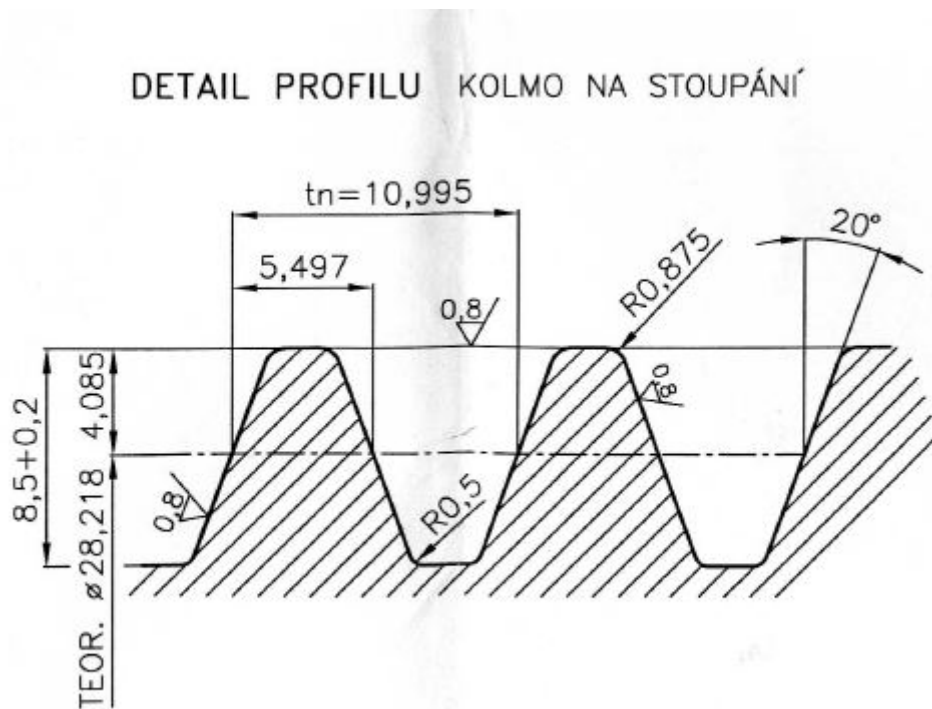


Obr. 8.: Výkres - detail

Jeden z nejdůležitějších parametrů, který je třeba při broušení dodržet, je úhel čela jednotlivých zubů uvažovaný k ose nástroje, aby profil každého zubu byl kolmo k ose, tzn. $\gamma=0^\circ$ (viz Obr. 9.: Úhel čela). Dalším parametrem ozubení je profil zubů v rovině kolmé na stoupání tvořící šroubovice. V tomto případě se jedná o profil tvořený přímkami (viz Obr. 10.: Profil kolmo na stoupání).



Obr. 9.: Úhel čela

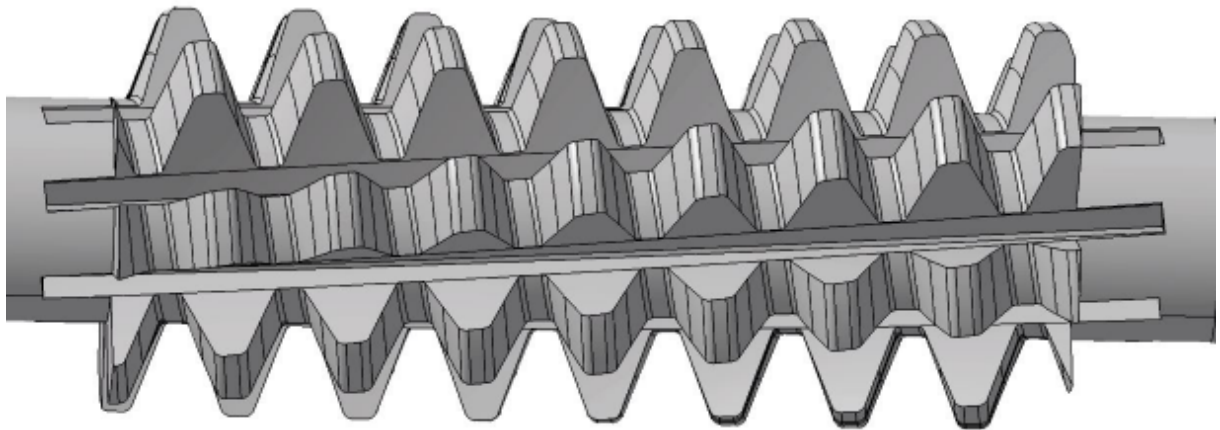


Obr. 10.: Profil kolmo na stoupání

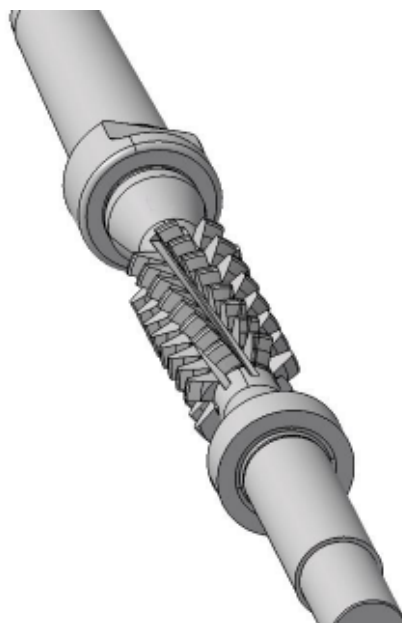
Na základě technických parametrů a výkresové dokumentace byl vytvořen v 3D CAD/CAM systému Catia V5 model odvalovací frézy o zvolené geometrii (viz Obr. 11.: Pohled 1, Obr. 12.: Pohled na detail ozubení, Obr. 13.: Pohled 2).



Obr. 11.: Pohled 1



Obr. 12.: Pohled na detail ozubení



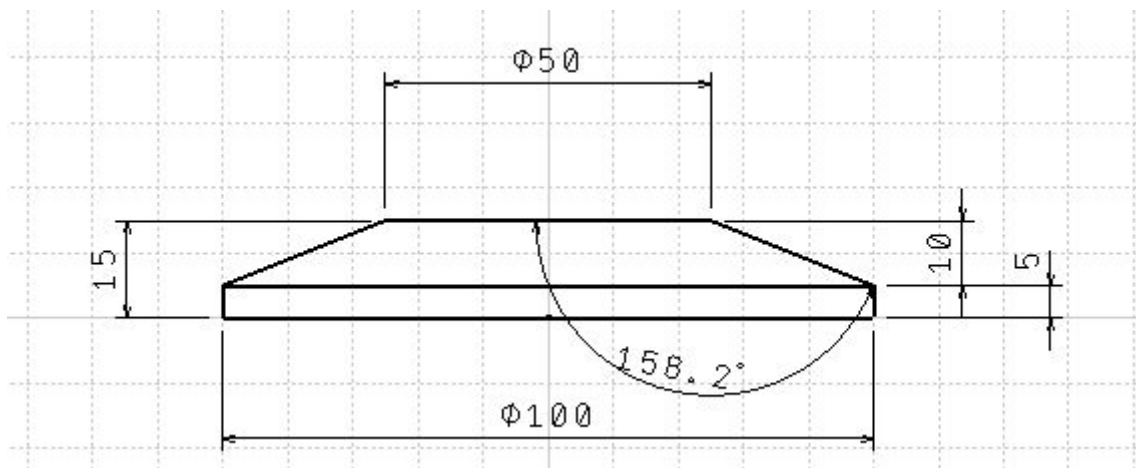
Obr. 13.: Pohled 2

2.2. Stanovený brusný nástroj

Použitý brusný nástroj pro tuto operaci je brusný kotouč dodávaný firmou Tyrolit. V surovém stavu je dodaný o definované geometrii od výrobce (viz Tabulka 2.: Rozměry, Obr. 14.: Rozměry). Konkrétně se jedná o typ F18A60HH11V 100/50x15/5x20, materiálem je korund. Tento materiál se v současné době projevuje jako nejvhodnější ze zkoušeného spektra, jelikož při daných parametrech broušení vykazuje nejvyšší životnost.

Parametr	Rozměr [mm]
Malý průměr	50
Velký průměr	100
Celková šířka	15
Výška neřezné hrany	5
Výška řezné části	10
Průměr upínacího otvoru	20

Tabulka 2.: Rozměry

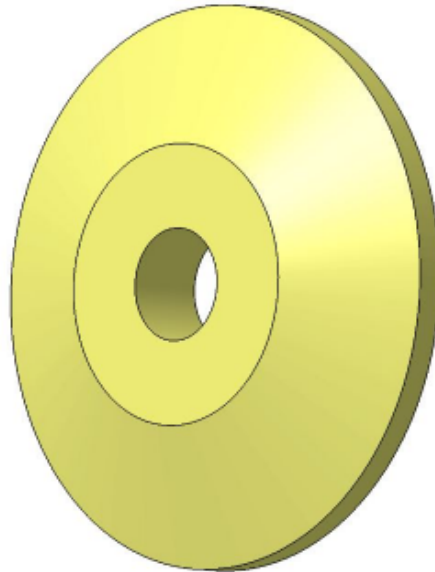


Obr. 14.: Rozměry

Na základě výše uvedených technických dat byl vytvořen model brusného kotouče obdobně jako v případě zvolené odvalovací frézy (viz Obr. 15a, 15b.: Brusný kotouč).



Obr. 15a.: Brusný kotouč



Obr. 15b.: Brusný kotouč

2.3. Aplikovaný stroj pro ostření

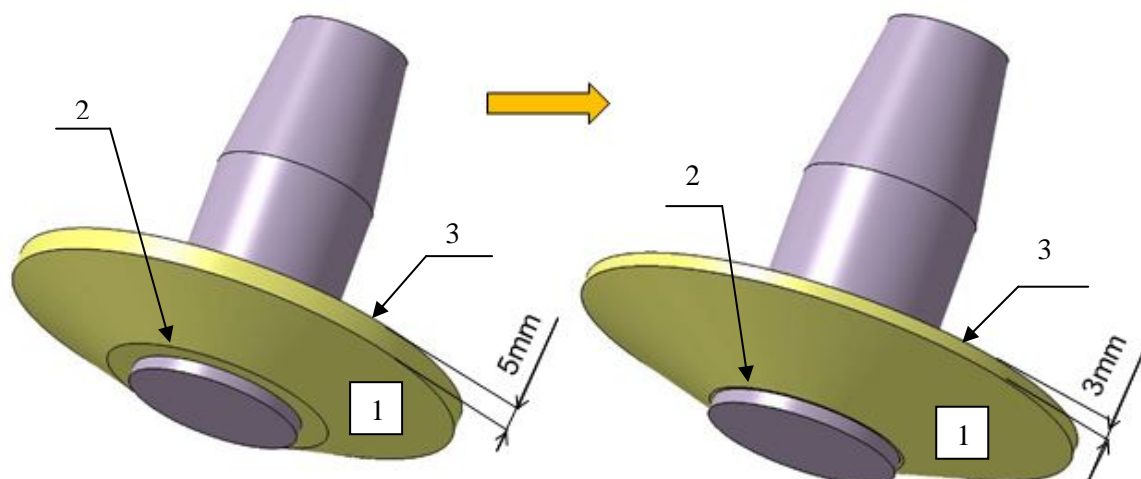
Ostření odvalovacích fréz je ve firmě realizováno na ostříčce firmy Shütte, typ WU400CNC4/1990 (viz Obr. 16.: Ostříčka Shütte). Stroj má definovanou kinematiku ve 4 osách.



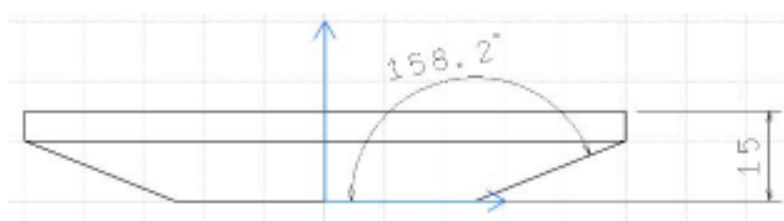
Obr. 16.: Ostříčka Shütte [4]

2.4. Problematika při broušení čel zubů

Prvním úskalím použitého postupu a technologie broušení je šířka brusného kotouče v surovém stavu, která je větší než drážka mezi čely zubů a další řadou zubů. Kotouč v takovém stavu je potřeba upravit. Je nutno orovnat řeznou část (1), avšak při zachování stávající geometrie, tzn. zachování přímosti a úhlu řezné části a celkové tloušťky kotouče. Touto úpravou se zmenší malý průměr kotouče (2) a šířka neřezné části (3), (viz Obr. 17.: Úprava kotouče, Obr. 18.: Zachování geometrie).



Obr. 17.: Úprava kotouče



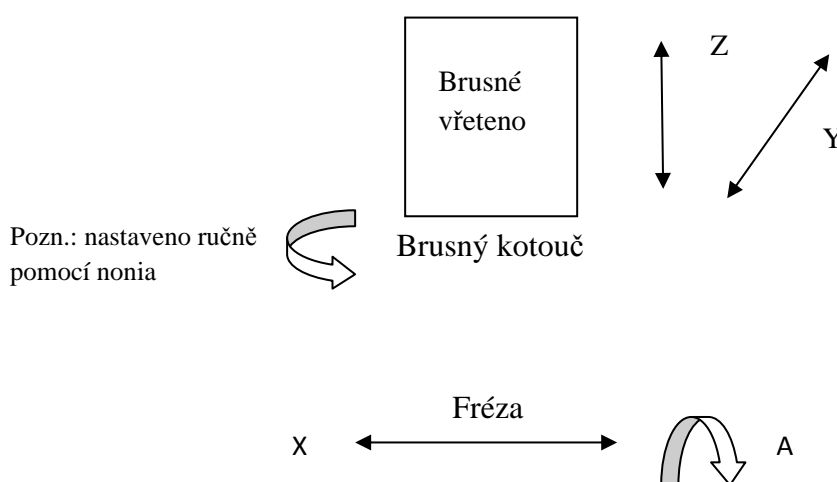
Obr. 18.: Zachování geometrie

V tomto stavu je možno upnout kotouč pomocí Morse kuželu do vřetena ostříčky. Současný tvar profilu kotouče neumožňuje přesné broušení plochy čel zubů a dochází k jejímu podřezávání (pozn.: **Podříznutí** [5] - *Podříznutí šroubové drážky nástroje vzniká zanořením brusného kotouče do odvalovací frézy v důsledku různých křivostí styčných povrchů a tvarů při vedení po řídicí křivce (dráze kotouče) a obráběné šroubovice.*). Obsluha si nastaví potřebnou polohu kotouče pro broušení frézy a s minimálním úběrem přejede první třísku (na plnou hloubku drážky). Zjistí, v jakých místech na ploše čel odebrá kotouč větší množství materiálu, a podle tohoto ručně upravuje profil řezné části kotouče s další třískou. Takto pokračuje dále, dokud nezíská profil kotouče, který zajišťuje optimální úběr materiálu pro dosažení požadované přesnosti. Jelikož se jedná o prakticky ruční proces orovnávaní brusného kotouče, nejsou k dispozici data, která by přesně definovala geometrii profilu, a výsledný tvar závisí na zkušenosti a šikovnosti obsluhy. Postup s ručním orovnávaním je při vyšším počtu kusů nástrojů k ostření značně zdlouhavý a neefektivní.

Ručně orovnaný kotouč byl promítnut na profilprojektoru a bylo zjištěno, samozřejmě v této fázi lze toto tvrdit pouze s určitou hladinou pravděpodobnosti, že profil řezné části po ručním orovnávaní je tvořen do mírného rádiusu.

2.4.1. Kinematika při procesu broušení

Fréza je upnuta v horizontálním směru, brusný kotouč je upnut do brusného vřeten. Před samotným broušením se brusný kotouč naklopením pomocí nonia s přesností na $\frac{1}{4}^\circ$ ustaví do požadované polohy dle úhlu stoupání řídicí šroubovice, která se zaaretuje, a následně je neměnná v průběhu celého procesu broušení. Dále je možno před započítím broušení nastavit přísuv (osa z) a posuv (osa y). Při samotném broušení koná fréza rotační pohyb a posuvný pohyb v ose x dle stoupání čel zubů tak, aby každý jednotlivý zub byl v optimální poloze pro vytvoření požadované geometrie. Brusný kotouč koná rotační pohyb při zachování své výchozí polohy (viz. Obr. 19.: Schéma pohybů). Na jedno naostření jednoho stoupání čel vykoná fréza pohyb v ose x jedním směrem a poté zpětný pohyb.



Obr. 19.: Schéma pohybů

Hlavní faktory problematiky:

- Kinematika aplikovaného stroje
- Profil brusného kotouče

Hlavním úskalím celého procesu je daná kinematika stroje, jelikož neumožňuje při samotné operaci řízené naklápění brusného kotouče dle místa styčné plochy brusného kotouče a plochy čel zubů přicházející do řezu. S tímto souvisí výchozí profil kotouče před ručním orovnááním, kdy dochází k podříznutí v určitých místech plochy čel.

2.5. Návrh řešení

Na základě analýzy současného stavu a identifikace problematiky byl v prvním kroku stanoven tvar brusného kotouče odpovídající drážce a stoupání čel frézy tak, aby nedocházelo při broušení k podřezávání. Toto bylo stanoveno pomocí vybrané grafické metody a ve vybraném 3D CAD systému. Výhodami použití navrhovaného řešení je přímé získání tvaru brusného kotouče a možnost jeho vizualizace. Výsledkem této části je možnost porovnání původního a nového tvaru brusného kotouče.

V následujícím kroku byl stanoven návrh řešení orovnění pro dosažení nového tvaru brusného kotouče. Výstupem je simulace strojního orovnění ve vybraném 3D CAM systému včetně souboru NC dat.

Zhodnocení výsledků řešení problematiky bylo provedeno pomocí technicko-ekonomického hodnocení na základě zvolených technických a ekonomických ukazatelů primárně ovlivňujících danou problematiku. Výsledkem je porovnání obou technologických postupů a vyhodnocení postupu navrženého v následujících kapitolách.

3. Stanovení tvaru brusného kotouče pro obrábění zvolené tvarové plochy

Řešení dané problematiky, veškerá konstrukce a vytvoření modelů je realizováno za podpory 3D CAD/CAM softwaru Catia V5. Pro stanovení tvaru brusného kotouče je aplikována grafická metoda pomocí metody řezných rovin. Konstrukce je detailně popsána níže.

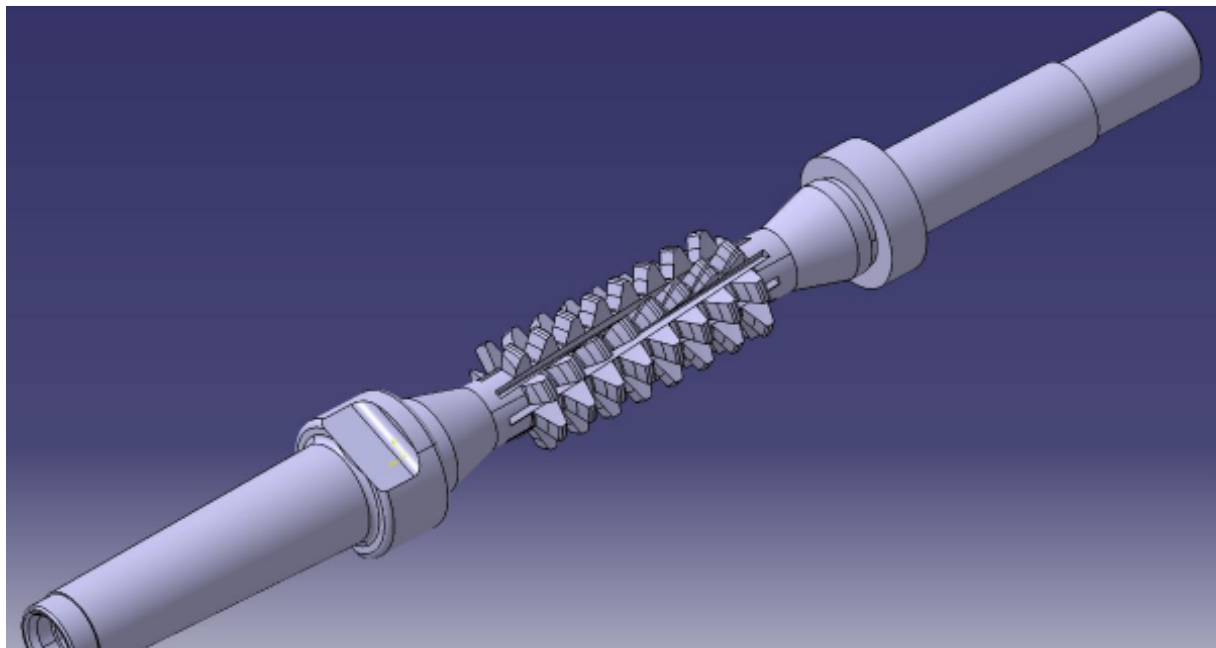
3.1. Metoda řezných rovin [6]

Metoda řezných rovin slouží k vyšetření výchozího povrchu tvarového nástroje zejména pro drážky tvořené ve šroubovici. Metoda je založená na ortogonálním promítání na 2 průmětny. Vyšetřením čáry záběru tvarového nástroje a vytvořením soustavy řezných rovin kolmých na osu nástroje (uvažováno včetně natočení nástroje dle úhlu stoupání šroubovice drážky) jsou získány průniky jednotlivých kružnic tvarového nástroje vzniklé vytvořením soustavy řezných rovin a jednotlivými body povrchu drážky v dané řezné rovině. Takto vznikne soustava jednotlivých průsečíků, které tvoří body výchozího povrchu nástroje vhodného pro daný typ úlohy.

3.2. Konstrukce – stanovení nového tvaru brusného kotouče

Výchozím stavem pro sestavení konstrukce byl vytvořený model odvalovací frézy na základě technické dokumentace (viz Obr. 20.: Výchozí stav konstrukce):

Pozn.: Obrázky vytvořené pro popis níže uvedené konstrukce mají modré pozadí z důvodu barevného spektra některých konstrukčních prvků.

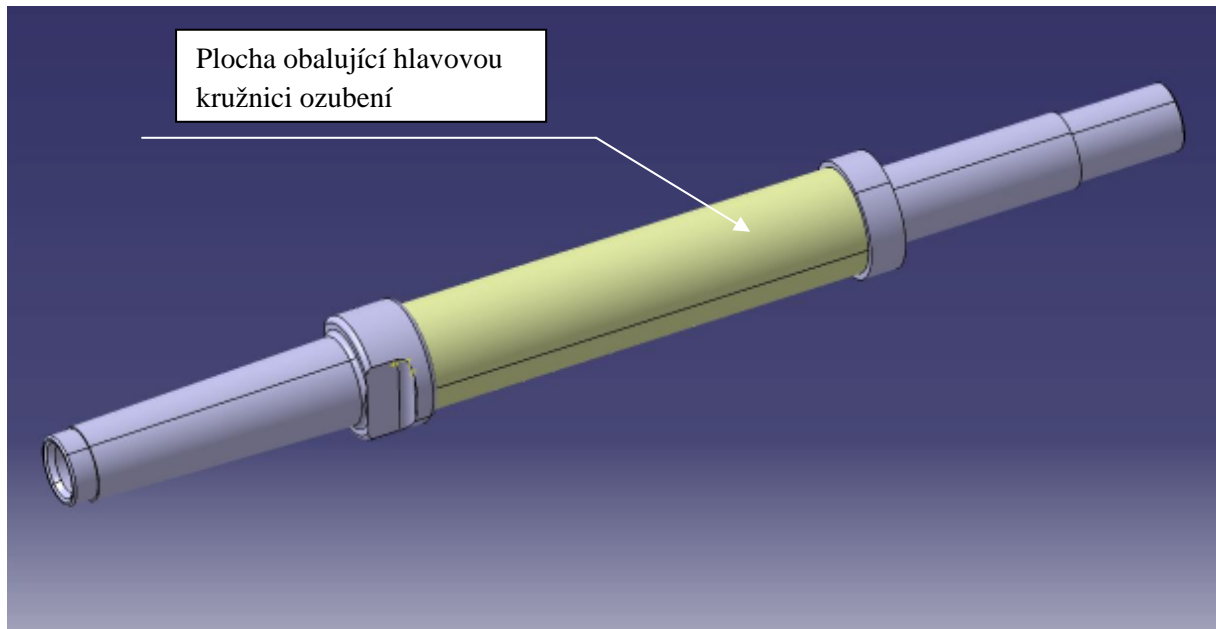


Obr. 20.: Výchozí stav konstrukce

3.2.1. Vytvoření pomocné plochy

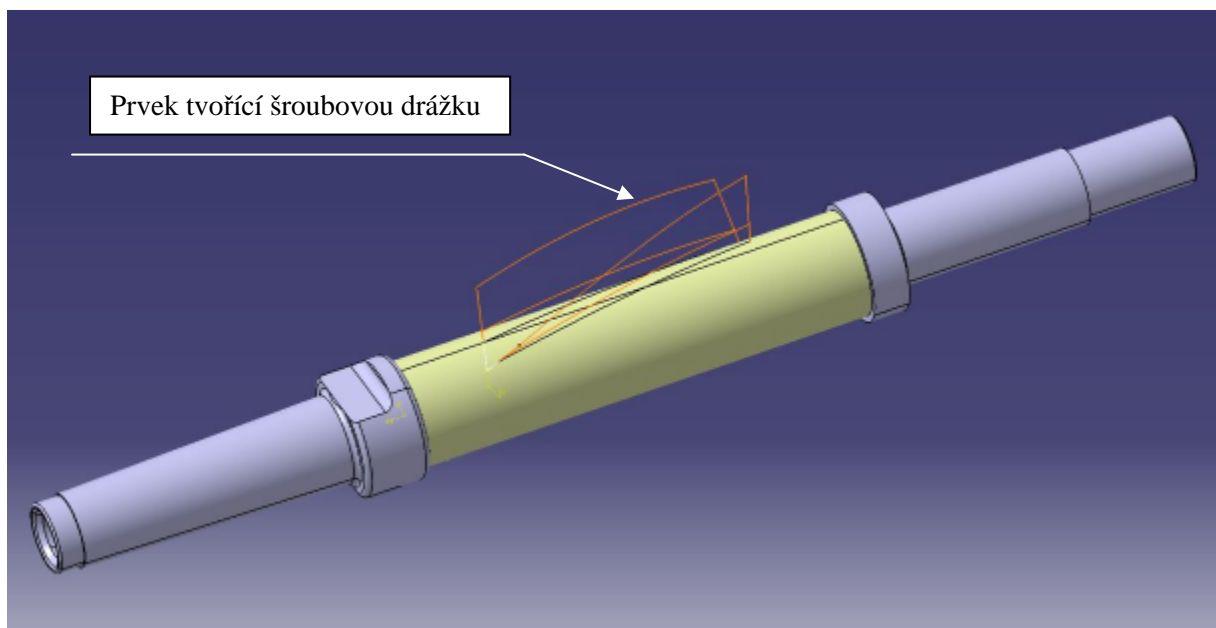
Prvním krokem bylo na vytvořeném modelu frézy vytvořit pomocnou plochu, která pokrývá stoupání čel zubů a kopíruje tvar šroubové drážky:

1. Vytvoření plochy, která obaluje vnější průměr ozubení a kopíruje tedy hlavovou kružnici ozubení (viz Obr. 21.: Pomocná plocha - Krok 1):



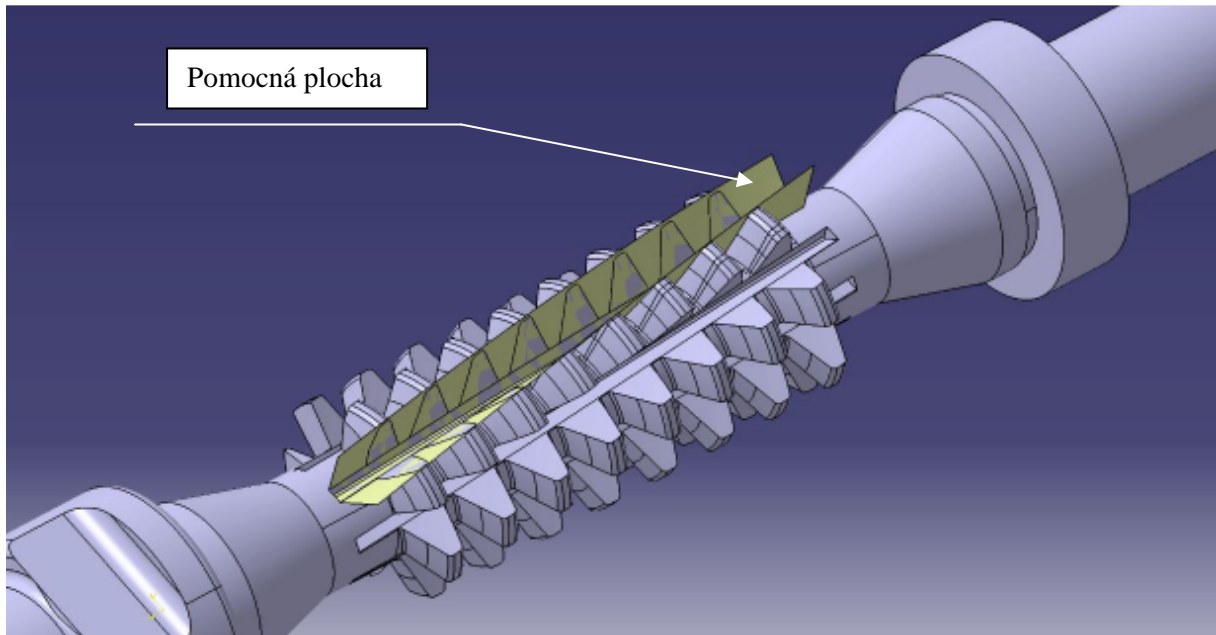
Obr. 21.: Pomocná plocha - Krok 1

2. Vytvoření plochy pomocí prvku, kterým se vytvářela šroubová drážka na modelu frézy (viz Obr. 22.: Pomocná plocha - Krok 2):



Obr. 22.: Pomocná plocha - Krok 2

3. Průnik ploch z kroku 1 a 2 a tím vytvoření pomocné plochy pokrývající stoupání čel zubů a tvar šroubové drážky (viz Obr. 23.: Pomocná plocha – Krok 3):

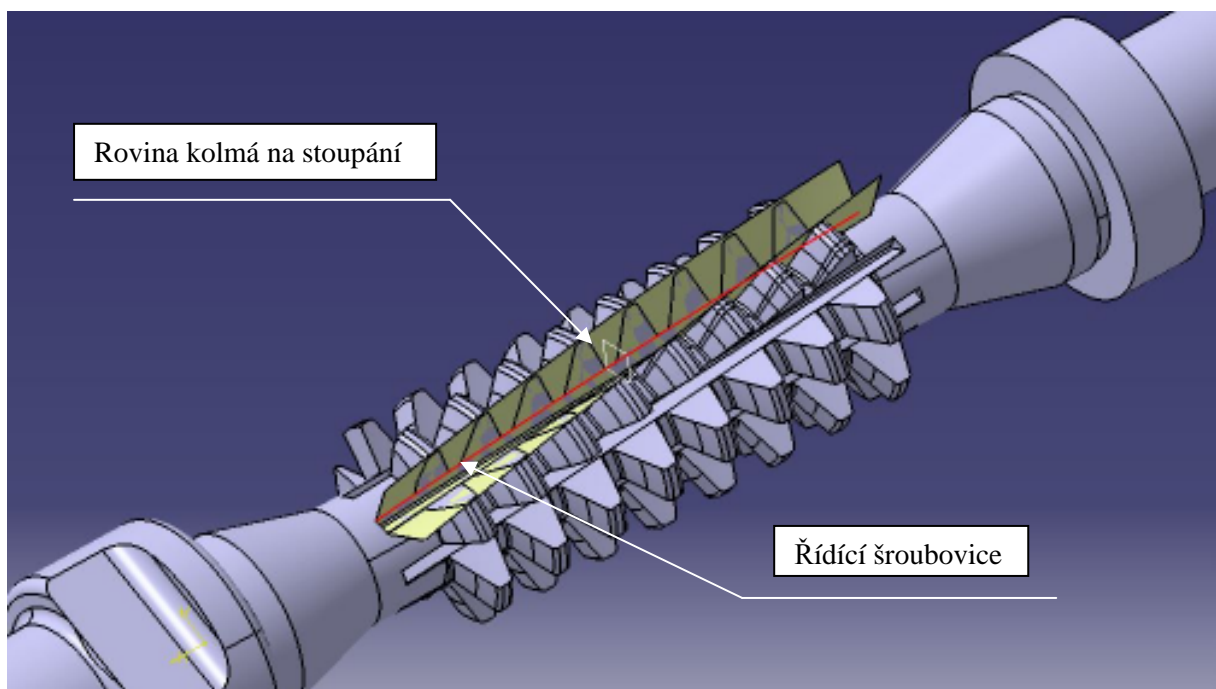


Obr. 23.: Pomocná plocha - Krok 3

3.2.2. Vytvoření pomocné geometrie

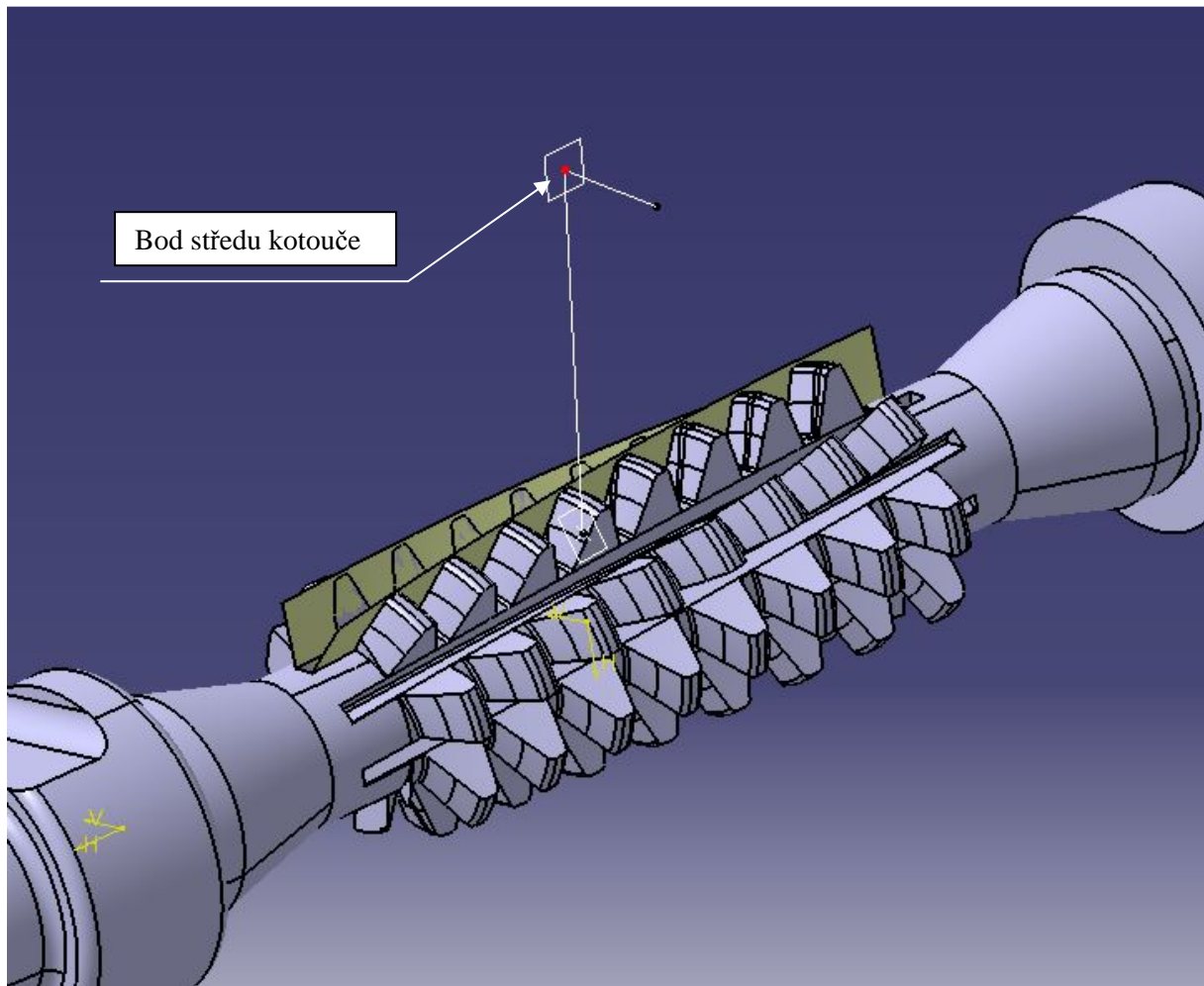
V následujícím kroku bylo nutné sestrojit rovinu kolmou na stoupání řídicí šroubovice, která tvoří stoupání plochy čel jednotlivých zubů, a soustavy kolmých rovin definujících střed a postavení kotouče ve drážce:

1. Rovina kolmá na stoupání (viz Obr. 24.: Pomocná geometrie – Krok 1):



Obr. 24.: Pomocná geometrie – Krok 1

Přímka definující osu kotouče vznikla vytvořením přímky kolmé na přímku definující poloměr kotouče v rovině kolmé na stoupání. Jejich průnikem vznikl bod definující střed kotouče (viz Obr. 27.: Bod středu kotouče):

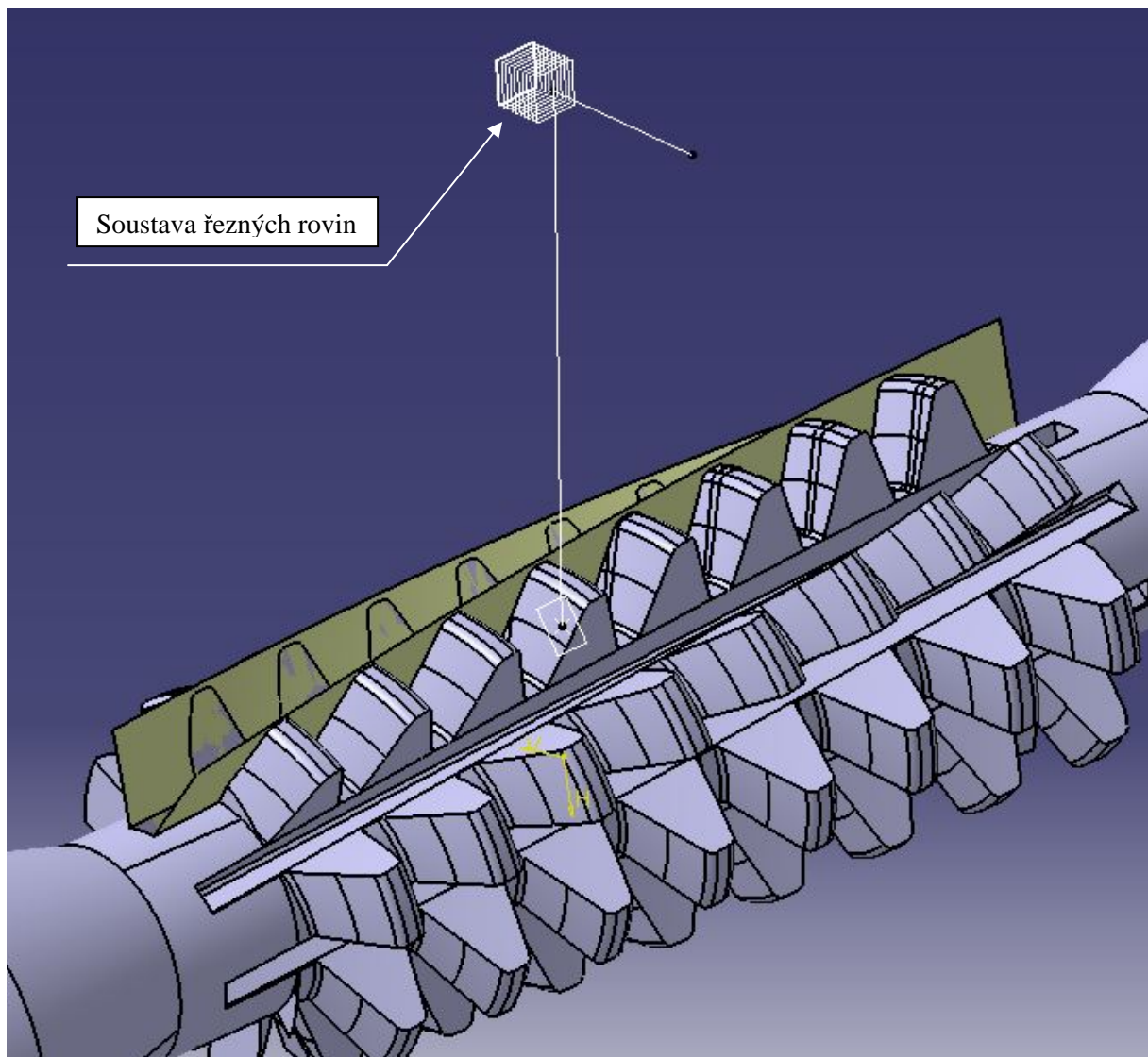


Obr. 27.: Bod středu kotouče

3.2.3. Vytvoření soustavy řezných rovin

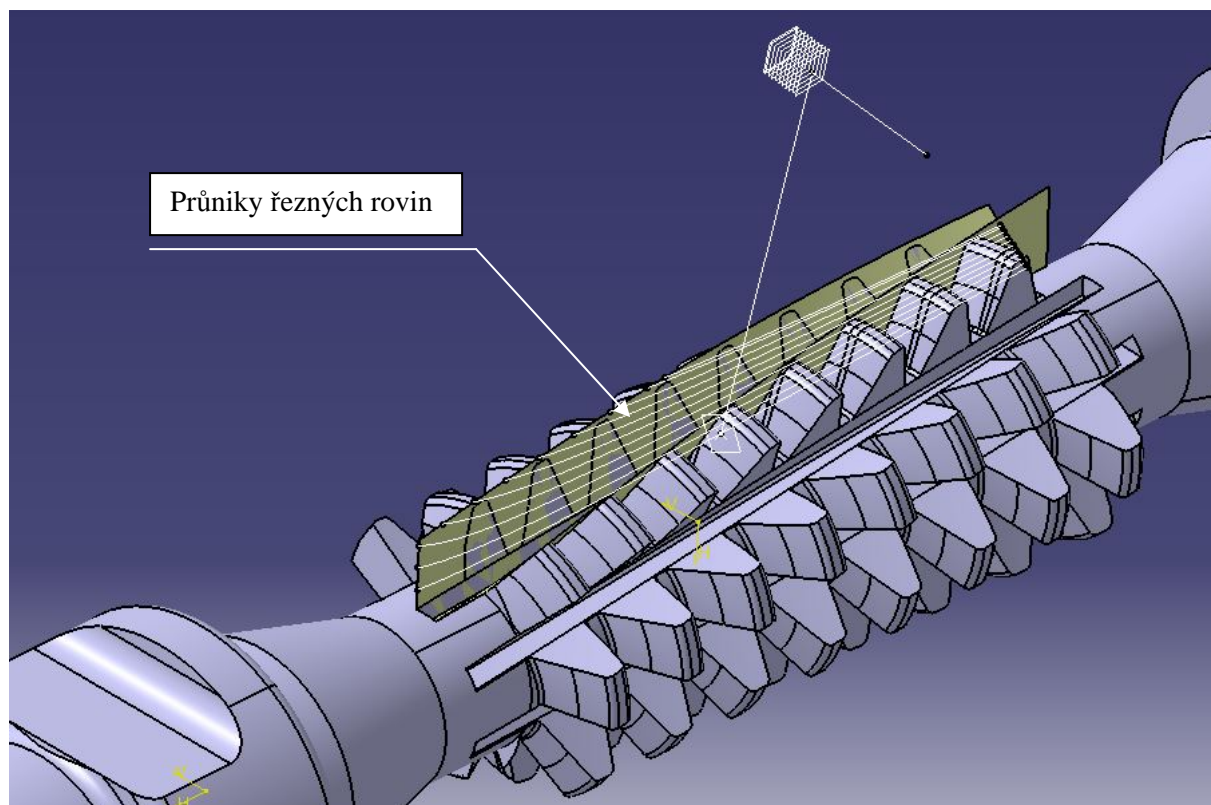
V následujícím kroku bylo nutné sestavit řezné roviny rovnoběžné s rovinou definující postavení kotouče ve drážce po zvolené vzdálenosti. Tyto roviny musí dále procházet středy přímkou definující osu kotouče. Čím kratší vzdálenost mezi jednotlivými rovinami, tím se stává konstrukce přesnější. Jako krok byla zvolena vzdálenost 0,5 mm mezi jednotlivými rovinami. Tyto roviny demonstrují „rozřezání“ brusného kotouče na jednotlivé díly. Tímto vznikne soustava kružnic o zmenšujícím se průměru. Dále bylo nutno vytvořit průniky řezných rovin a pomocné plochy pokrývající stoupání čel zubů. Toto je základem pro vyšetření křivky záběru:

1. Soustava řezných rovin (viz Obr. 28.: Řezné roviny):

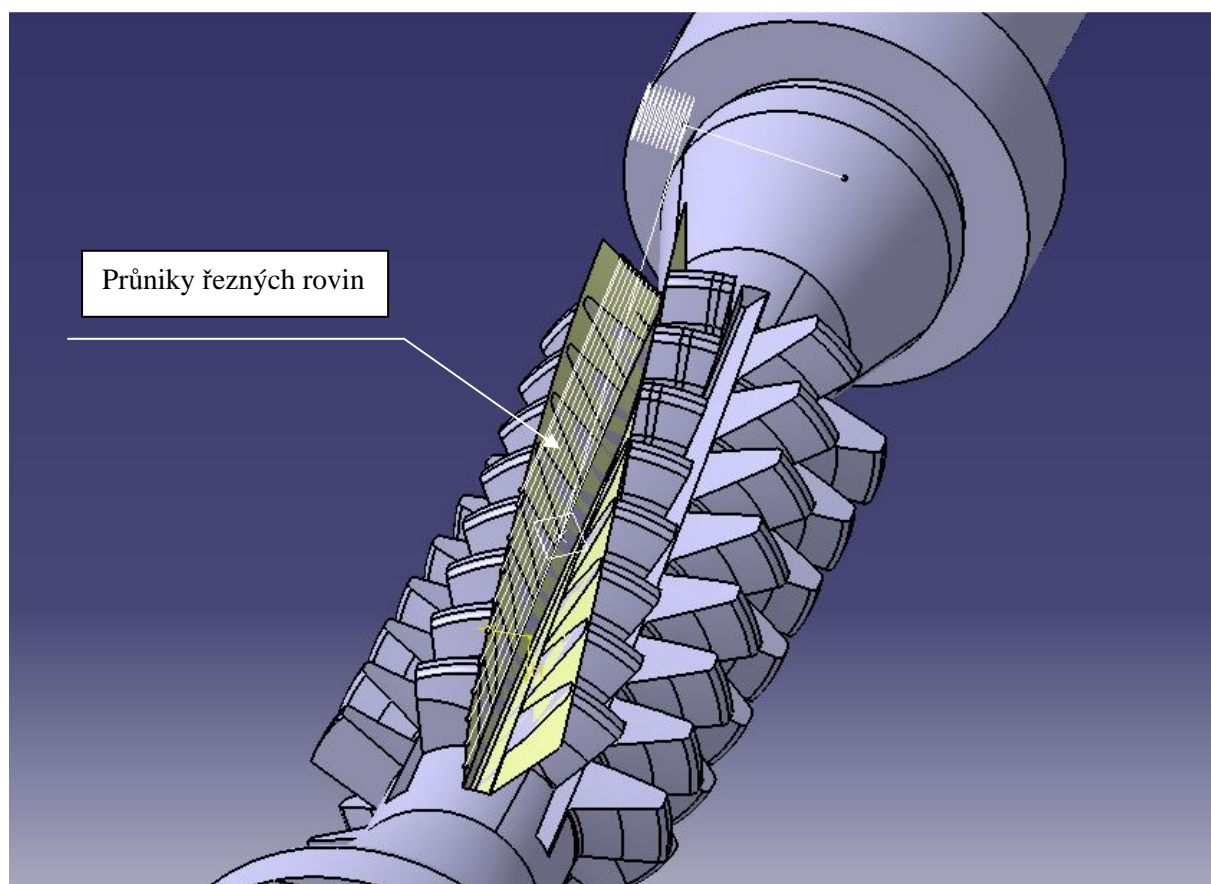


Obr. 28.: Řezné roviny

2. Průniky řezných rovin a pomocné plochy pokrývající stoupání čel zubů (viz Obr. 29a, 29b.: Průniky řezných rovin):



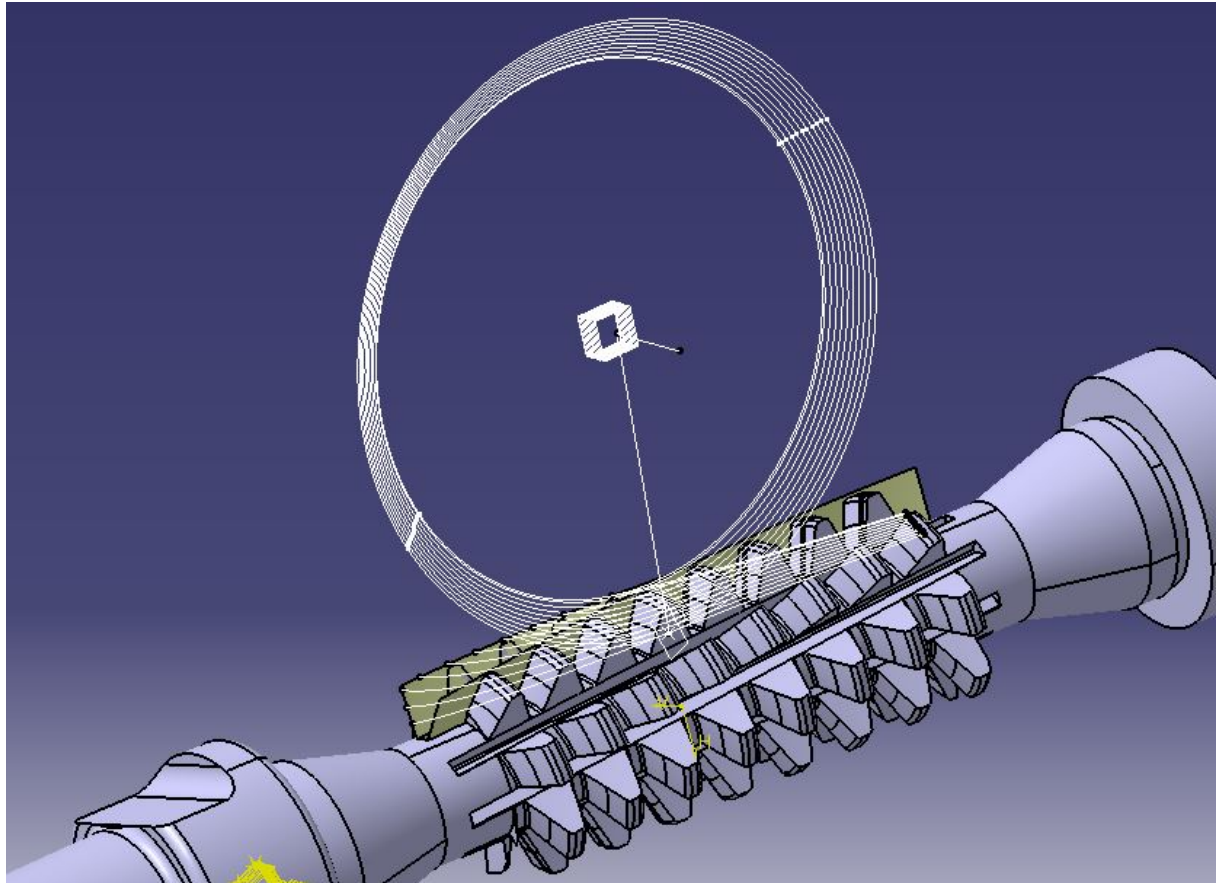
Obr. 29a.: Průniky řezných rovin



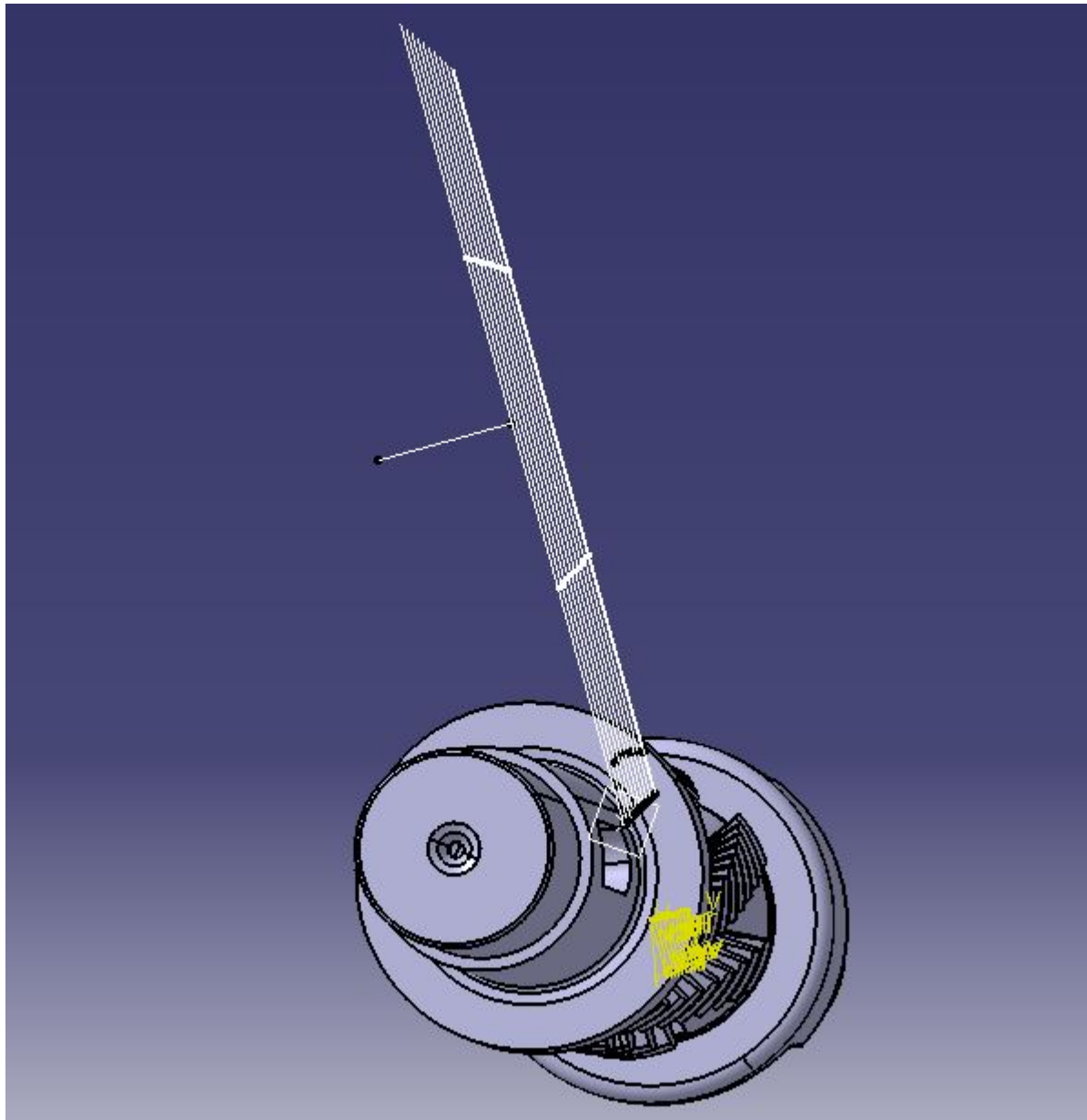
Obr. 29b.: Průniky řezných rovin

3. „Rozřezání“ kotouče - soustava kružnic, body záběru

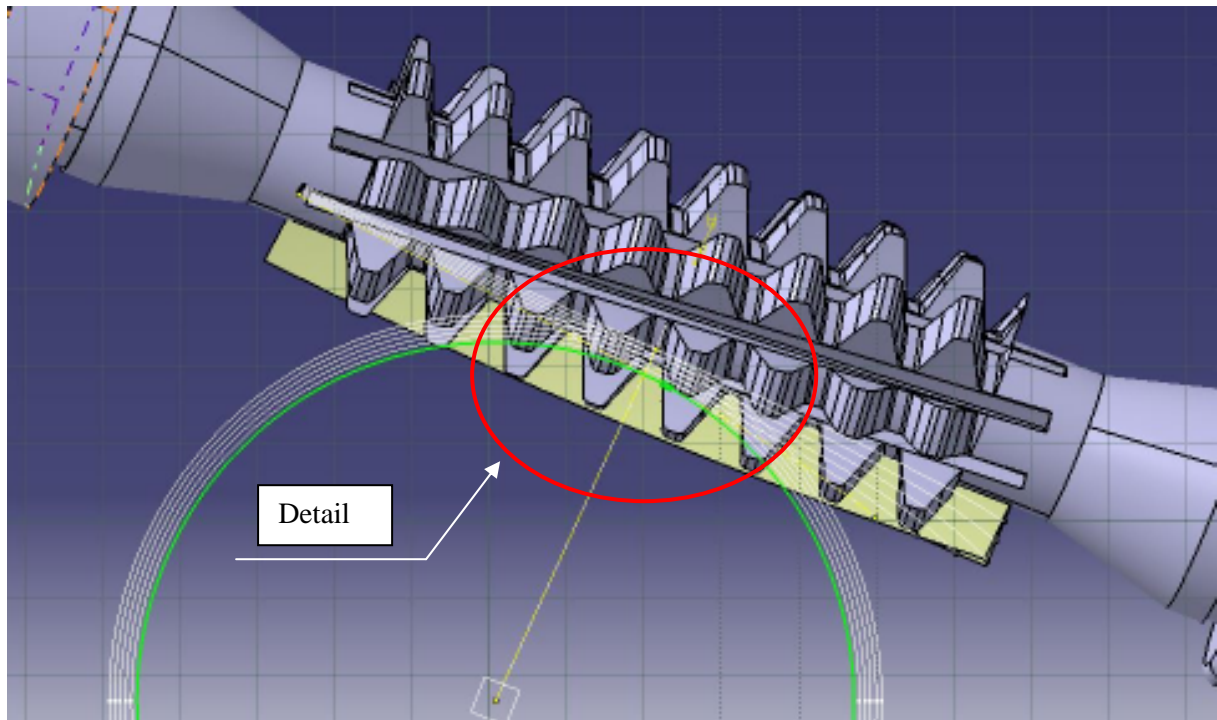
V každé řezné rovině byla vytvořena kružnice definující část kotouče se středem ležícím na přímce definující osu kotouče (viz Obr. 30.: Soustava kružnic, Obr. 31.: Soustava kružnic – pohled do roviny kolmé na stoupání řídicí šroubovice). Zavazbením tečností jednotlivých kružnic s průniky řezných rovin byly nadefinovány průměry každé kružnice a v místě dotyků jednotlivých kružnic a průniků řezných rovin vznikly jednotlivé body záběru (viz Obr. 33.: Detail) brusného kotouče do materiálu frézy. Soustava těchto bodů tvoří křivku záběru:



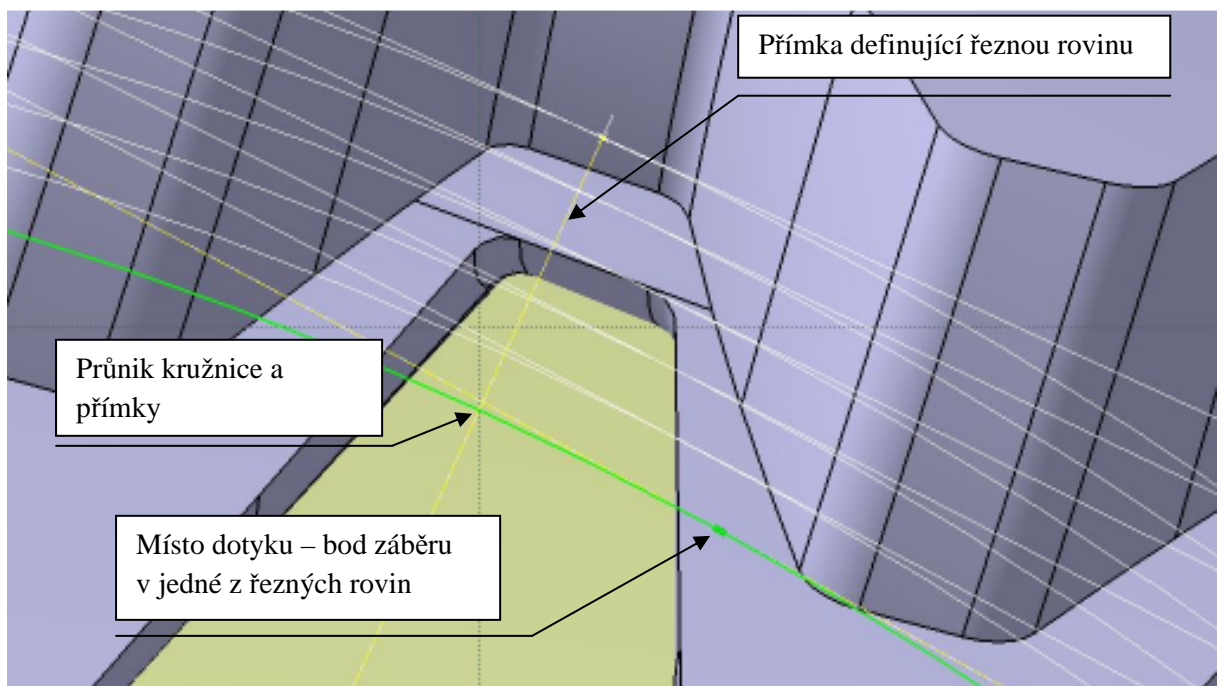
Obr. 30.: Soustava kružnic



Obr. 31.: Soustava kružnic – pohled do roviny kolmé na stoupání řídicí šroubovice

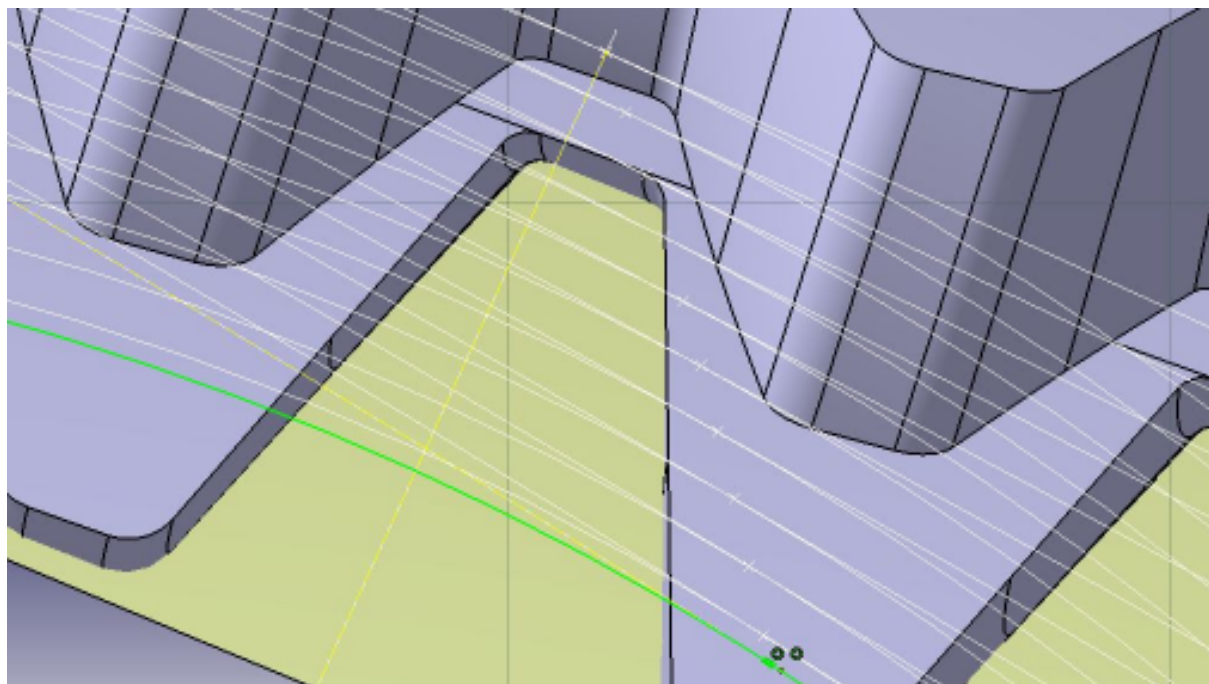


Obr. 32.: Pohled do jedné z řezných rovin

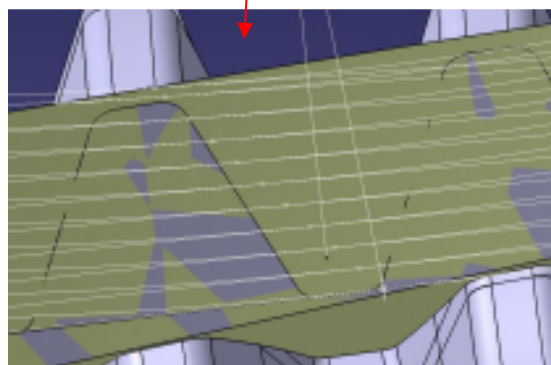
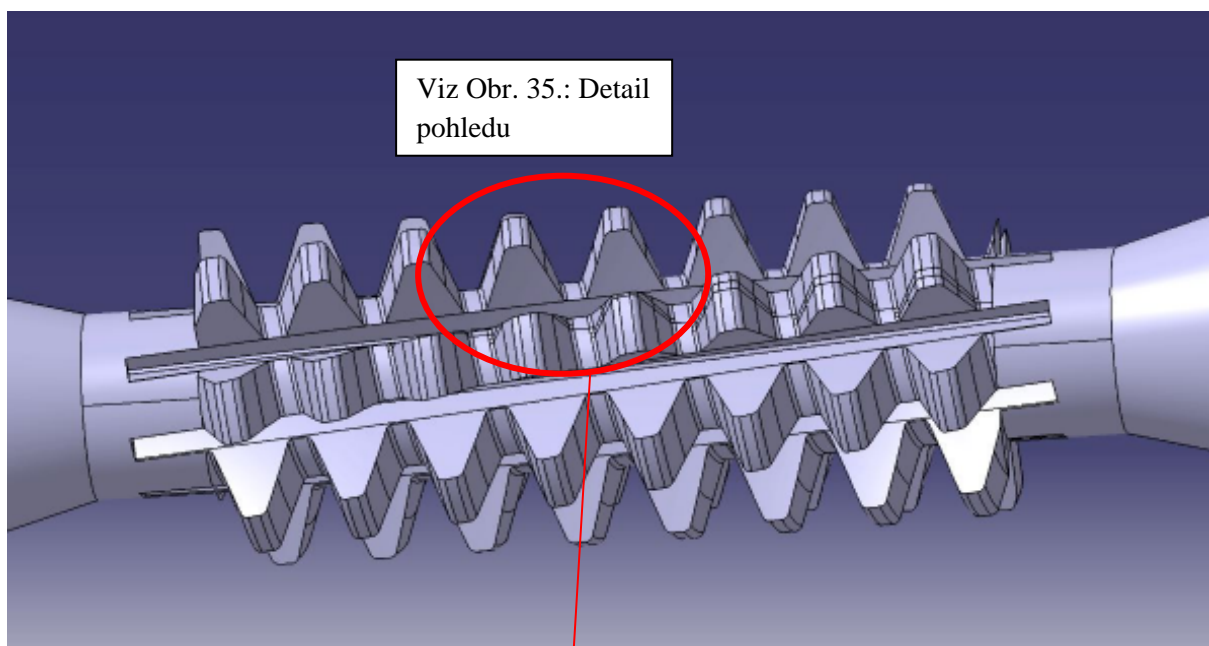


Obr. 33.: Detail

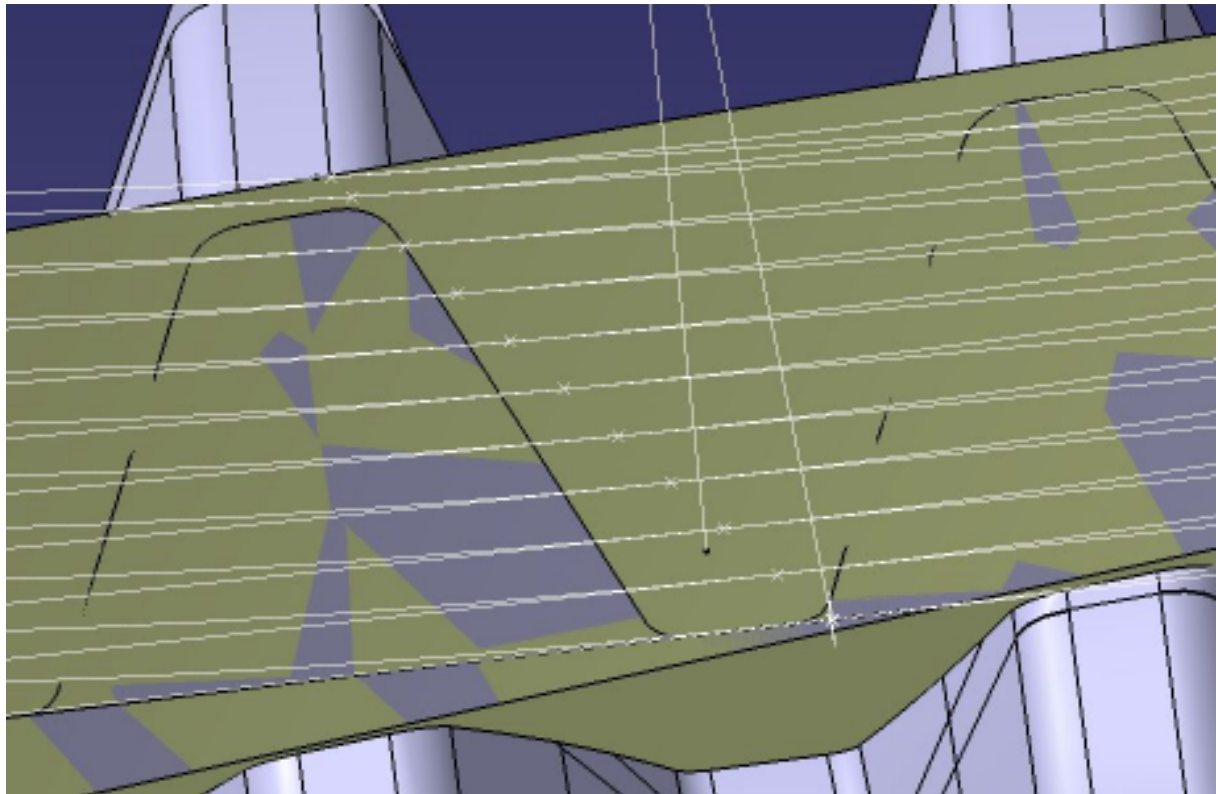
Na Obr. 33. je patrné, že místo dotyku kružnice (na Obr. 33. vyznačena zeleně) a průniku řezné roviny a plochy definující stoupání čel je odlišné od místa průniku kružnice a přímky definující stanovený poloměr kotouče. Toto lze nalézt ve všech řezných rovinách. Tyto body definují křivku záběru (vyznačeny bílým křížkem); (viz Obr. 34a, 34b.: Body křivky záběru):



Obr. 34a.: Body křivky záběru



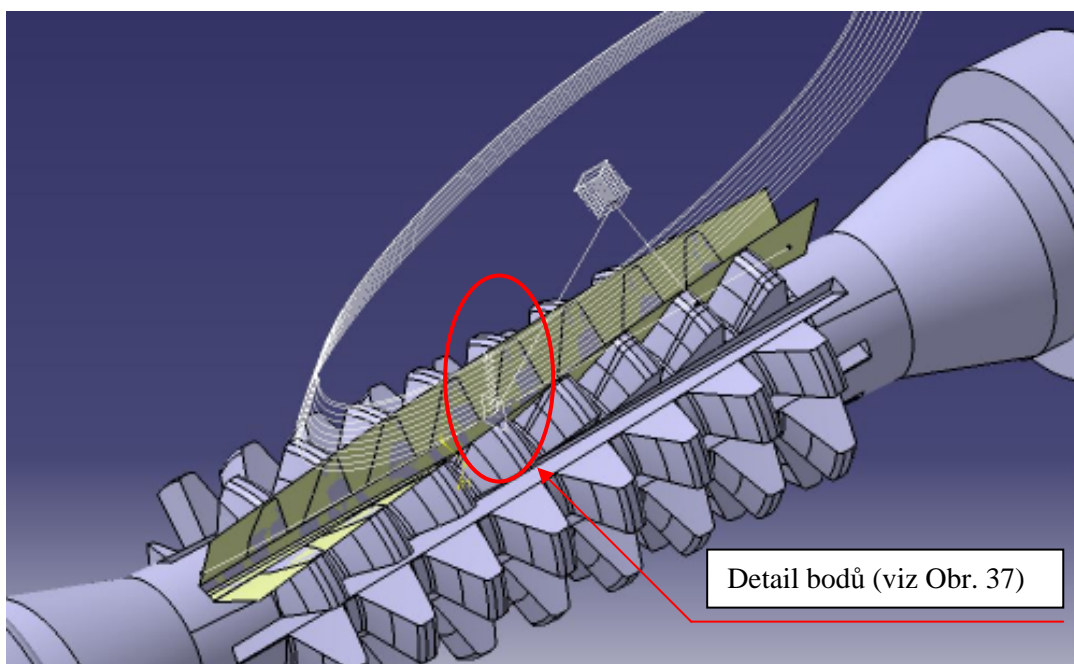
Obr. 34b.: Body křivky záběru



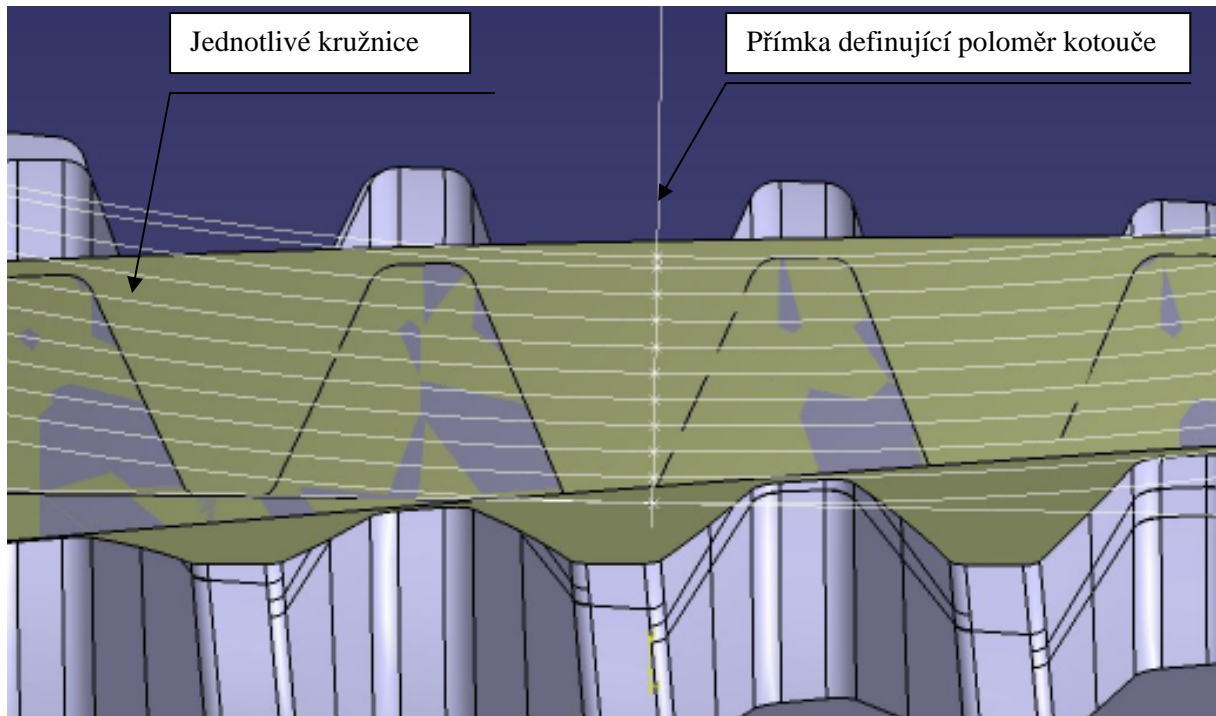
Obr. 35.: Detail pohledu

3.2.4. Vyšetření jednotlivých bodů nového profilu brusného kotouče

V následujícím kroku zbývalo nalezení jednotlivých bodů, které tvoří nový profil brusného kotouče. Jejich získání se dosáhlo pomocí průniků jednotlivých kružnic a přímky definující poloměr kotouče (pozn.: tato přímka musí být promítnuta do každé řezné roviny pro každou kružnici); (viz Obr. 36.: Body nového profilu):



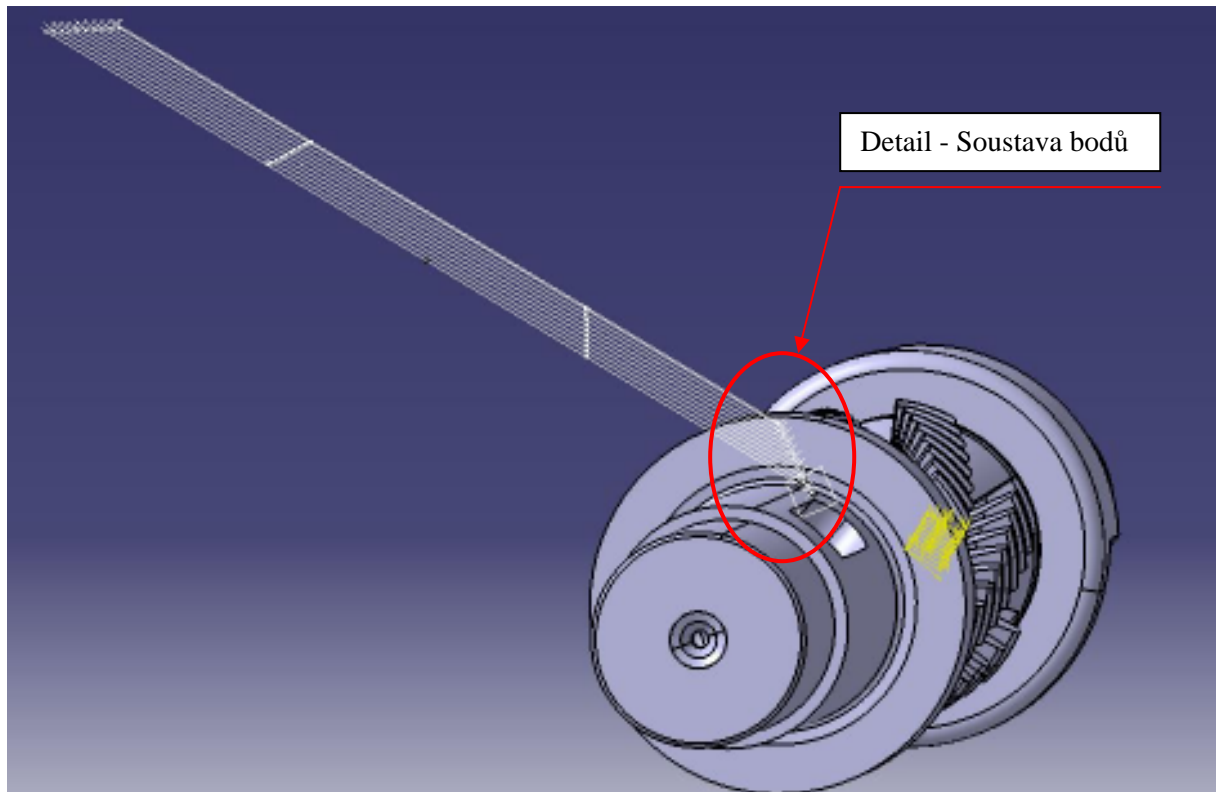
Obr. 36.: Body nového profilu



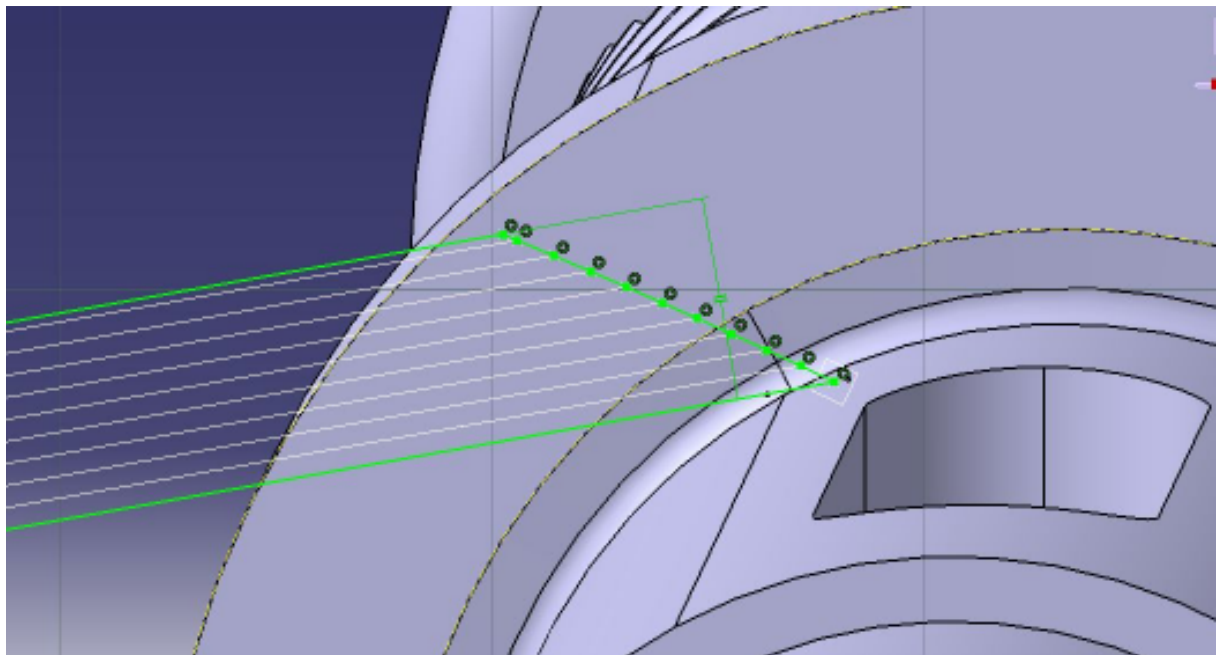
Obr. 37.: Detail bodů (pozn.: body vyznačeny bílým křížkem)

3.2.5. Nový tvar brusného kotouče

Hledaný tvar brusného kotouče pro řešenou problematiku vznikne spojením vyšetřených bodů průniků jednotlivých kružnic a přímky definující poloměr kotouče. Toto propojení musí být provedeno v rovině kolmé na stoupání šroubovice (viz Obr. 38a.: Pohled do vyšetřované roviny, Obr. 38.1.: Detail – soustava bodů), jelikož v této rovině bylo definováno postavení brusného kotouče ve drážce dle stoupání šroubovice čel zubů. Jednoduše řečeno, toto místo je nyní aktuální styk brusného kotouče a frézy. Při pootočení kotouče ve drážce jako při reálném broušení bude toto místo v jiném úseku čel, jelikož se dostaneme do jiné roviny kolmé na stoupání řídicí šroubovice:

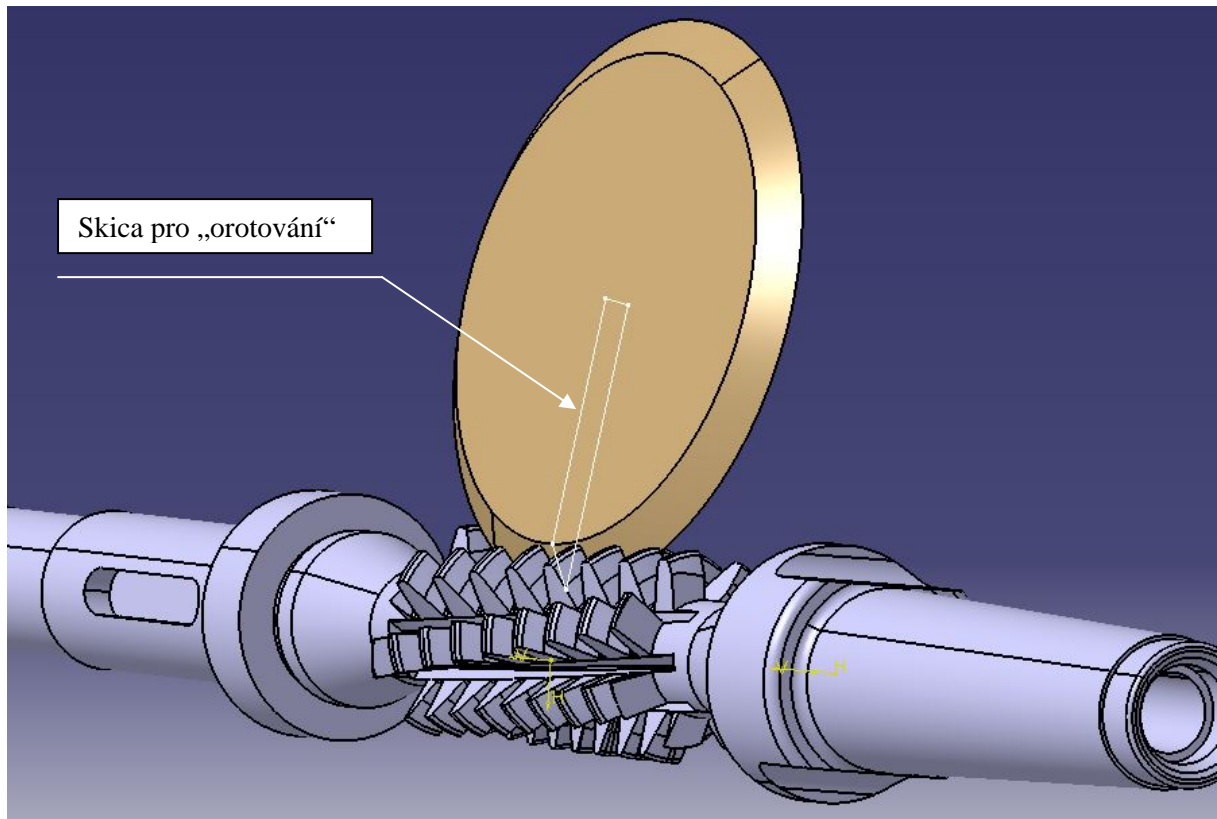


Obr. 38.: Pohled do vyšetřované roviny



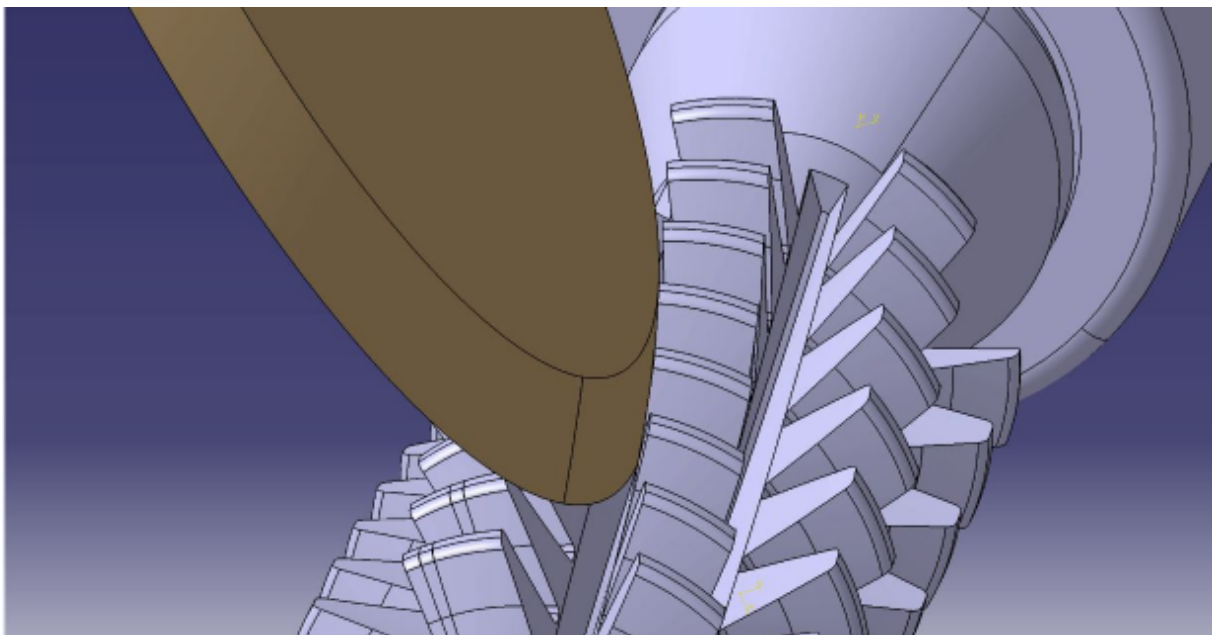
Obr. 38. 1.: Detail – soustava bodů (propojené pomocí interpolační křivky)

Propojením vyšetřovaných bodů byl získán nový profil brusného kotouče. Tzv. „orotování“ vzniklé skicy kolem přímky definující osu kotouče (na obrázku vyznačena zeleně) byl získán nový tvar brusného kotouče (viz Obr. 39.: Nový tvar):



Obr. 39.: Nový tvar

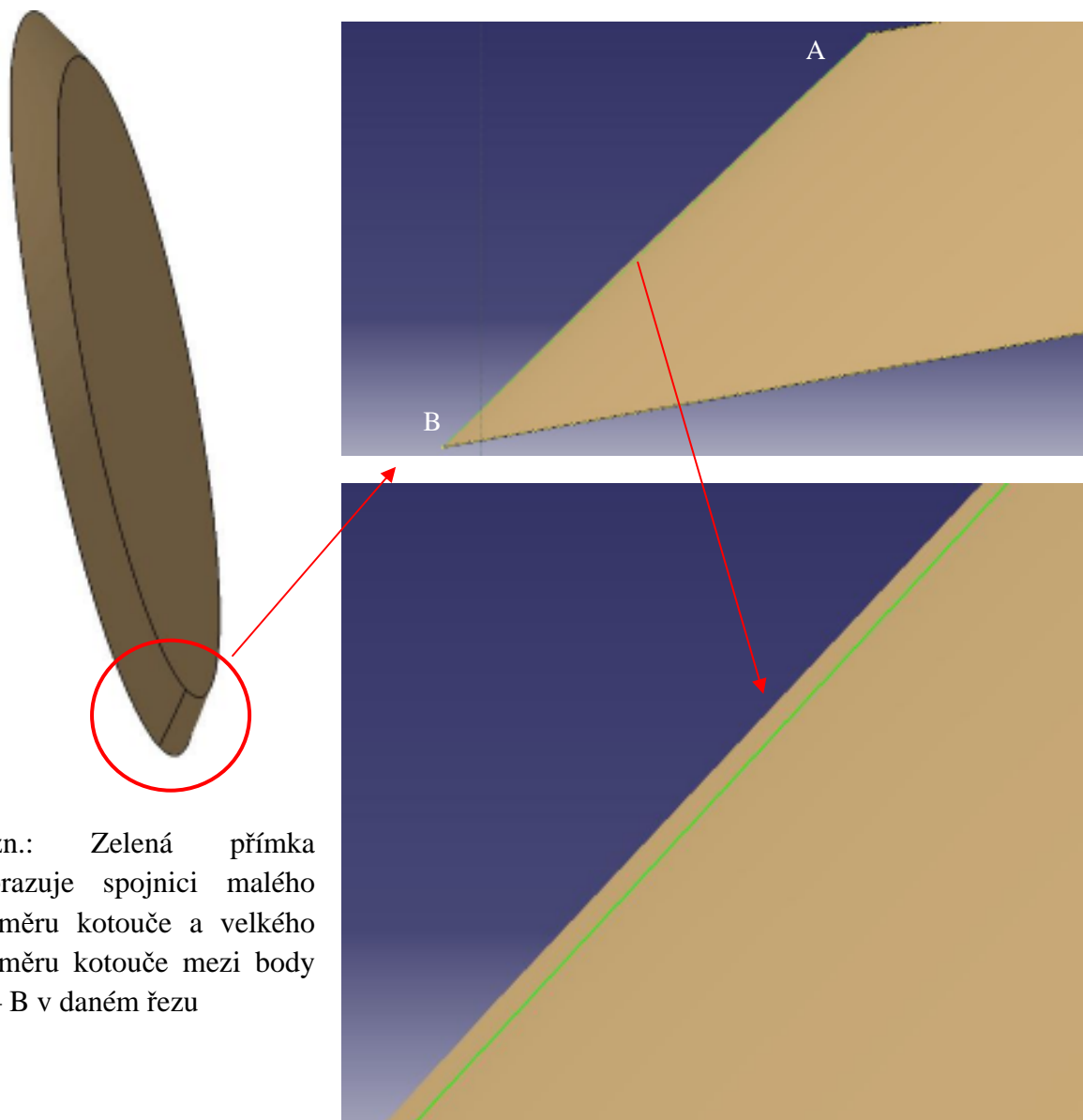
Pozn.: Nový tvar je značně užší než původní používaný, jelikož pro jeho vytvoření se použil pouze rozsah hloubky drážky.



Obr. 40.: Pohled do drážky

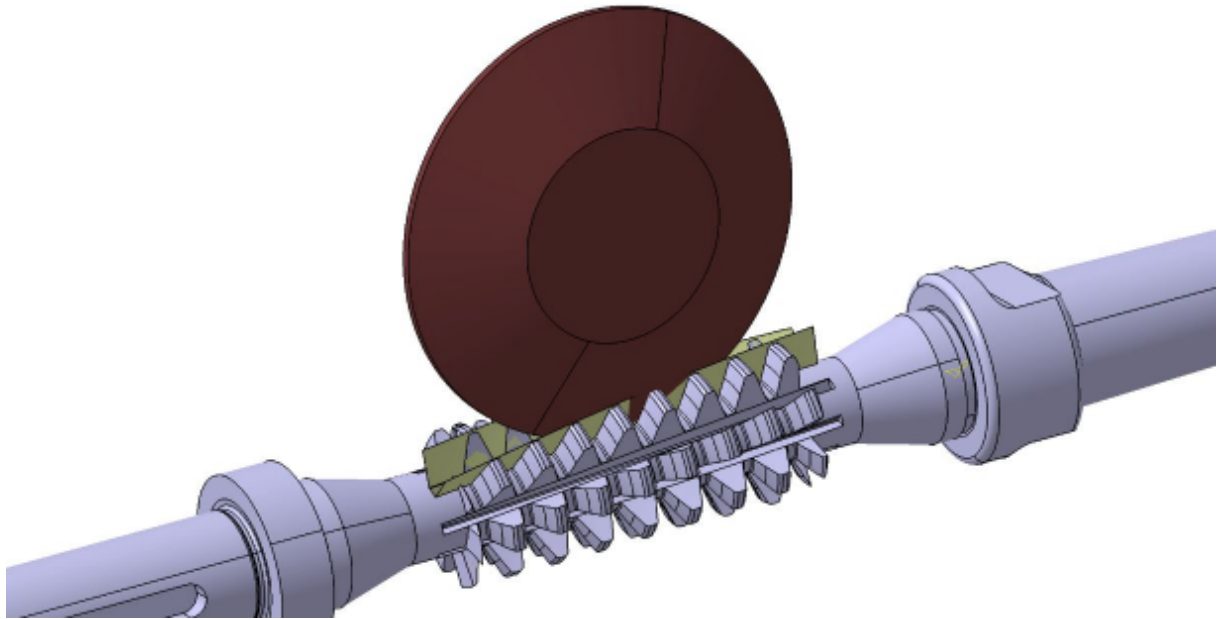
3.3. Ověření a porovnání s původním tvarem

Na základě bližšího prozkoumání bylo zjištěno, že nový tvar brusného kotouče má profil tvořen do mírného radiusu, což potvrdilo dřívější spekulace (viz Obr. 41.: Tvar profilu). Toto musí být zajištěno z důvodu, aby nedocházelo ke zmíněnému podříznutí šroubové drážky. Pokud je brusný kotouč tvořen přímým profilem, jako to bylo u původního tvaru, tak i přes ideální nastavení kotouče ve drážce na styk mezi kotoučem a plochou čel zubů v aktuální rovině kolmé na stoupání řídicí šroubovice, dojde k podříznutí čel zubů v místech příchodu částí kotouče do záběru s materiálem frézy (viz Obr. 42.: Původní záběr brusného kotouče). Podříznutí je částečně zaviněno kroucením plochy čel zubů do šroubovice a kotouč není schopný při stanovených rozměrech požadovaného natočení. Čím větší průměr kotouče se použije, tím dochází k většímu podříznutí. Toto platí i se zvětšující se hloubkou drážky (výškou zubů).

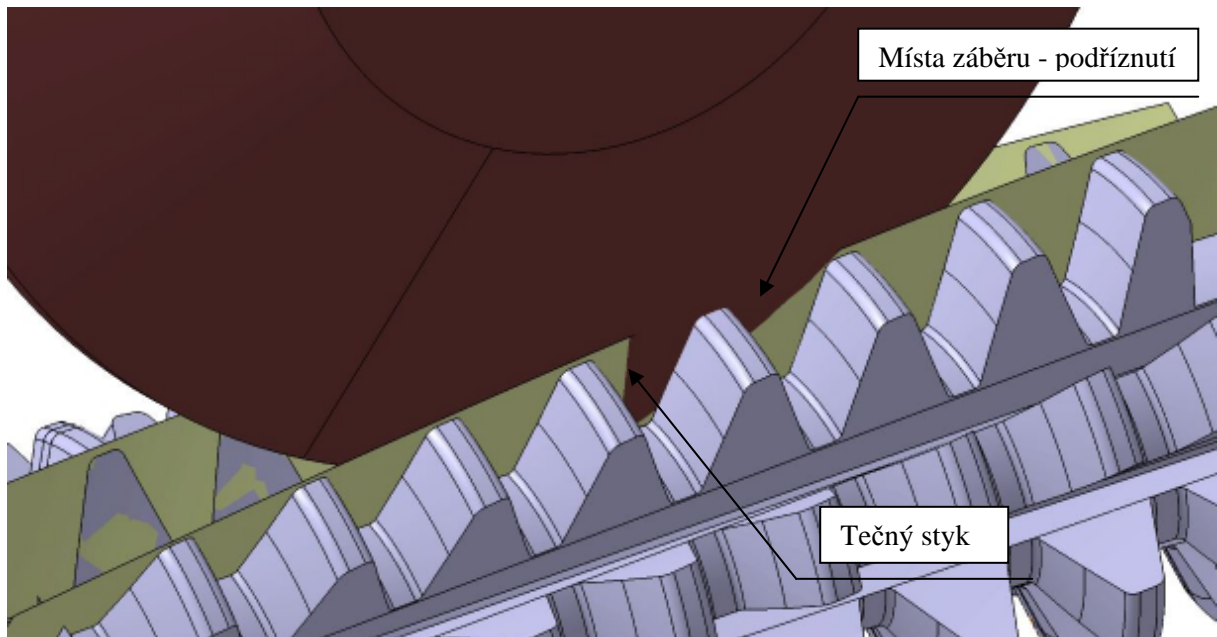


Pozn.: Zelená přímka zobrazuje spojnicí malého průměru kotouče a velkého průměru kotouče mezi body A – B v daném řezu

Obr. 41.: Tvar profilu

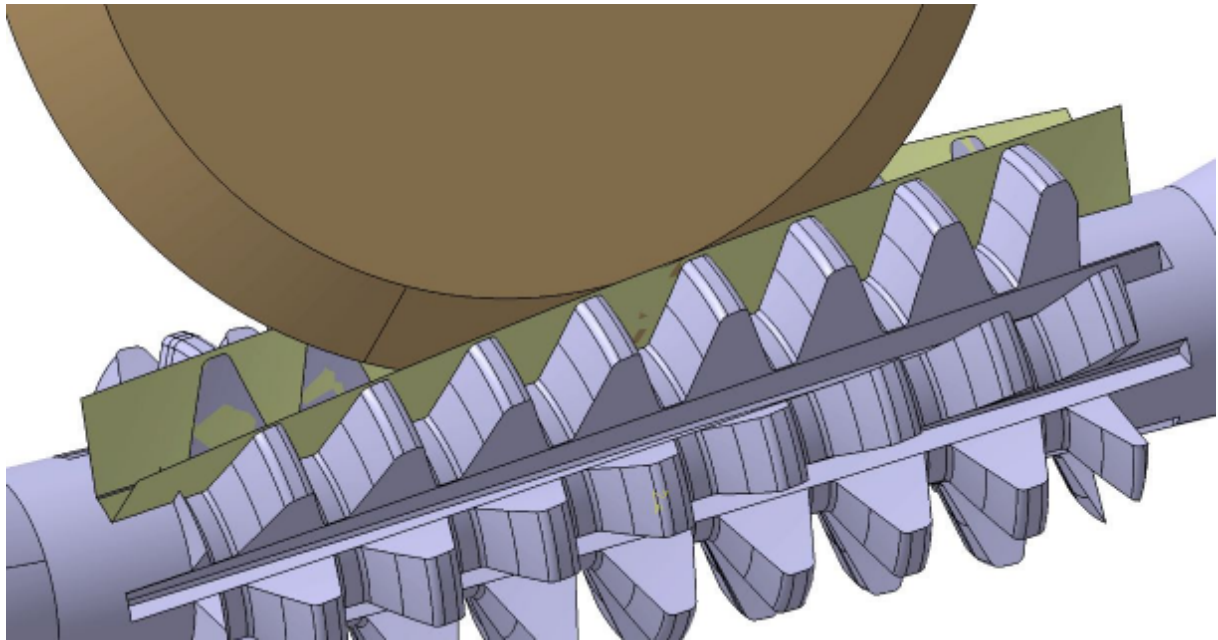


Obr. 42.: Původní záběr brusného kotouče



Obr. 43.: Detail původního záběru

Na Obr. 43 je značně patrné podříznutí plochy drážky vlivem tvaru kotouče. Konstrukce původního profilu kotouče byla provedena do stejné roviny, která byla použita pro vyšetření bodů nového profilu brusného kotouče. Bylo docíleno tečného styku mezi kotoučem a plochou čel, avšak i přesto je patrné, že v místech záběru dochází k podříznutí. Při zobrazení brusného kotouče nového tvaru ve drážce k podříznutí nedochází (viz Obr. 44.: Detail záběru); pozn.: dochází pouze k „prolnutí“ ploch vlivem grafického zobrazení.



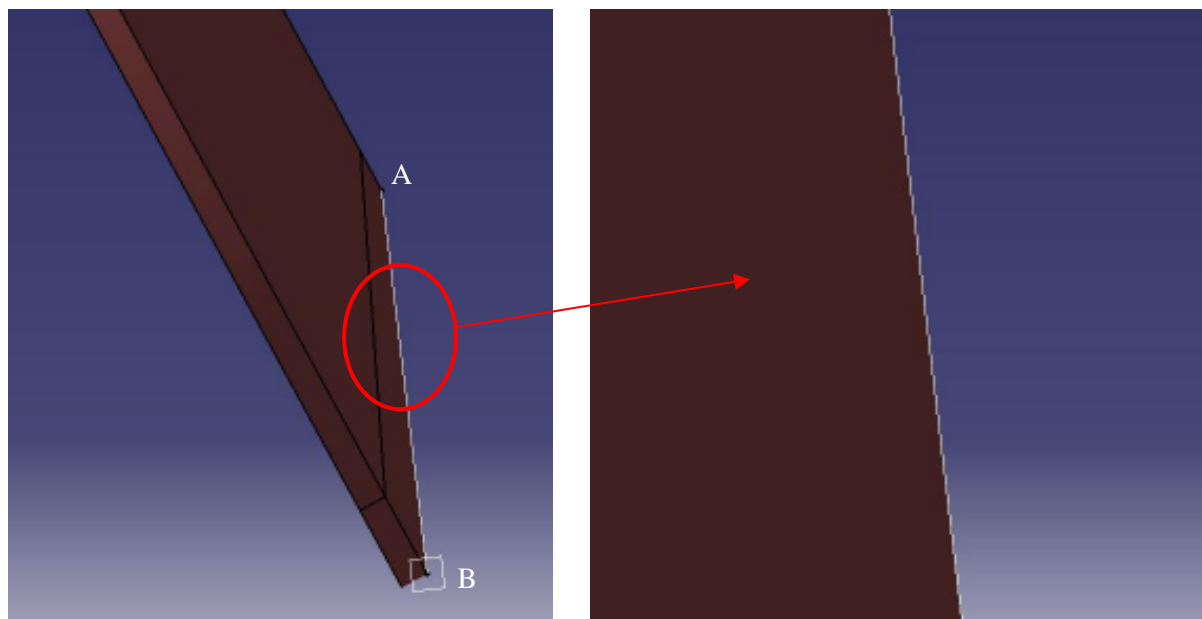
Obr. 44.: Detail záběru

3.3.1. Porovnání s původním tvarem

Na detailu Obr. 45 a Obr. 46 je patrná odlišnost obou profilů. U původního tvaru odpovídá profil řezné části kotouče přímce, která byla vytvořená jako spojnice bodů A – B. U nového tvaru profil řezné části v pohledu „převyšuje“ přímku vytvořenou jako spojnicí bodů A – B. To znamená, že nový profil je tvořen ne přímkou ale křivkou definovanou rádiusem. Toto tvrzení dokazují detaily pohledu do bodu A do bodu B, kdy křivka profilu z těchto bodů vychází a je totožná se spojnicí těchto bodů. Se vzdáleností ale dochází k rozbíhání křivky a přímky (viz Obr. 47.: Detail A, Obr. 48.: Detail B).

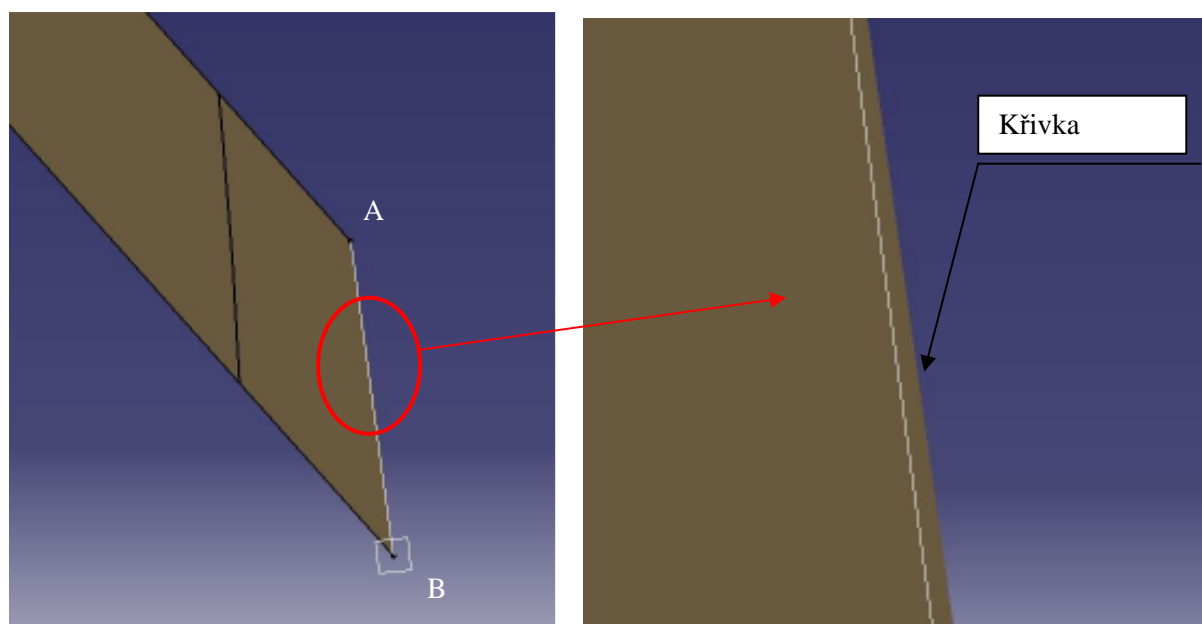
Pozn.: Všechny uvedené pohledy na oba profily kotoučů a jejich detaily jsou vytvořeny v jedné rovině totožné pro oba tvary (bod B je totožný pro oba tvary).

Původní tvar:

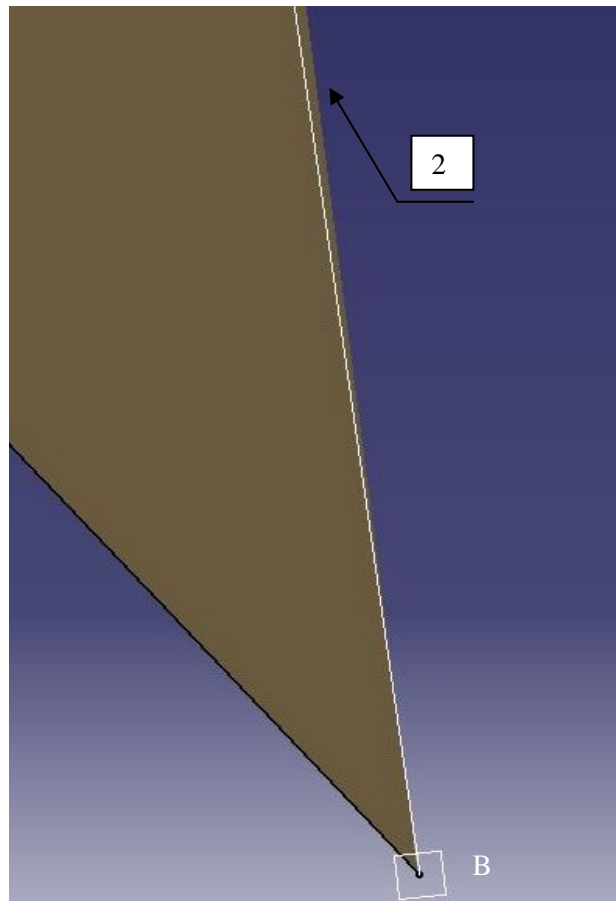
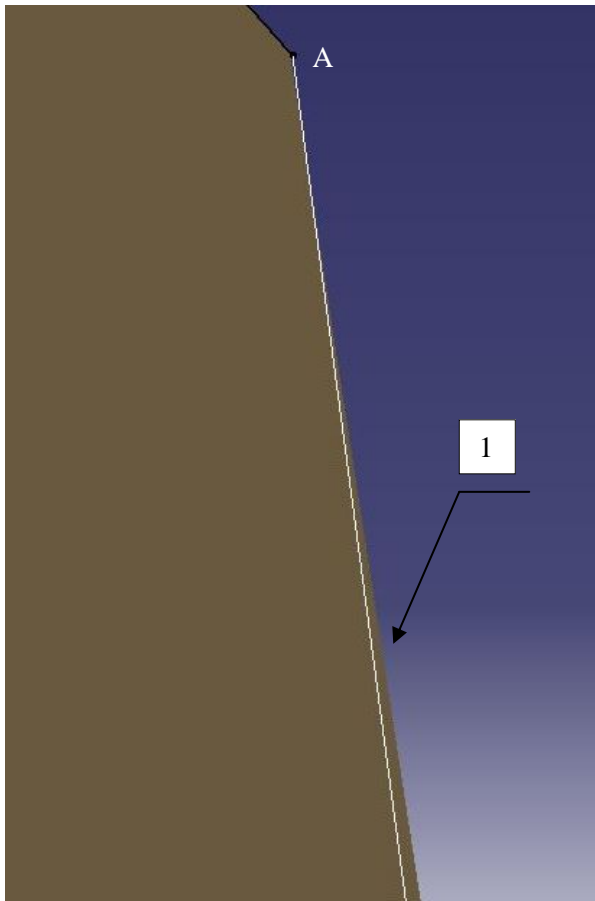


Obr. 45.: Původní tvar

Nový tvar:



Obr. 46.: Nový tvar



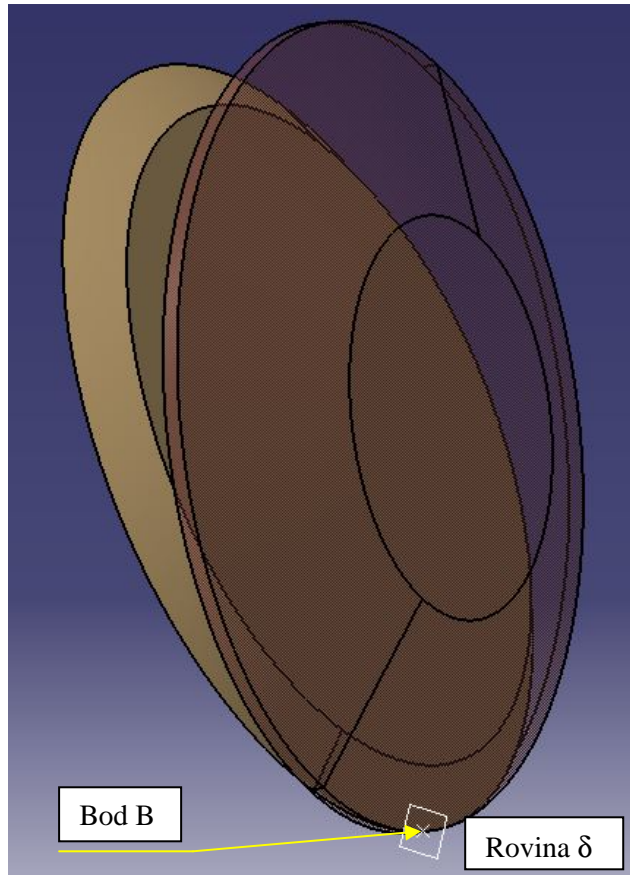
Obr. 47.: Detail A Obr. 48.: Detail B

Pozn.: Místa označená jako 1 a 2 poukazují na postupné rozbíhání křivky profilu a spojnice bodů A – B.

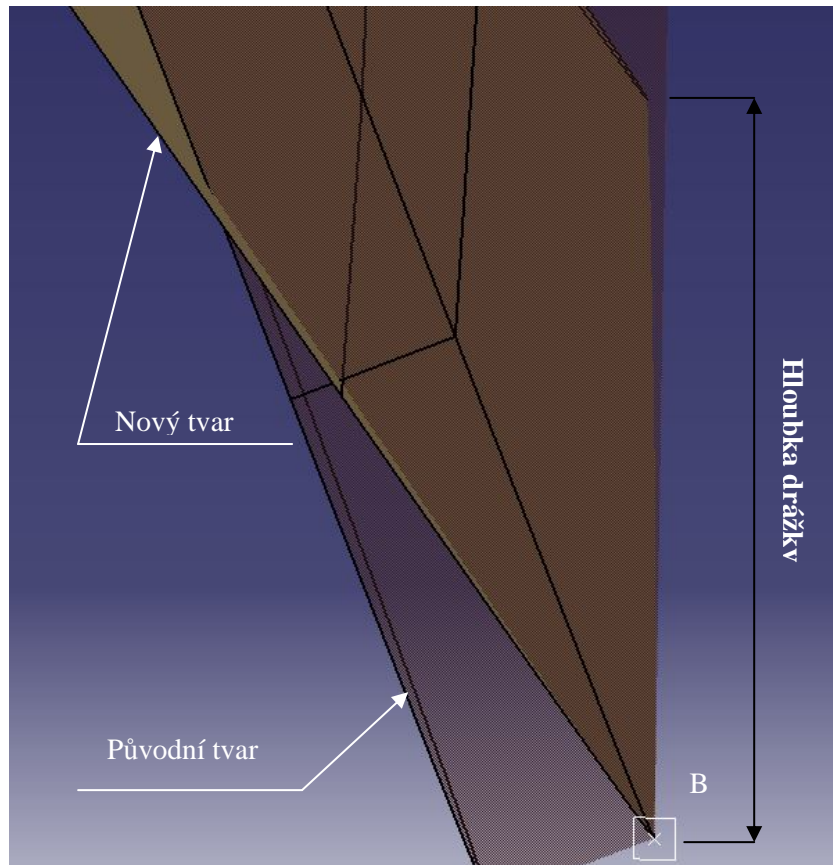
V rovině, která je společná pro oba tvary, byly vyšetřovány body nového profilu kotouče a také vytvořen profil původního tvaru kotouče (viz Obr. 49.: Překrytí tvarů, Obr. 50.: Detail překrytí (pohled do roviny δ). Tato rovina je na následujících obrázcích pojmenována jako rovina δ .

Na Obr. 50 je zobrazeno překrytí obou tvarů kotouče. Světle hnědou barvou je znázorněn nový tvar a transparentní tmavě hnědou je zobrazen původní tvar. Tento detail zobrazuje úsek (ozn.: hloubka drážky) původního kotouče, který je potřeba orovnat do tvaru nově navrženého pro dosažení nepodřezávání šroubové drážky po ploše čel zubů.

Pozn.: Na Obr. 49 a 50 nedochází k překrytí obou tvarů kotoučů v celém jejich objemu, ale pouze v rovině δ . Nepřekrytí je způsobeno tím, že nově navržený tvar vychází z konstrukční metodiky, která je zaměřená na vyšetření požadovaného tvaru v místech dotyku mezi kotoučem a plochou čel zubů. Výsledný tvar je následně získán soustavou bodů v rovině δ . „Orotováním“ těchto bodů vznikne nový tvar kotouče s požadovaným profilem, nikoliv jeho napolohování ve drážce jako při broušení (samozřejmě napolohování dle stoupání šroubovice je dodrženo). Původní tvar, přesněji jeho profil, je taktéž vytvořený v rovině δ , ale je také dodrženo celkové napolohování ve drážce jako při obrábění.



Obr. 49.: Překrytí tvarů



Obr. 50.: Detail překrytí (pohled do roviny δ)

4. Návrh řešení orovnění brusného kotouče

Konstrukční metodikou byl získán nový tvar kotouče, respektive nový tvar pouze v místech pokrývajících hloubku broušené drážky. Vzhledem k provedení konstrukce a vytvoření nového i původního tvaru do stejné roviny se společným počátečním bodem řezné části bylo získáno grafické zobrazení míst, ve kterých je potřeba původní kotouč orovnat do nově navrženého tvaru. Využije se tedy původní používaný kotouč, který se upraví do nového tvaru a na řezné části pokrývajících hloubku drážky takto vznikne tvarový profil místo původního přímkového.

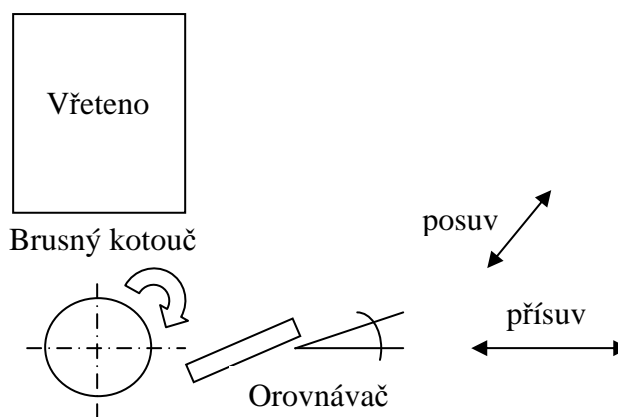
Návrh orovnění a výběr vhodné strategie byl realizován za podpory 3D CAD/CAM softwaru Catia V5. Cílem je získání zobecněných NC dat, které mohou být modifikovány dle použitého stroje pro orovnění, konkrétního typu orovnávače a pro něj vhodných řezných podmínek.

4.1. Orovnávání brusných kotoučů

Jak již bylo uvedeno v úvodu, brusné kotouče mají samoostřící vlastnost, kdy nová ostrá zrna nahrazují původní opotřebovaná, která se vylamují. Při broušení nejdu obvykle do záběru celá zrna, ale pouze jejich části, které převyšují křivku profilu. Proto se velmi často stává, že odcházející střísky z řezu vyplní místa kotouče mezi pojivem a broušeným povrchem. Při následném otupování brusných zrn dochází k jejich postupnému splynutí s místy vyplněnými třískami. V tomto stavu je brusný kotouč otupený a nelze s ním dále brousit za požadovaných řezných podmínek a výsledného efektu. Orovnáním se brusný kotouč přeastří úběrem otupených zrn a ulpělých třísek. Takto se zachová jeho geometrie, ale při zúžení jeho šířky. Další možností je, že se pomocí orovnění upraví stávající tvar kotouče do tvaru požadovaného. Lze provádět orovnávaní rovinné i tvarové. Přesné orovnávaní a tvarování se provádí pomocí diamantových orovnávačů. Existuje celá řada typů od jednokrystalových, vícekrystalových až po prachové, které se liší vhodností aplikace, možností broušení, včetně různých tvarů těla a hlavy těchto nástrojů. Vzhledem k aktuální problematice a možnosti zobecnění navrhovaného řešení je optimální použití jednokrystalového orovnávače, jelikož se jedná o klasické nástroje pro orovnávaní brusných kotoučů. Vsazený diamant by mělo být možné brousit z důvodu tvarového orovnávaní. *Broušené orovnávače mají možnost dosažení co nejvyšší přesnosti orovnaného povrchu a prodloužení životnosti. Tyto orovnávače dokážou nejkvalitněji orovnat kotouč s vysokou přesností a nejvyšší řezivostí [7].*

4.1.1. Kinematika při orovnávaní

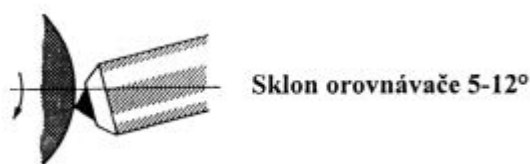
Brusný kotouč je upnutý ve vřetení (nejčastěji vertikálně) a v průběhu orovnávaní se otáčí pouze kolem své osy, výchozí poloha je neměnná. Orovnávač je napolohován mírně pod úhlem (viz 4.1.2 Obecné zásady orovnávaní jednokrystalovými orovnávači; Obr. 52.: Napolohování orovnávače) a při orovnávaní se pohybuje po ploše kotouče ve směru přísuvu a posuvu dle zadané dráhy (viz Obr. 51.: Kinematika při orovnávaní).



Obr. 51.: Kinematika při orovnávání

4.1.2. Obecné zásady orovnávání jednokrystalovými orovnávači [7]

Při orovnávání je požadováno tuhé upnutí orovnávače a intenzivní chlazení započaté před stykem orovnávače a brusného kotouče (jinak by mohlo dojít k nadměrnému opotřebení orovnávače). Hloubku záběru je možno volit v rozmezí 0,01 – 0,05 mm, posuv je možno volit v rozmezí 0,05 – 0,15 mm/ot. Špičku orovnávače je doporučeno napolohovat ve směru orovnávání mírně pod osu kotouče v rozmezí 5 - 12° (viz Obr. 52.: Napolohování orovnávače).



Obr. 52.: Napolohování orovnávače

4.2. Orovnání – návrh strategie

Před návrhem strategie orovnávání a vytvoření simulace bylo nejprve nutné vytvořit pomocnou geometrii z důvodu nastavení operace v 3D CAM systému a zajištění správného vygenerování drah při orovnávání.

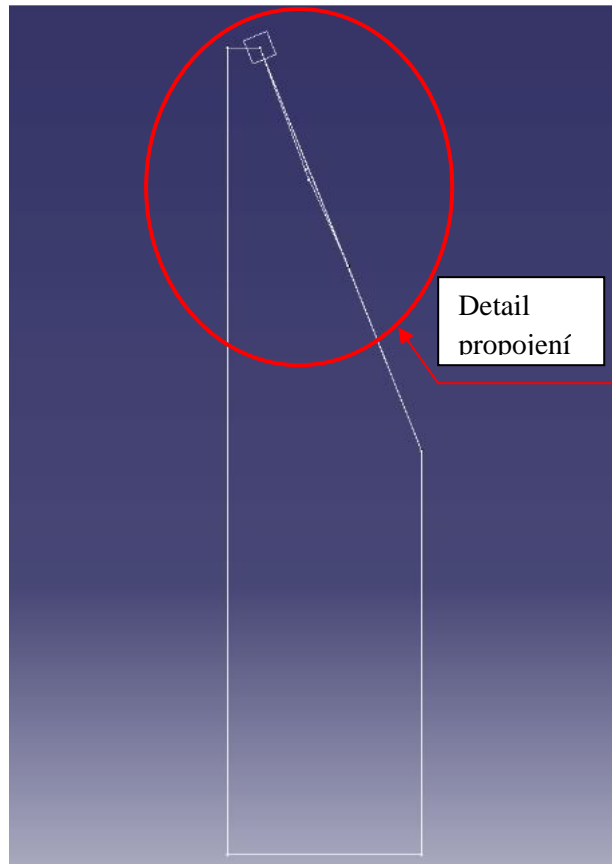
Výchozím stavem pro vytvoření potřebné geometrie byl nově navržený tvar kotouče (jeho profil jako řídicí křivka) a původní model kotouče.

4.2.1. Vytvoření geometrie

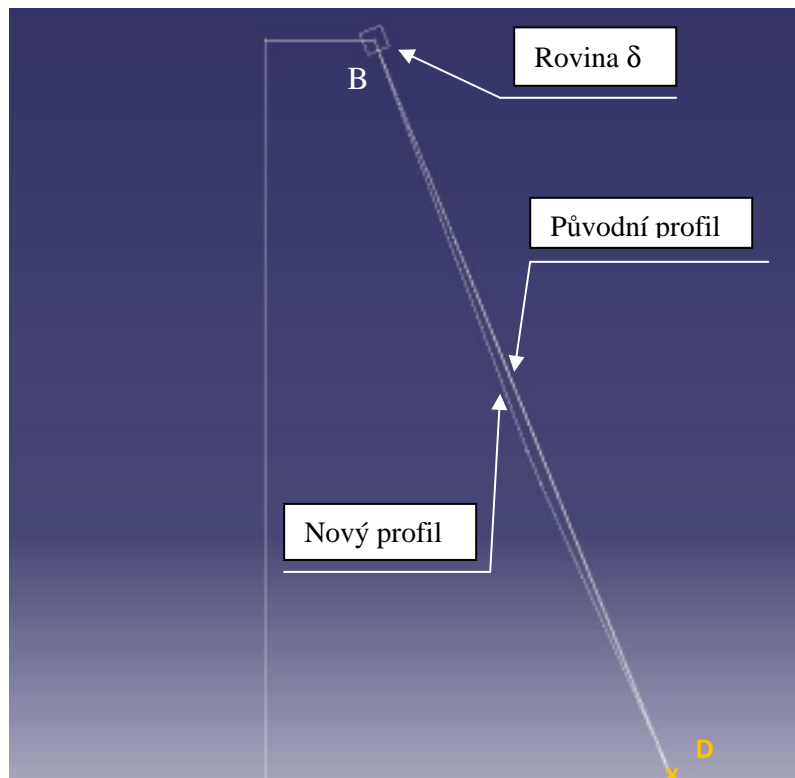
Propojením geometrie profilu původního modelu kotouče a řídicí křivky nového profilu, vznikl model kotouče (pojmenován pro tuto operaci jako Nový profil 2), který by měl být získán po orovnávání původního tvaru:

Pozn.: Propojení geometrie a vytvoření Nového profilu 2 bylo provedeno v rovině kolmé na stoupání (v kapitole 3 označena jako rovina δ). Oba profily mají opět společný bod B (viz Obr. 54.: Detail propojení).

1. Propojení geometrie profilu původního modelu kotouče a nového profilu (viz Obr. 53.: Propojení geometrie):



Obr. 53.: Propojení geometrie

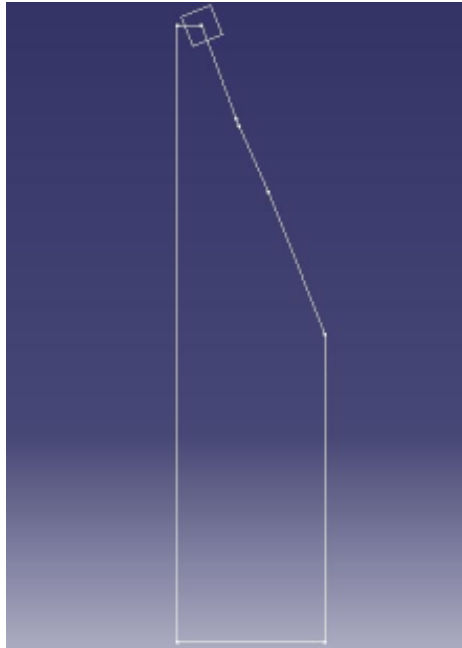


Obr. 54.: Detail propojení

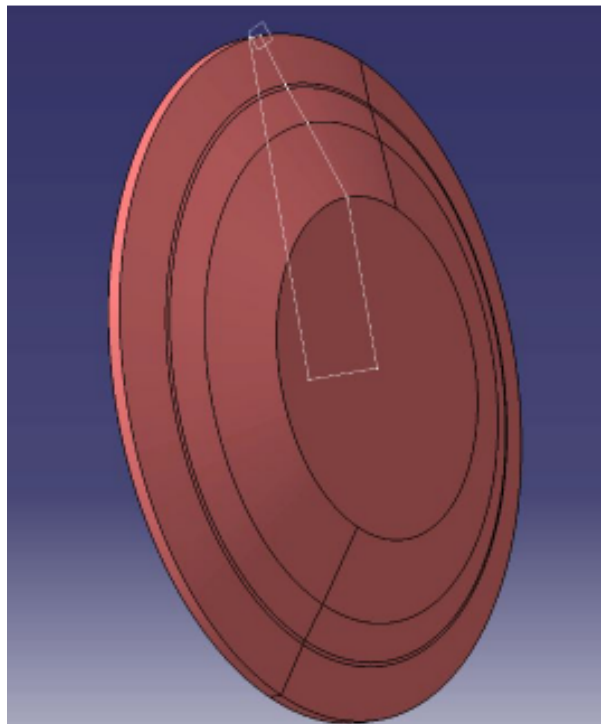
Pozn.: Propojení je navrženo tak, aby docházelo k pozvolnému splynutí obou křivek profilů. Prodloužení křivky nového profilu je provedeno pomocí přímky tečné k přímce původního profilu v místě D. Tato přímka je ke křivce navázána pomocí radiusu z důvodu zaručení přesného orovnění.

2. Vytvoření Nového profilu 2:

„Orotováním“ skicy (viz Obr. 55.: Skica) vzniklé propojením byl získán model kotouče (viz Obr. 56.: Nový tvar 2), který by měl být dosažen po orovnění původního tvaru kotouče:



Obr. 55.: Skica

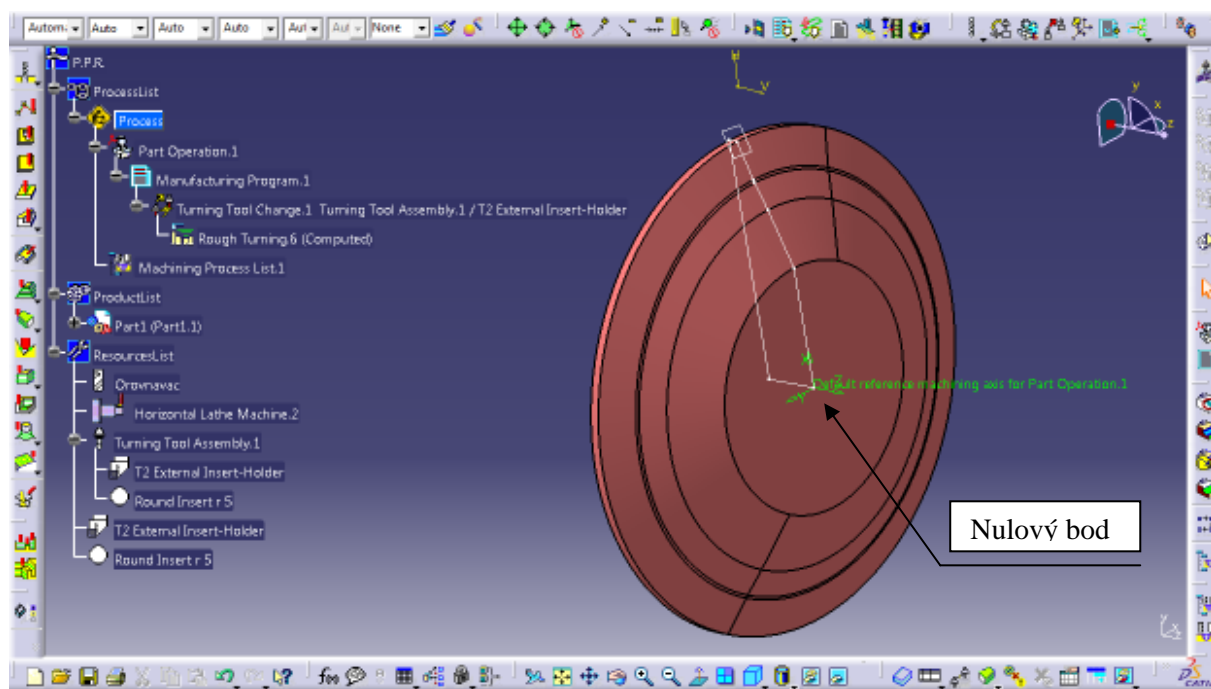


Obr. 56.: Nový tvar 2

Nově navržený byl použit jako součást, která má orovnááním vzniknout, a původní tvar kotouče byl použit jako polotovár.

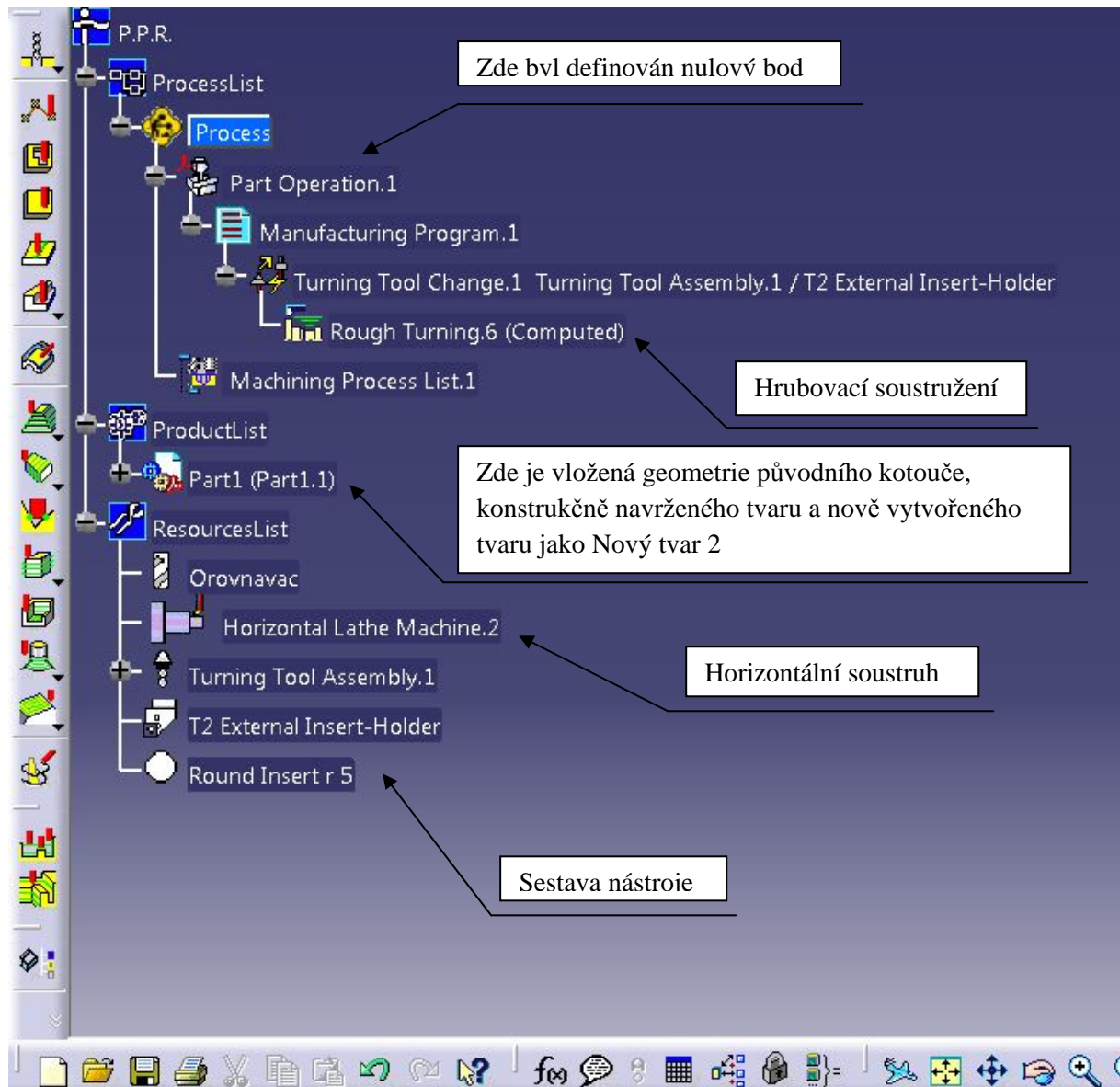
4.2.2. Strategie orovnáání

Vzhledem ke kinematice při orovnáávání bylo navrženo využití modulu soustružení, kde se otáčí obrobek kolem své osy a soustružnický nástroj vykonává pohyby ve směru posuvu a přísvuvu. Nulový bod byl vložen do středu brusného kotouče z důvodu možnosti přesného najetí (viz Obr. 57.: Nulový bod).



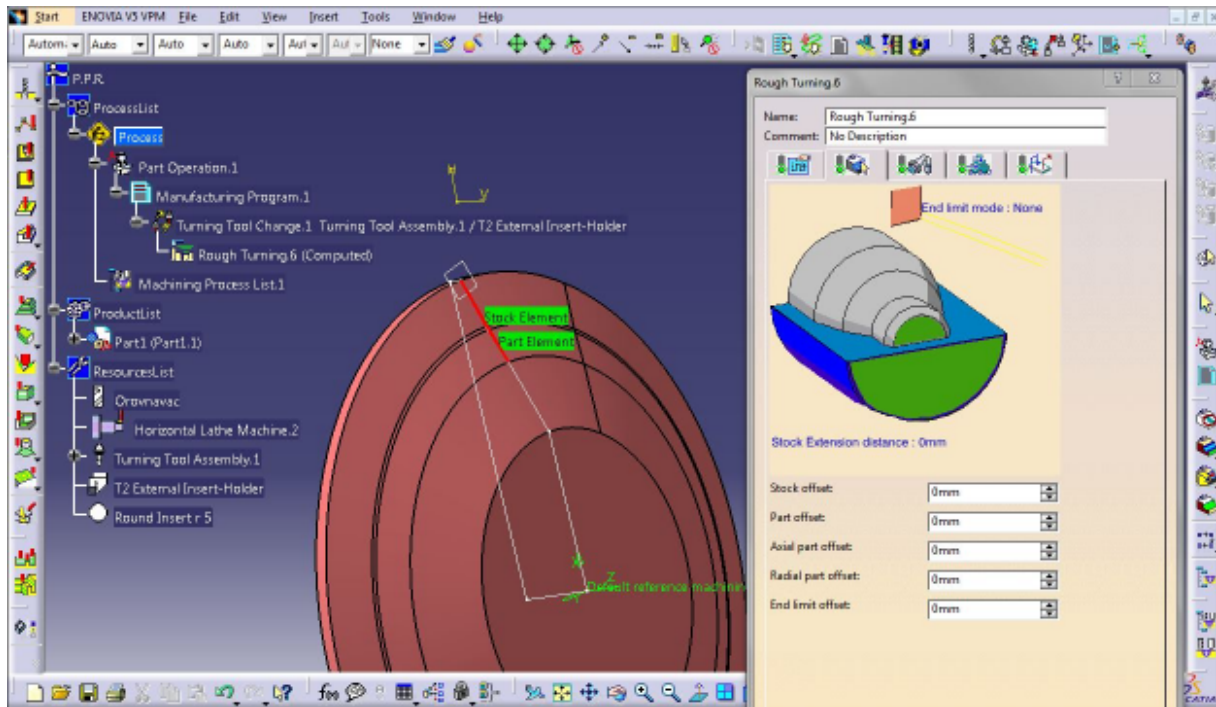
Obr. 57.: Nulový bod

Pro navržení strategie bylo využito hrubovací operace soustružení, jelikož úběr orovnávače může být maximálně 0,05 mm třísky. Dráhy tedy musí být paralelně s řídicí křivkou (křivka navrženého profilu). Při výběru jiné strategie by bylo dodrženo dráhy dle řídicí křivky, ale pouze na jeden úběr, který by přesáhl mezní hodnotu 0,05 mm. Stroj byl zvolen jako horizontální soustruh, poloměr zaoblení špičky nástroje bylo zvoleno 0,5 mm (viz Obr. 58.: Vstupní informace)

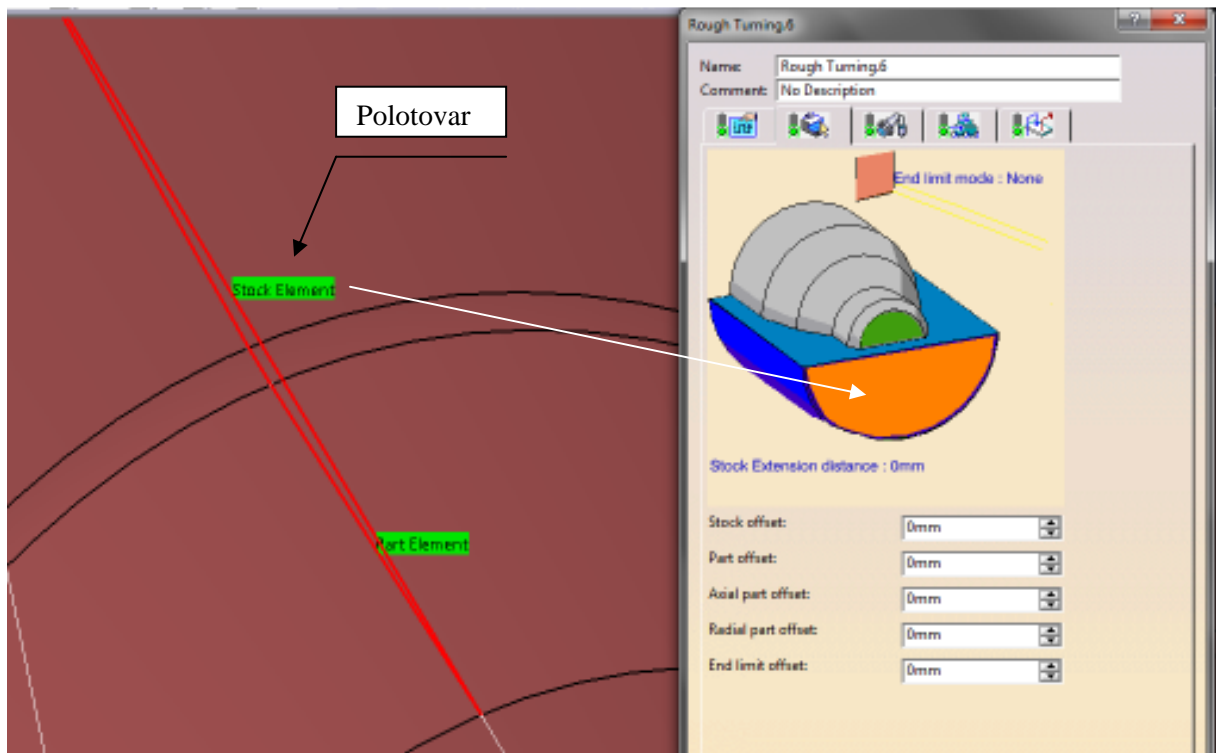


Obr. 58.: Vstupní informace

Při definování zvolené strategie (hrubovací soustružení) byl systému definován polotovar a součást, které má docílit. Tento výběr byl realizován výběrem křivek profilu původního kotouče jako polotovaru a nově vytvořeného (Nový tvar 2) jako součásti (viz Obr. 59.: Definování polotovaru a součásti, Obr. 60.: Detail definování polotovaru, Obr. 61.: Detail definování součásti).

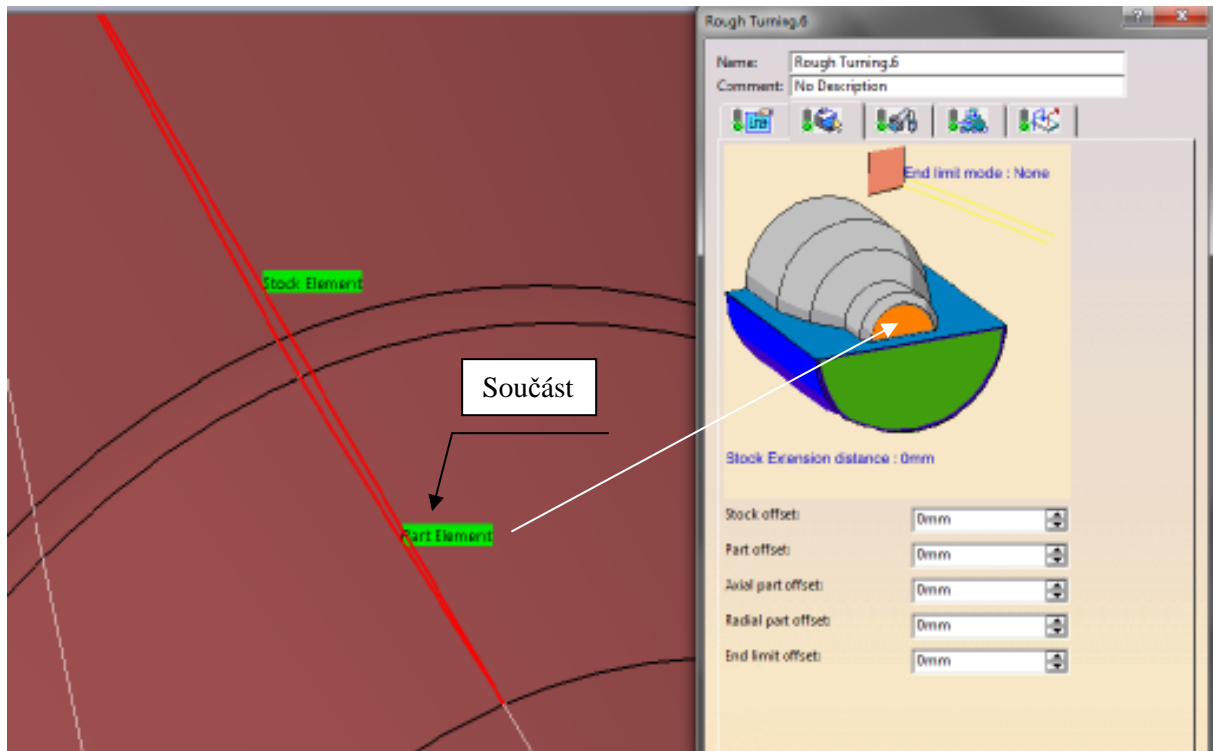


Obr. 59.: Definování strategie



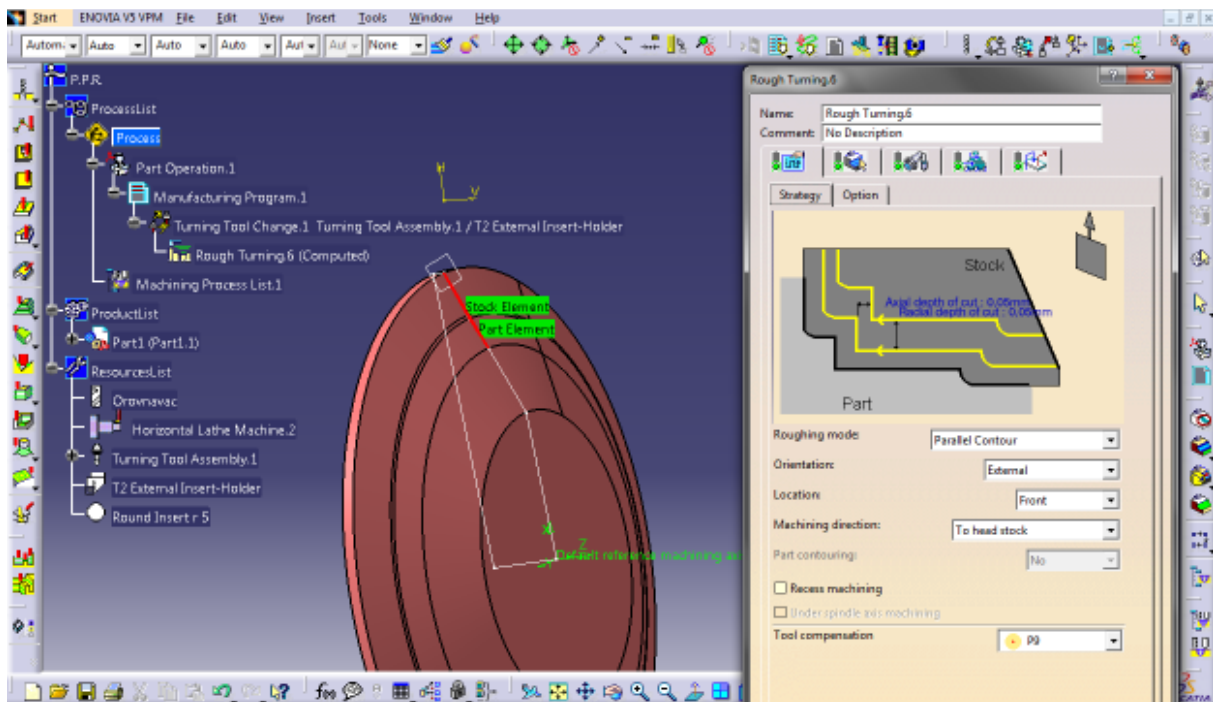
Obr. 60.: Detail definování polotovaru

Pozn.: Profil polotovaru je tvořen horní červenou křivkou, profil součásti je tvořen spodní červenou křivkou.

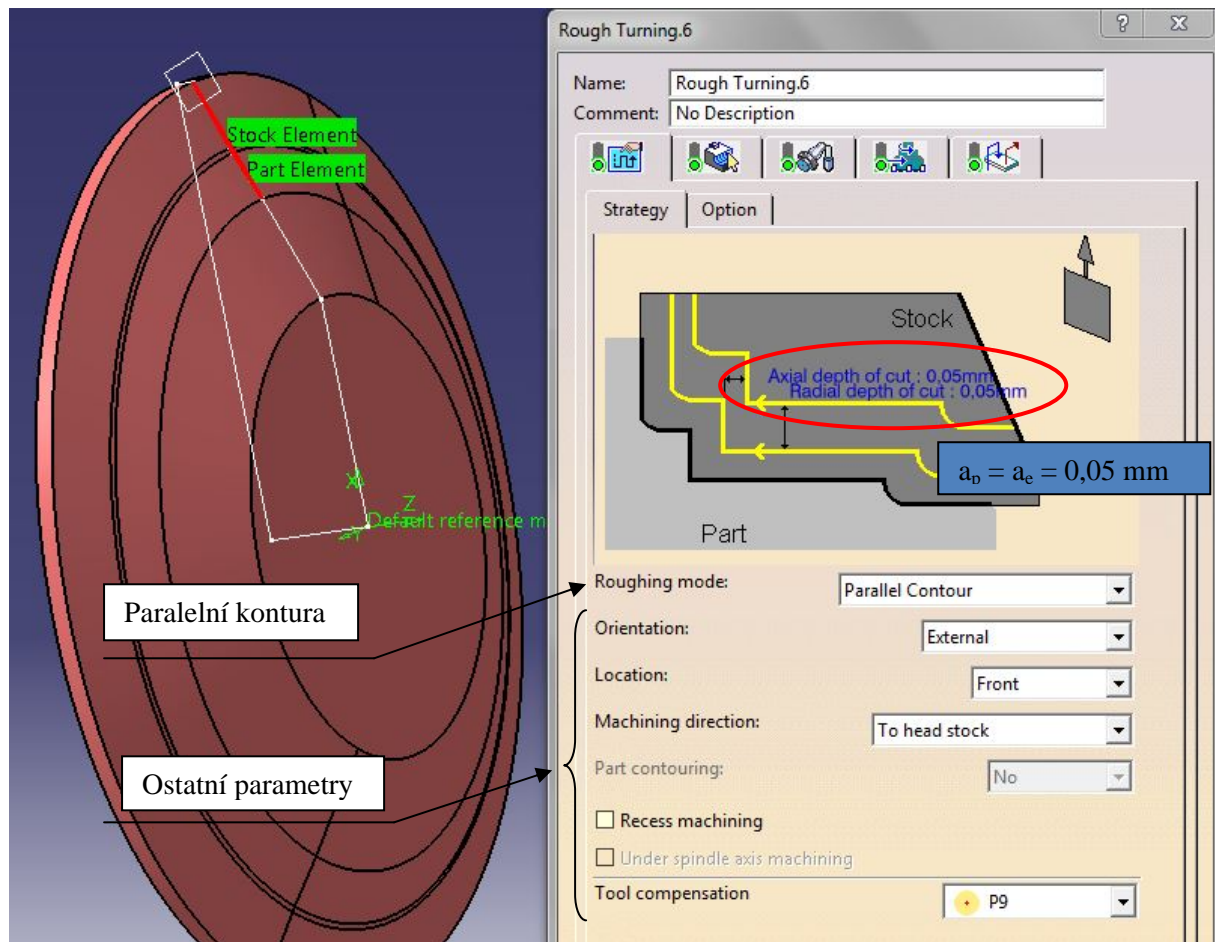


Obr. 61.: Detail definování součásti

V dalším kroku bylo potřeba definovat systému axiální a radiální hloubku řezu, typ kontury a orientaci. Vzhledem k doporučeným hodnotám byla zvolena $a_p = a_e = 0,05$ mm. K požadované strategii byla zvolena paralelní kontura a ostatní parametry k dosažení správné strategie a postavení nástroje při obrábění (viz Obr. 62.: Definování strategie, Obr. 63.: Detail strategie).



Obr. 62.: Definování strategie

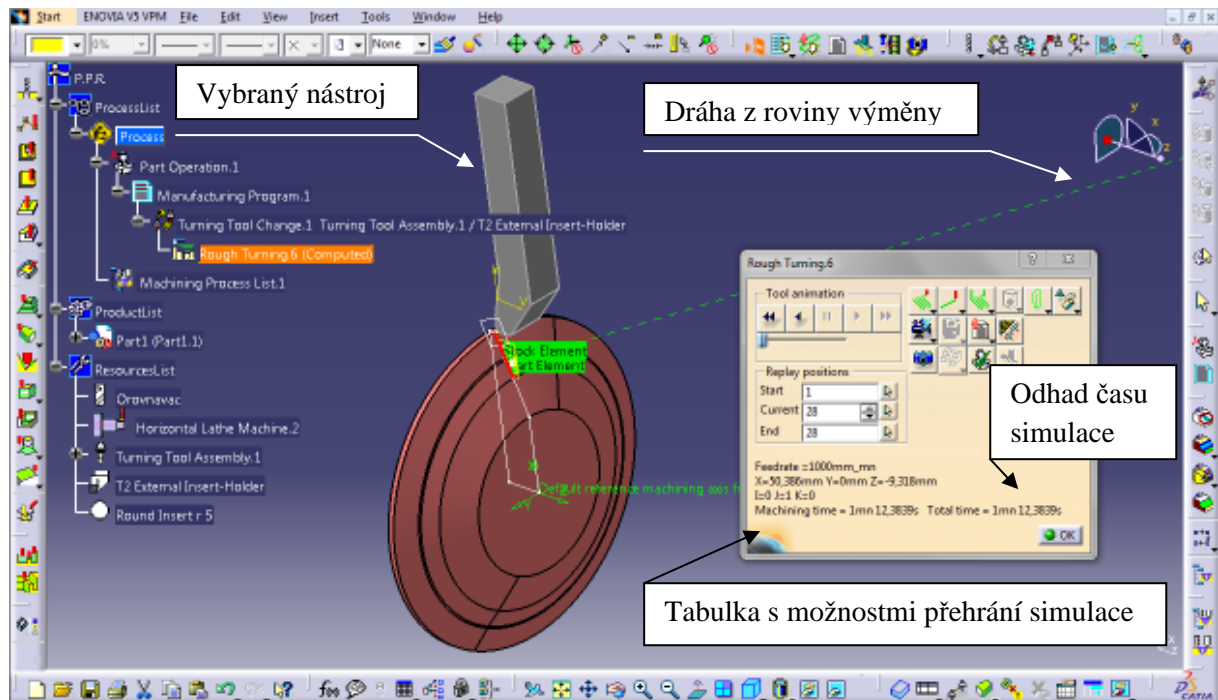


Obr. 63.: Detail strategie

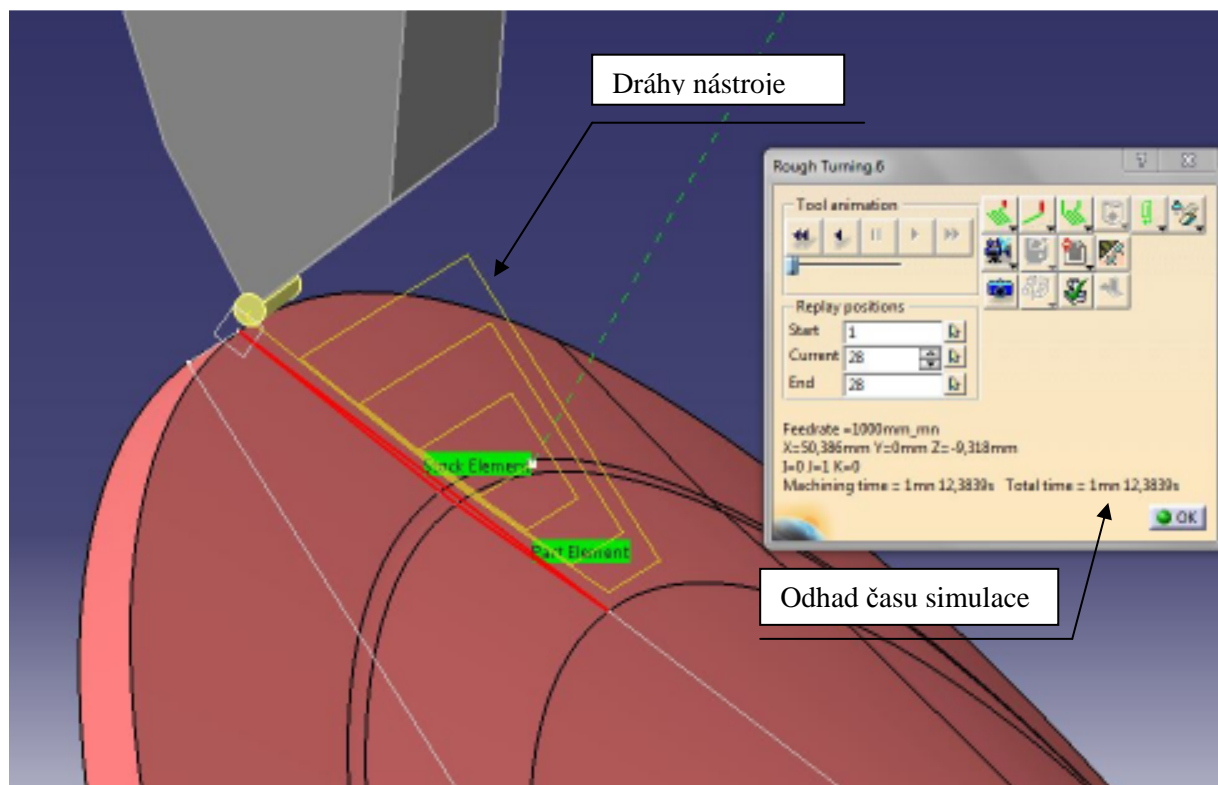
Pozn.: Z hlediska možnosti zobecnění a typu operace nebyly využity všechny možnosti, které systém nabízí v nastavení strategie. V následujícím kroku stačilo pouze potvrdit výpočet simulace.

4.3. Simulace orovnění

Potvrzením výpočtu simulace byl v pracovním prostoru zobrazen vybraný nástroj, vygenerované dráhy při obrábění, dráha z roviny výměny nástroje a tabulka zobrazující čas operace s možnostmi přehrávání simulace (viz Obr. 64.: Výpočet simulace, Obr. 64.1.: Dráhy nástroje při obrábění):

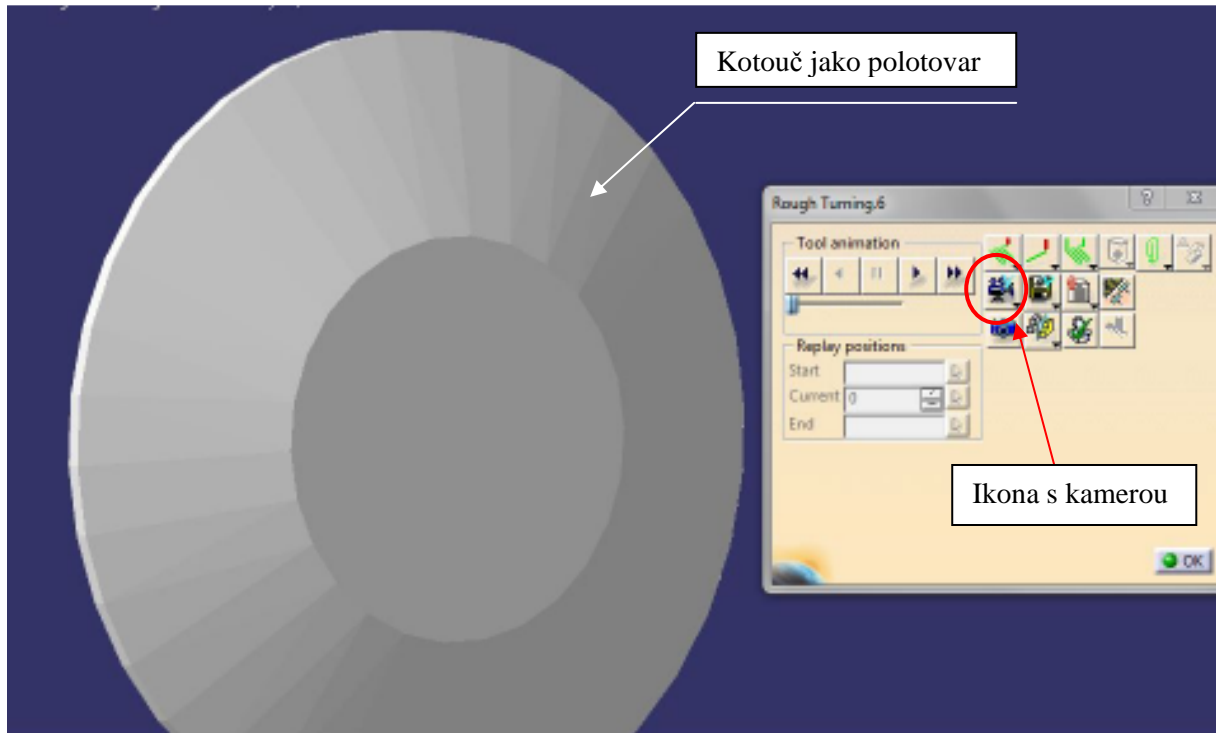


Obr. 64.: Výpočet simulace

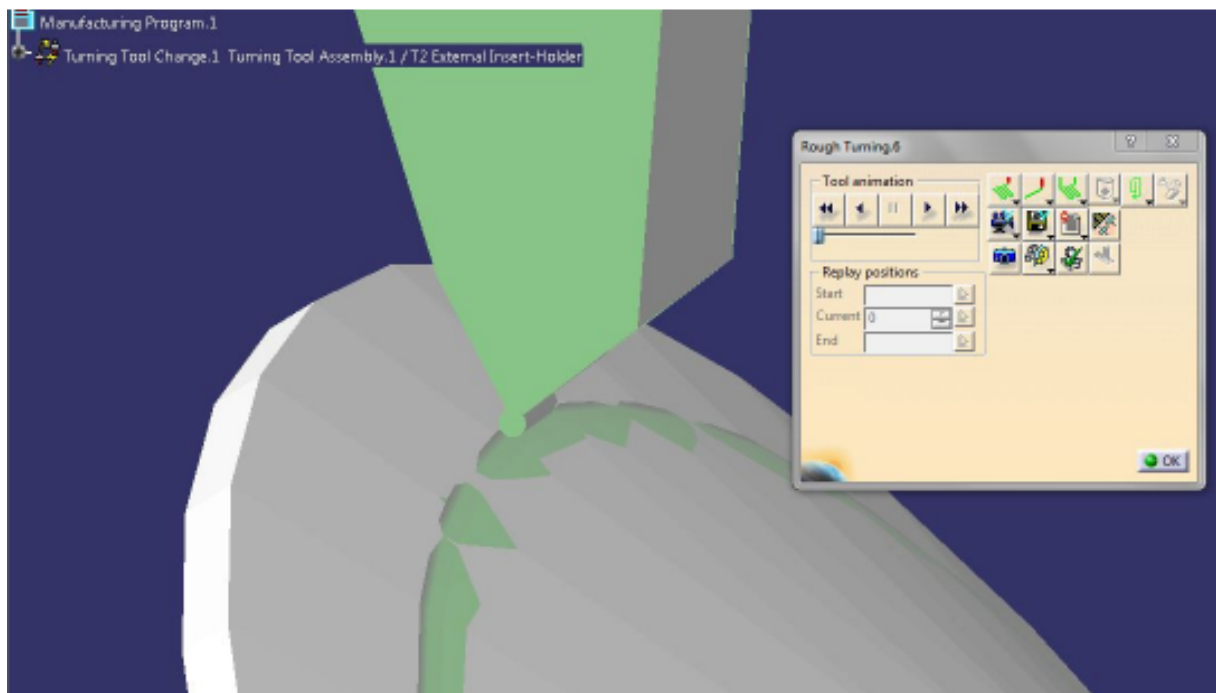


Obr. 64. 1.: Dráhy nástroje při obrábění

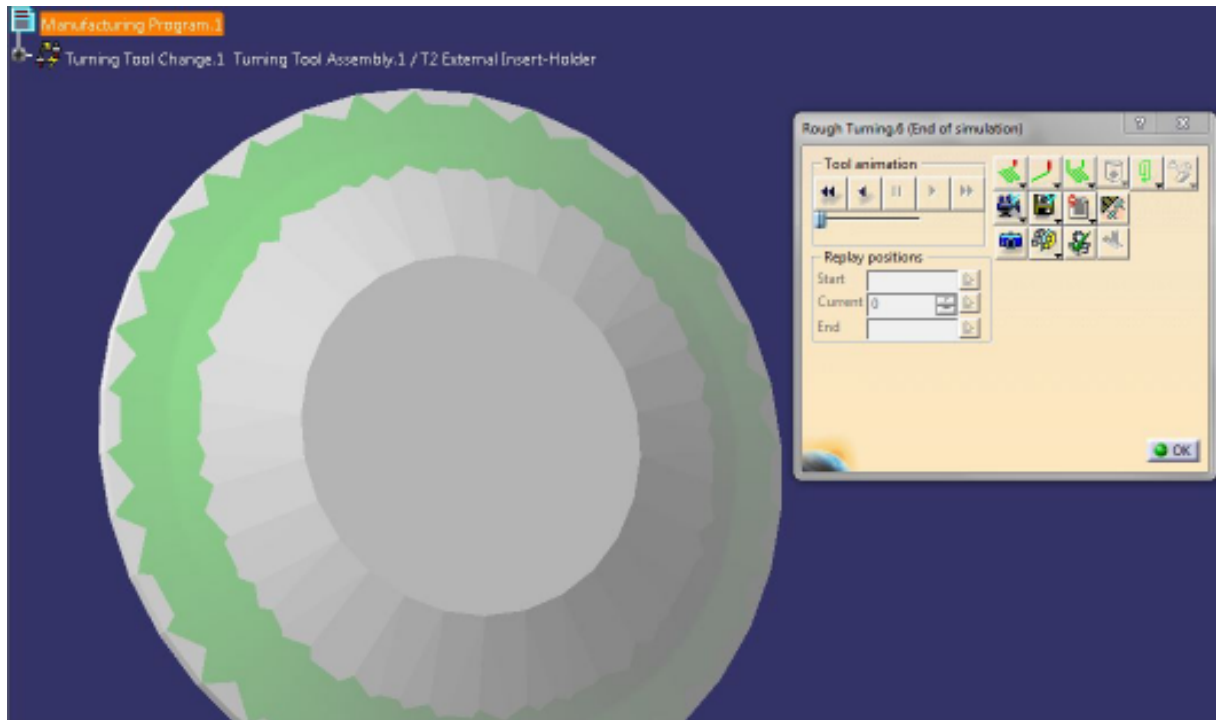
Použitím ikony s kamerou byla simulace následně přepnuta do fotorealistického zobrazení a spuštěna:



Obr. 65.: Fotorealistické zobrazení

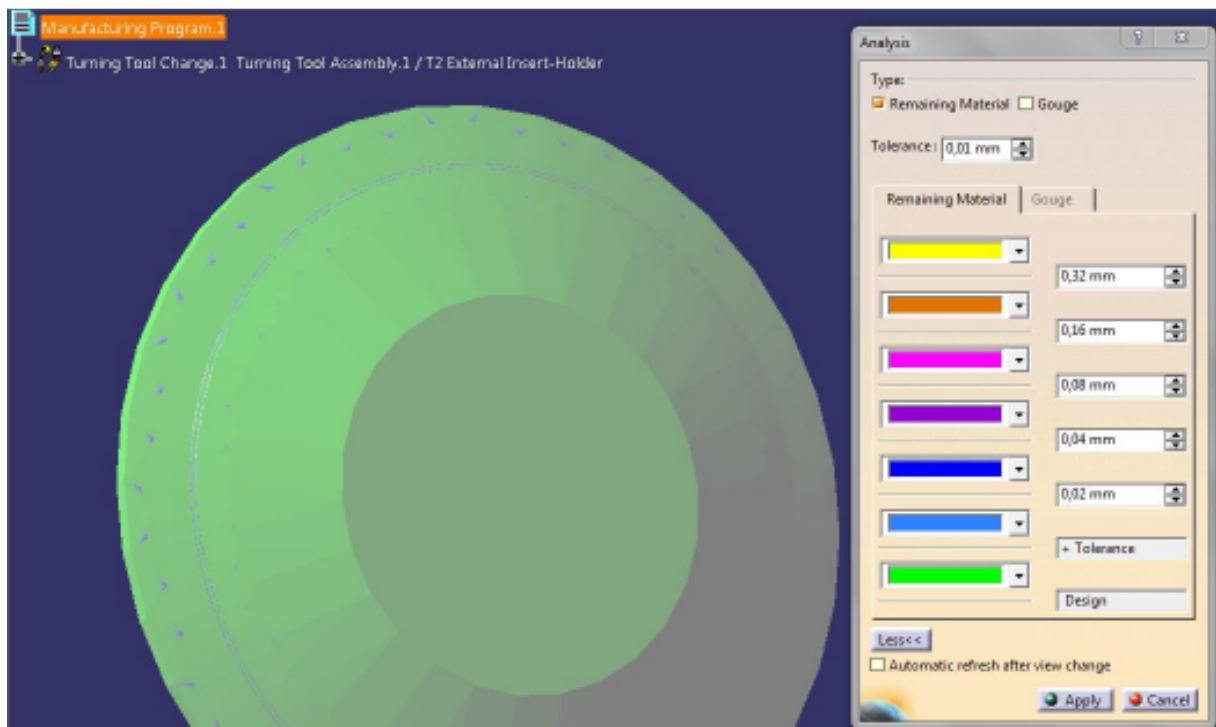


Obr. 66.: Průběh simulace



Obr. 67.: Konec simulace - výsledek

Po ukončení simulace byla provedena analýza zbytkového materiálu dle zadaných tolerancí:



Obr. 68.: Analýza zbytkového materiálu

Pozn.: Zeleně je zobrazena plocha, která odpovídá požadovanému tvaru, ostatní barvy zobrazují odchylku od tolerance. Vlivem nespřáhnutí otáček kotouče a posuvu nástroje došlo v simulaci k neobrobení některých úseků (proto jsou na povrchu patrné drobné odchylky dle tabulky tolerancí). Při reálném orovnání by neobrobení bylo eliminováno pomocí nastavení otáček kotouče.

4.3.1. Dokumentace – NC data

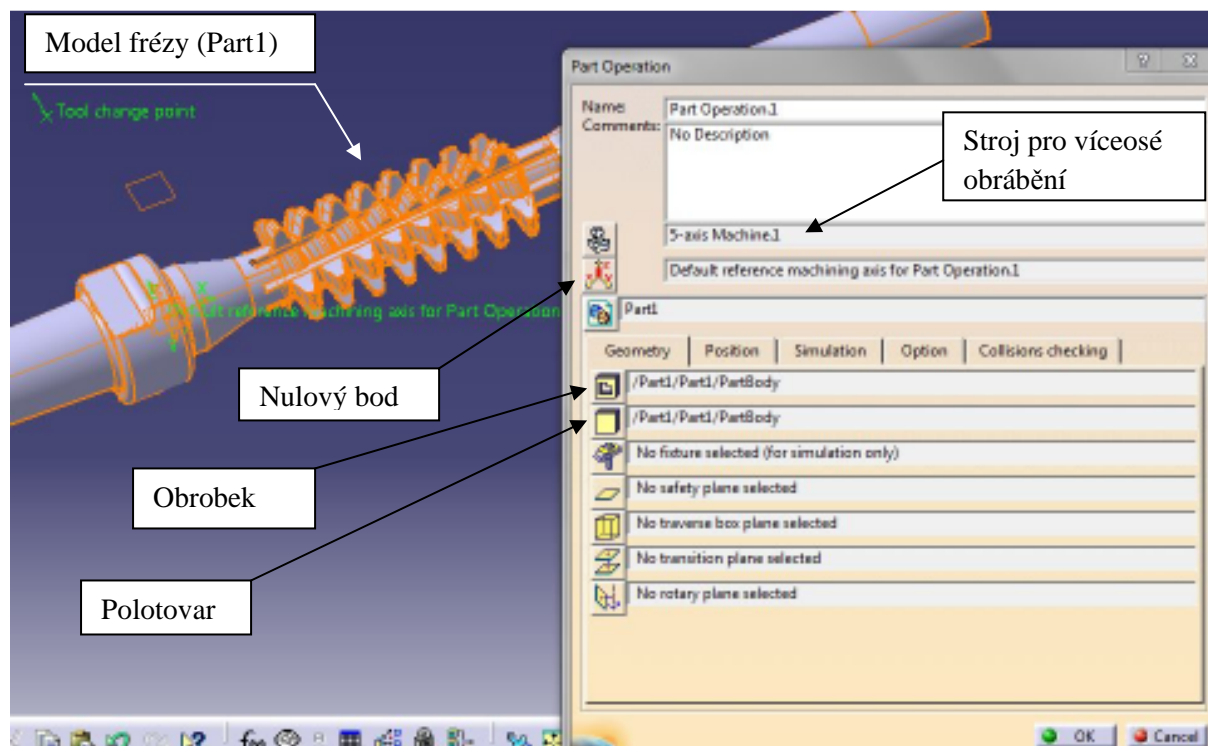
Vytvořená NC data viz Příloha č. 2.: NC data pro orovnění.

4.4. Simulace broušení

Broušená plocha je tvarovaná do šroubovice a brusný kotouč není v použitém CAM systému definován ve standardních nástrojích, pro které jsou následně vypočítávány dráhy dle použité strategie. Vlivem těchto vstupních parametrů je vytvoření simulace broušení šroubové drážky náročnější než u definování obrábění rovinných ploch standardními nástroji. Dále uvedený postup tvorby simulace je totožný pro původní tvar kotouče i pro orovnaný tvar, proto je použita demonstrace pouze na jednom z nich (vybrán byl kotouč s původním tvarem).

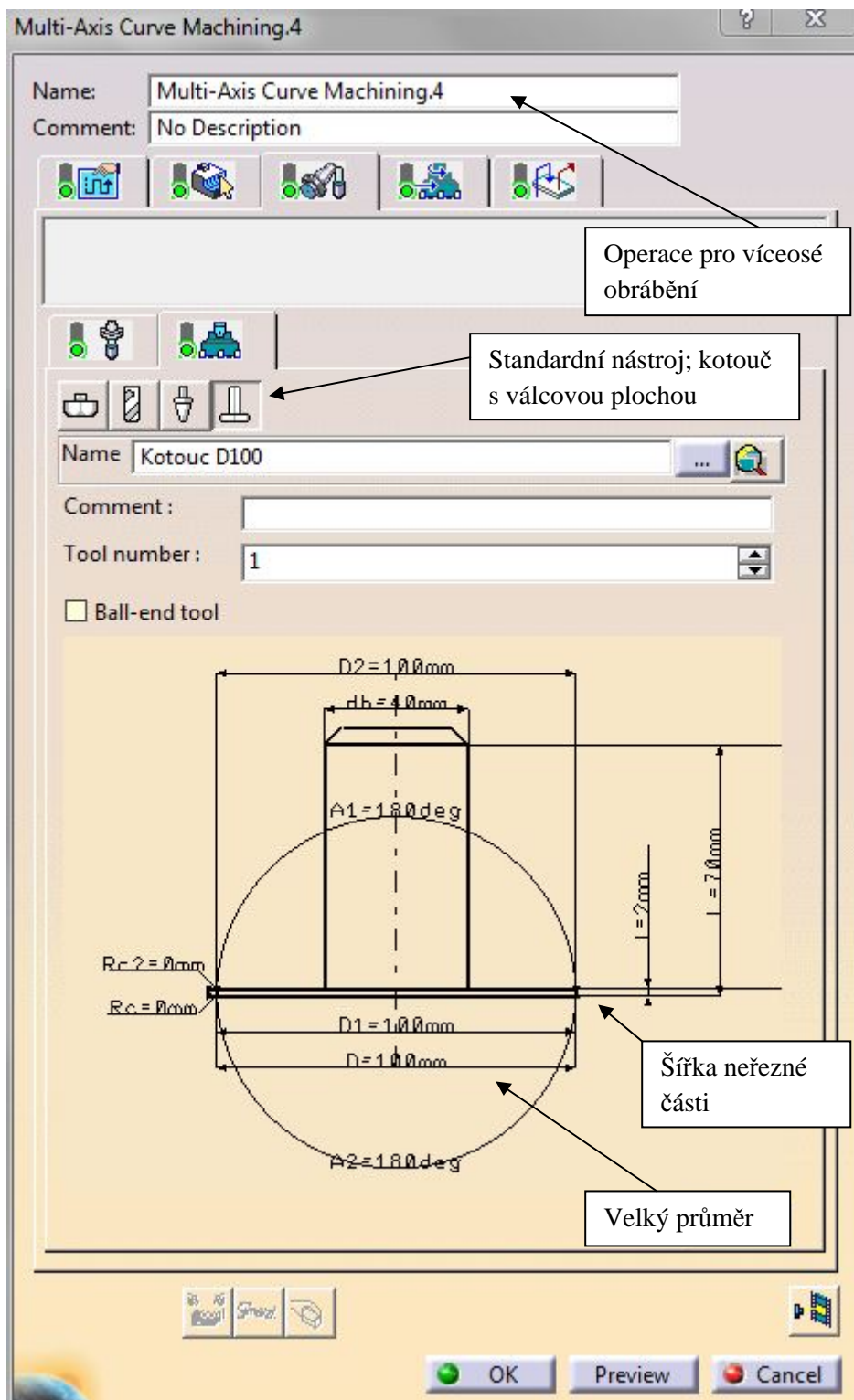
Pozn.: Pro vytvoření simulace nebyla dodržena kinematika stroje, na kterém se broušení realizuje, ale byla vybrána operace pro víceosé obrábění z důvodu poměrně vysoké složitosti tvorby (viz Obr. 70.: Základní parametry).

Vytvořený model odvalovací frézy byl systému definován jako obrobek i jako polotovár, pro nastavení tečného styku brusného kotouče a šroubovou plochou čel zubů (nikoliv nastavení úběru třísky). Nulový bod byl ponechán nadefinovaný systémem (viz Obr. 69.: Nastavení):



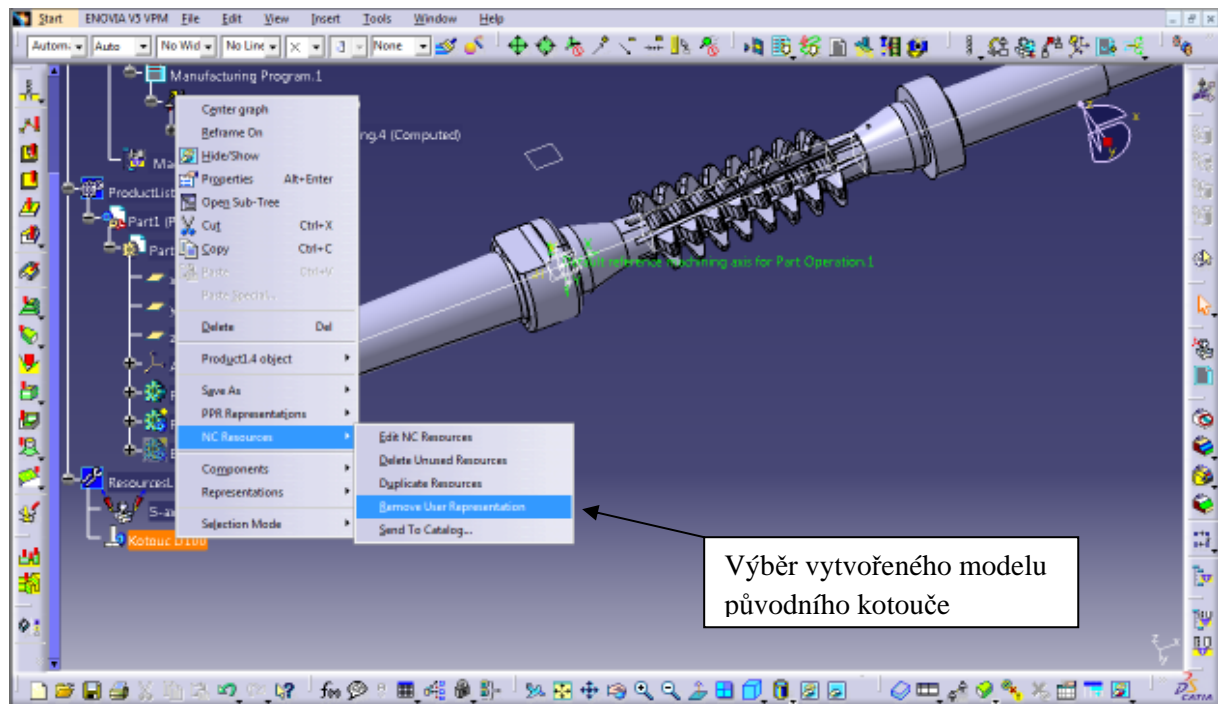
Obr. 69.: Nastavení

Brusný kotouč se skládá ze dvou částí, a to řezné, která tvoří kuželovou plochu, a neřezné, která tvoří válcovou plochu. Ve standardních nástrojích však lze zvolit nástroj buď s válcovou plochou jako kotouč, nebo s kuželovou plochou jako frézu. V prvním případě byl problém s vytvořením drah pro kuželovou část brusného kotouče a v případě druhém byl problém s požadovaným postavením nástroje. Pro vyřešení problému bylo využito možnosti reprezentace nástroje. To znamená, že při navrhování řezného nástroje byl využit ve standardních nástrojích kotouč s válcovou plochou (viz Obr. 70.: Základní parametry), kde byly definovány základní parametry (velký průměr kotouče 100 mm, výška neřezné části po úpravě 2 mm). Tento kotouč byl potvrzen jako standardní pro výběr strategie. Následně v seznamu nástrojů byla pro tento nástroj pomocí příkazu „NC Resources“ a „Define User Representation“ vybrána uživatelská reprezentace vybráním vytvořeného modelu kotouče (viz Obr. 71.: Reprezentace nástroje). Na základní parametry se tak „nabalila“ geometrie řezné i neřezné části vybraného modelu.



Obr. 70.: Základní parametry

Pozn.: Pro účely simulace byla navržena i upínací část, kdy rozměry odpovídají základním rozměrům upínání, z důvodu zohlednění systémem a vyvarování se kolizí. Pro „nabalení“ geometrie byla však využita pouze řezná a neřezná část kotouče, nikoliv s modelem upínání.



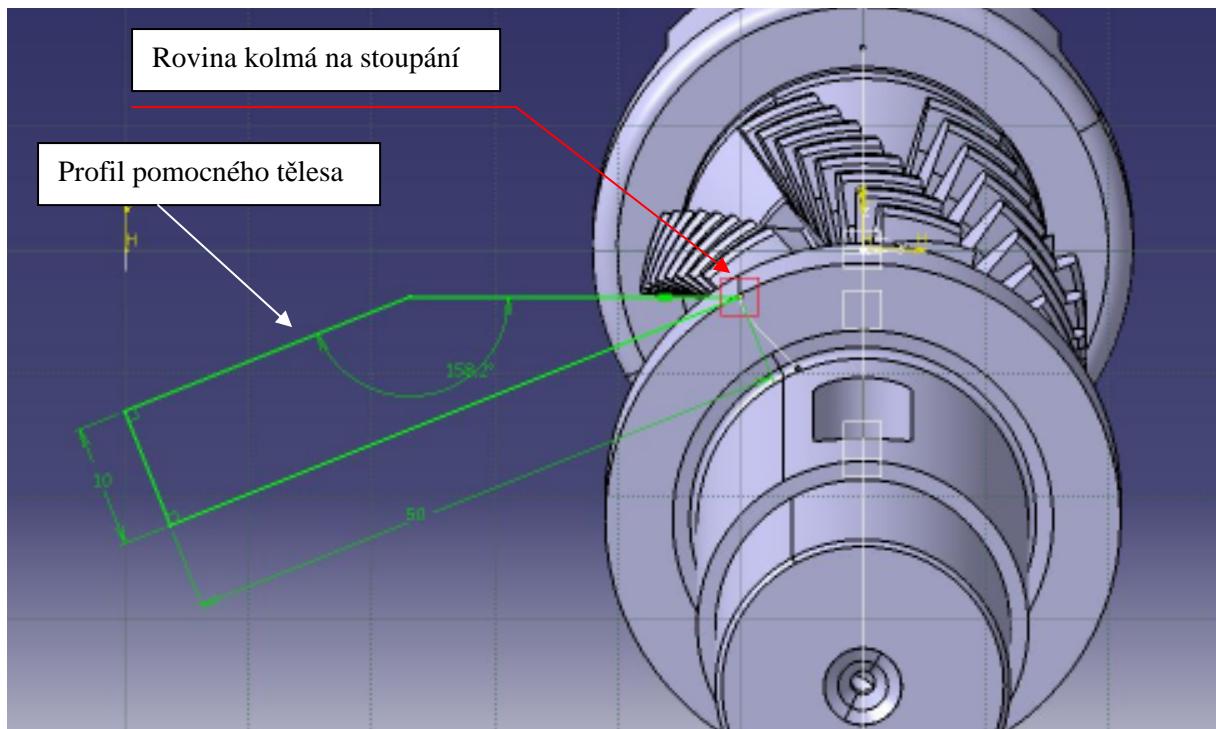
Obr. 71.: Reprezentace nástroje

Pozn.: V okně je při výběru modelu zvýrazněno „Remove User Representation (odstranit reprezentaci)“ místo „Define User Representation“, jelikož při vytváření náhledu už byl tento krok hotový.

Dalším krokem bylo nutné vytvořit pomocné těleso pro definování správné dráhy kotouče ve drážce. Bylo využito znalosti postavení kotouče při broušení s firemní dokumentací a z konstrukční metodiky. Profil pomocného tělesa byl vytvořen v rovině kolmé na stoupání řídicí šroubovice s tečným dotykem plochy, která odpovídá řezné části, na ploše čel zubů. Rozměry a geometrií odpovídal původnímu tvaru kotouče. Takto vytvořený profil byl pomocí funkce „vytáhnut“ po šroubové drážce a tím vzniklo zhmotnění dráhy kotouče:

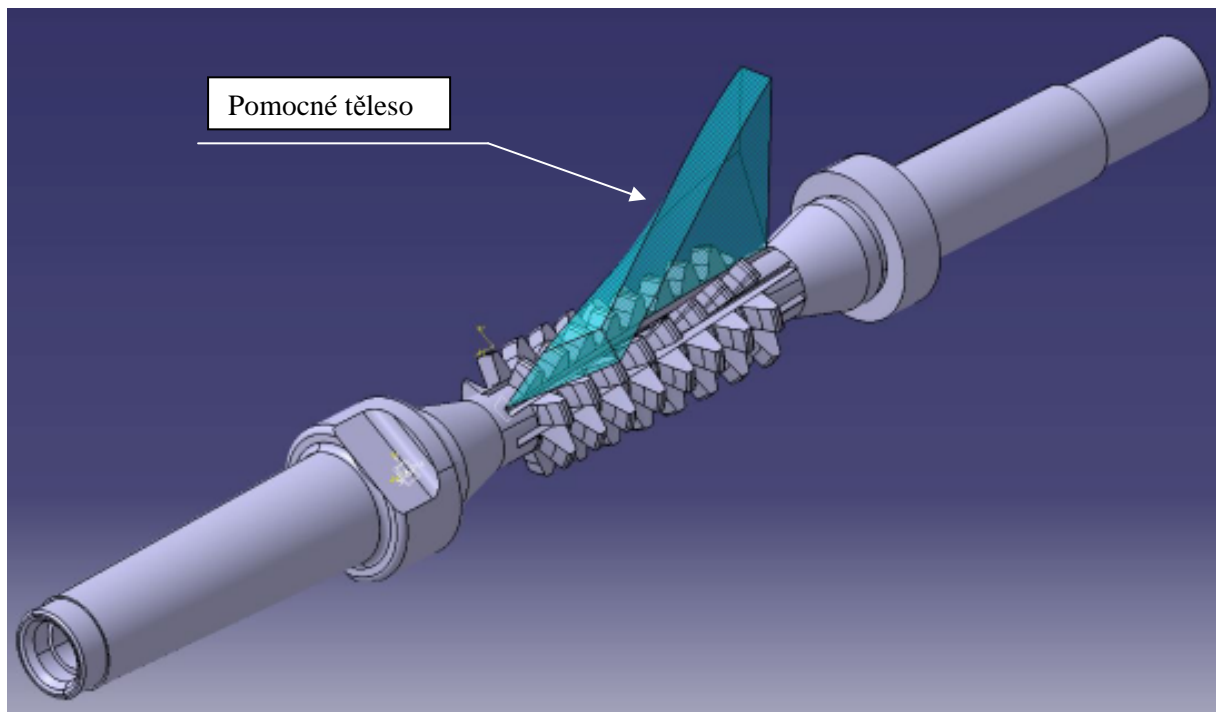
Pozn.: Pro vytvoření pomocného tělesa byla pro profil využita pouze polovina kotouče.

1. Profil pomocného tělesa (viz Obr. 72.: Profil pomocného tělesa):

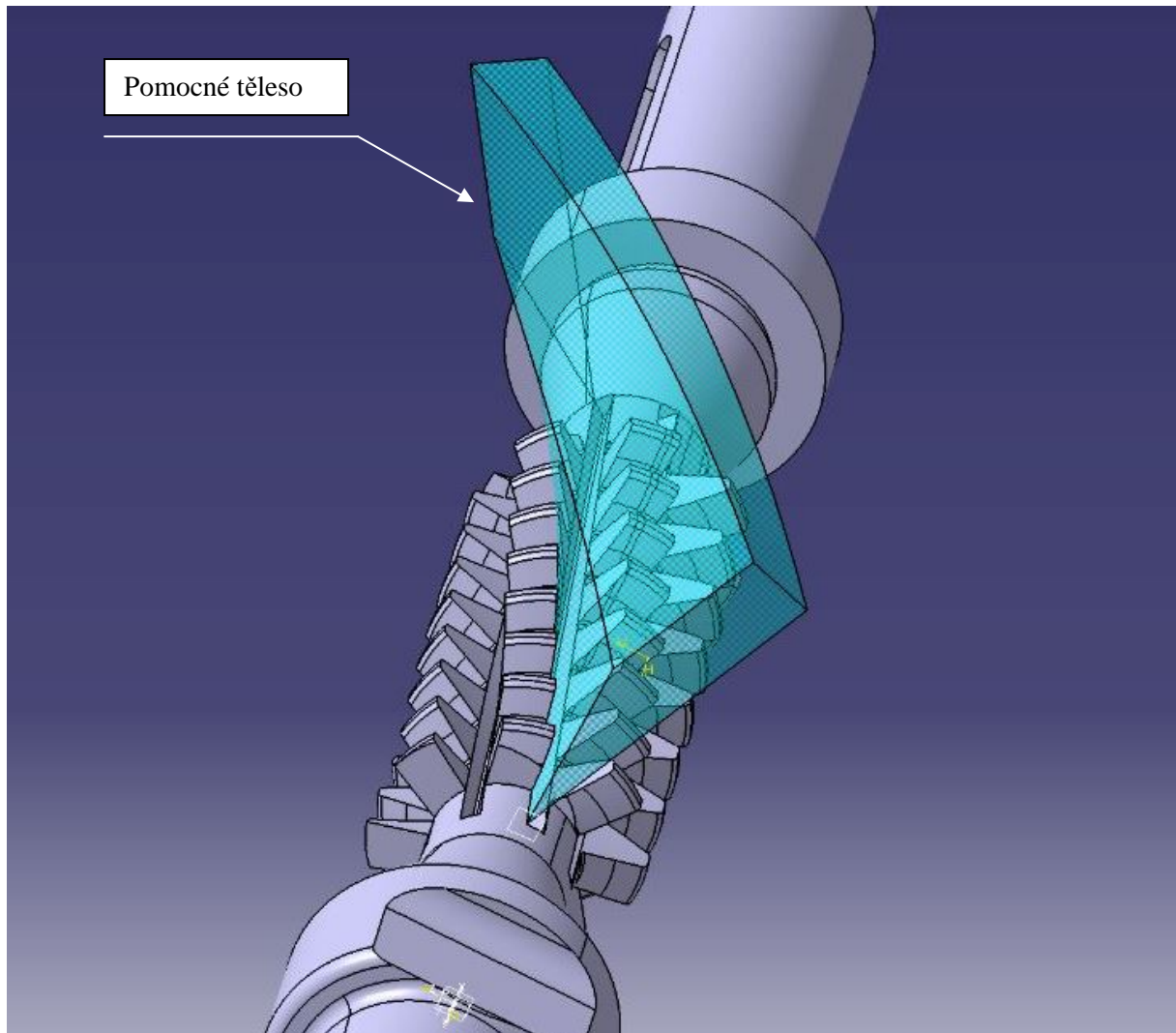


Obr. 72.: Profil pomocného tělesa

2. Vytvoření pomocného tělesa (viz Obr. 73.: Pomocné těleso – pohled 1, Obr. 74.: Pomocné těleso – pohled 2):



Obr. 73.: Pomocné těleso – pohled 1

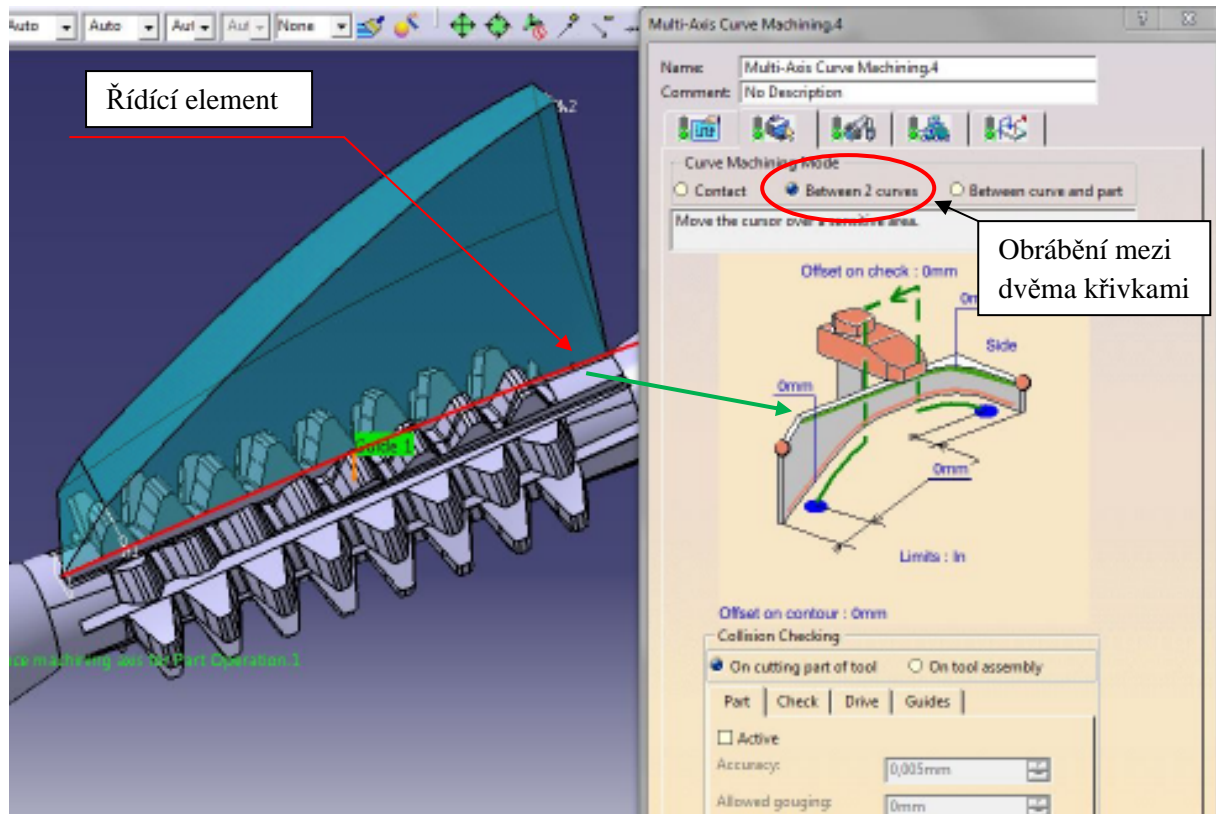


Obr. 74.: Pomocné těleso – pohled 2

V následujícím kroku bylo vše připraveno pro nadefinování strategie.

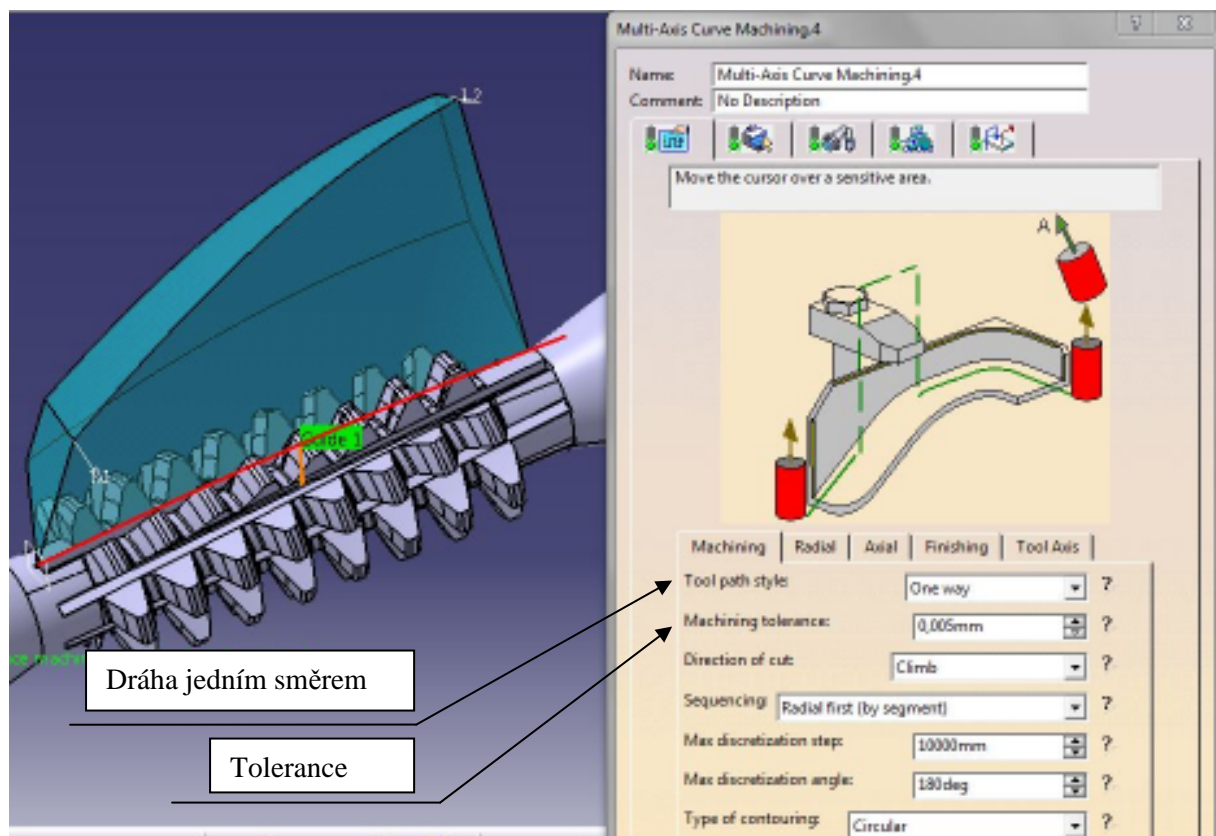
4.4.1. Nadefinování strategie

Mód obrábění byl zvolen mezi dvěma křivkami, kdy ke strategii byla vybrána pouze jedna z nich. Jako řídicí element byla vybrána křivka řídicí šroubovice (viz Obr. 75.: Mód obrábění):



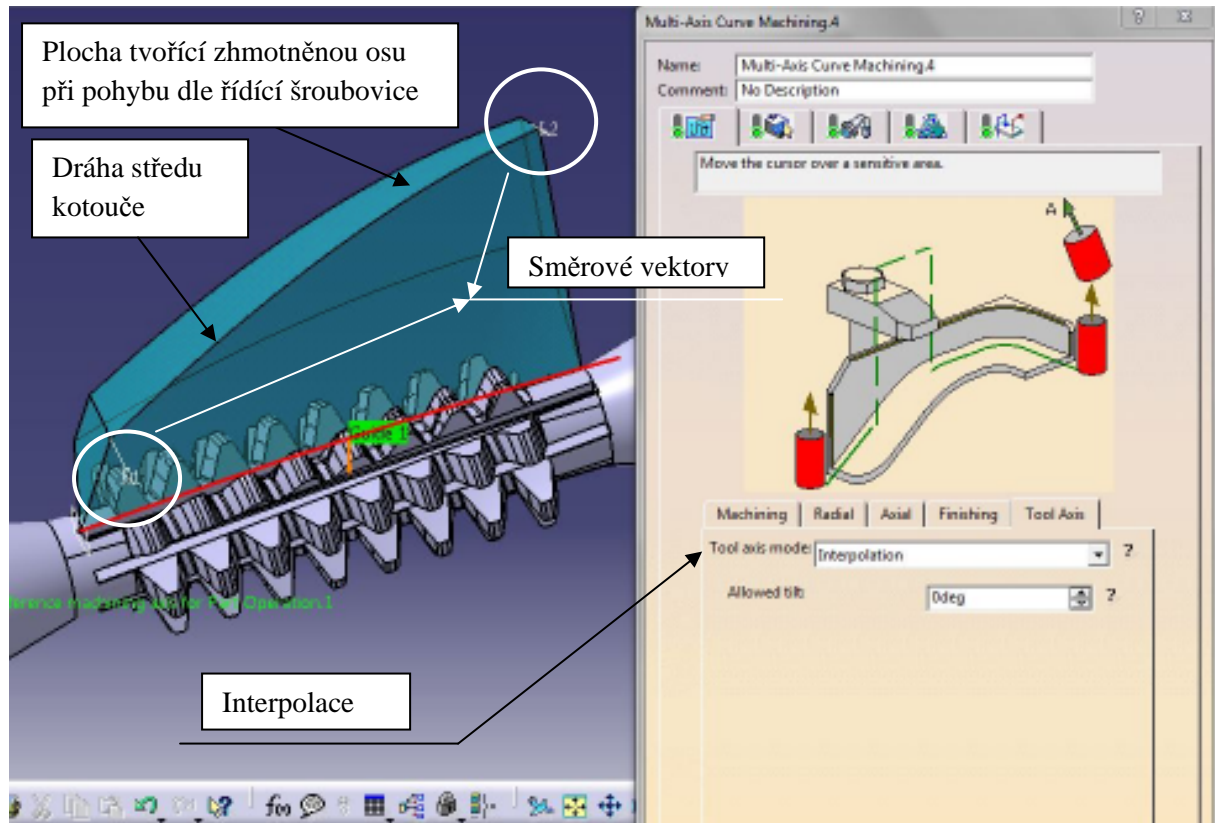
Obr. 75.: Mód obrábění

V záložce obrábění (Machining) byla zvolena dráha jedním směrem a tolerance obrábění 0,005 mm z důvodu přesnosti vyobrazení (viz Obr. 76.: Obrábění):



Obr. 76.: Obrábění

V záložce pro nastavení osy nástroje (Tool Axis) byla zvolena „Interpolace“. Pro výběr byla zvolena zhmotněná osa na pomocném tělese, byly upraveny směrové vektory I_1 a I_2 pro správné postavení brusného kotouče. Tím byla definována křivka pro dráhu středu kotouče (viz Obr. 77.: Osa nástroje):



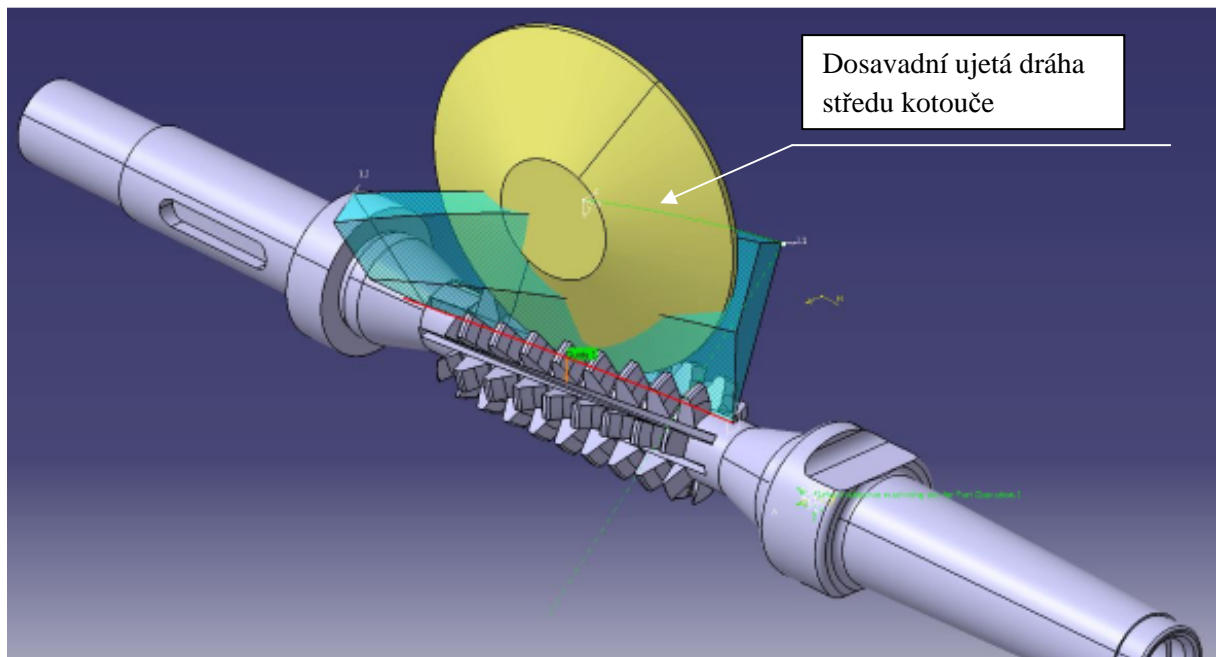
Obr. 77.: Osa nástroje

V tomto stavu bylo vše nadefinované pro spuštění simulace a vygenerování dráhy nástroje. Simulace pro oba tvary kotoučů byly vytvářeny stejným postupem, jediný rozdílem byl tvar jejich profilu.

Pozn.: U vytváření reprezentace nástroje s původním tvarem kotouče bylo možné použít standardně vytvořený model. Pro vytvoření reprezentace s navrženým tvarem kotouče bylo nutné provést přenesení geometrie nového profilu vytvořeného v rovině kolmé na stoupání do roviny se základním souřadným systémem. Důvodem byla křivka navrženého profilu, která byla vytvořená spojením bodů pomocí funkce „spline“. Jedná se tedy o obecnou křivku a z důvodu co nejvyšší možné přesnosti simulace ji nelze snadno zjednodušit. Po přenesení geometrie byla využita pouze vyšetřovaná křivka, ostatní části kotouče byly standardně vytvořeny jako v případě tvorby modelu původního tvaru kotouče.

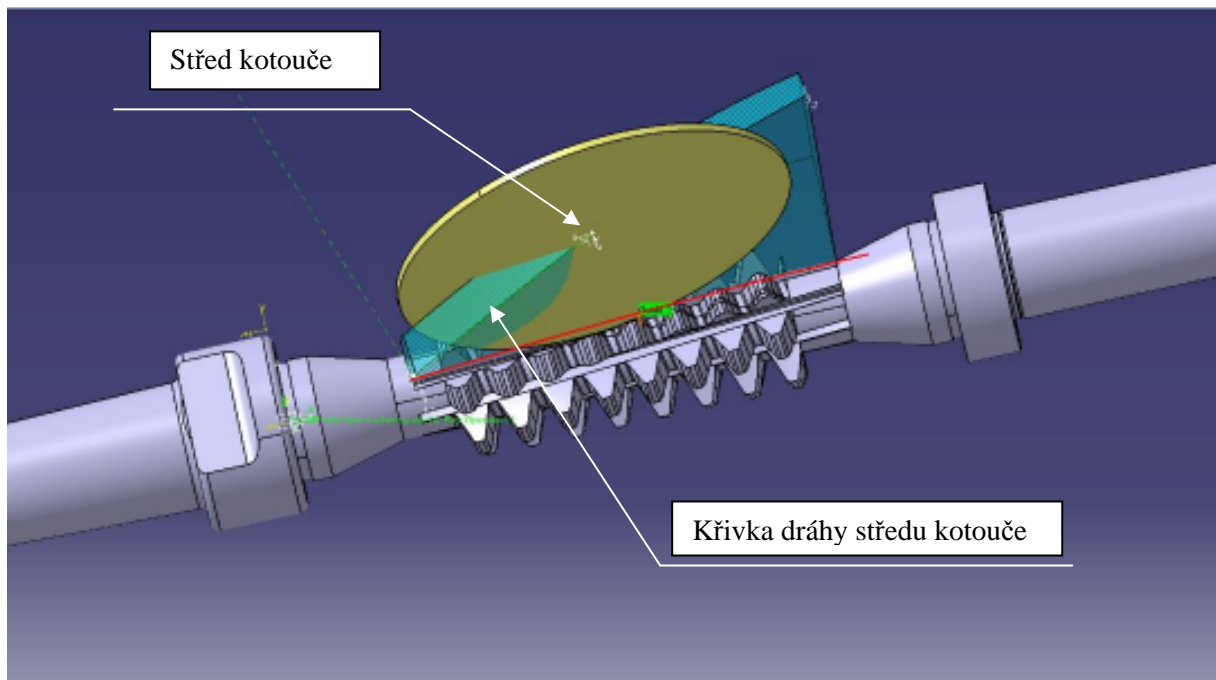
4.4.2. Simulace s původním tvarem kotouče

Na Obr. 78 je pohled na probíhající simulaci. Zelená křivka zobrazuje dosavadní ujetou dráhu středu kotouče:

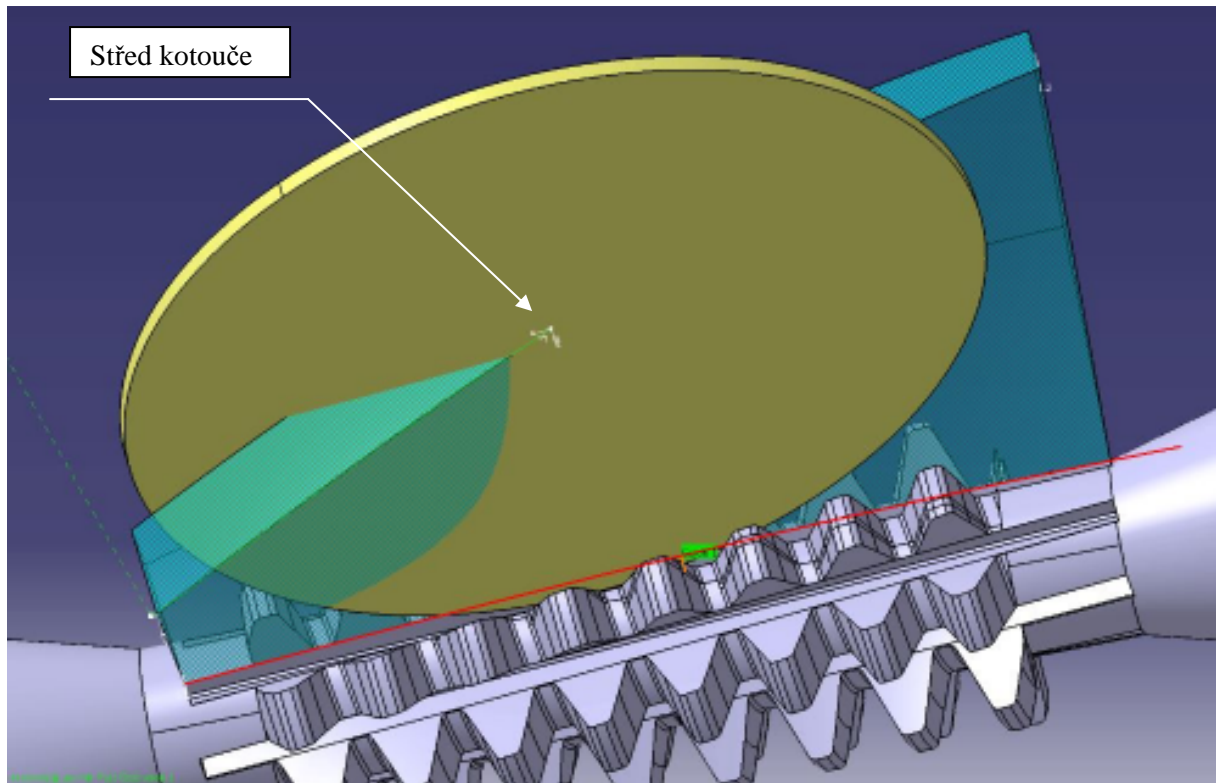


Obr. 78.: Simulace s původním tvarem kotouče

Na Obr. 79 je patrná dráha středu kotouče po nadefinované křivce:

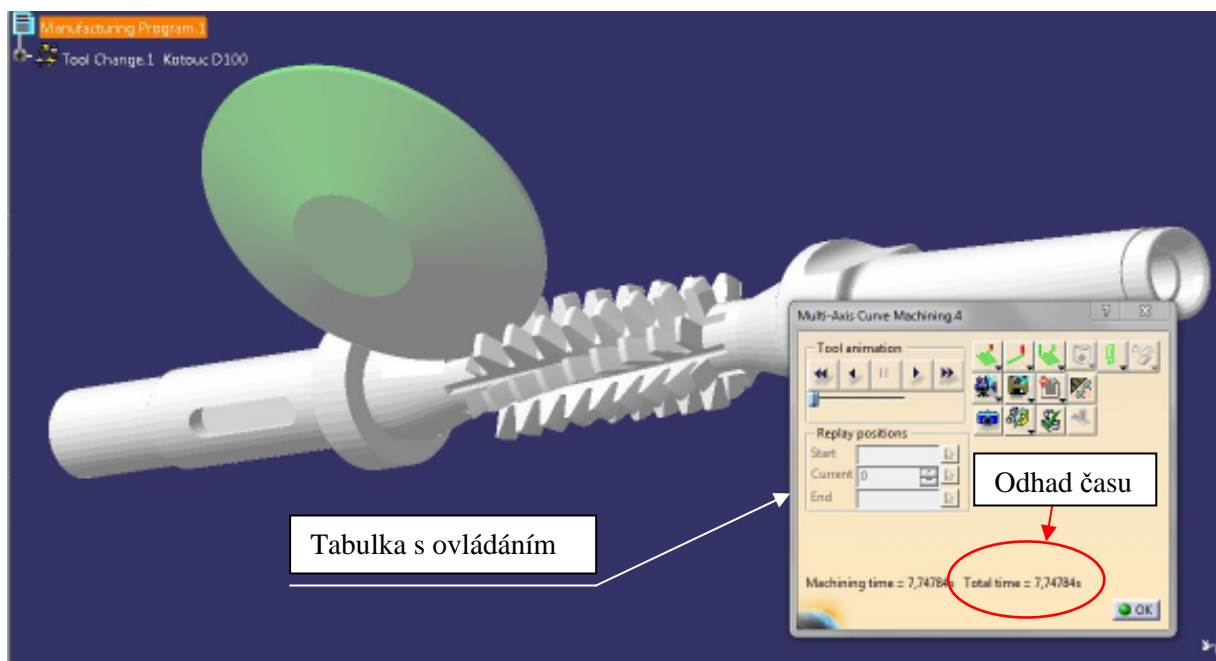


Obr. 79.: Dráha středu původního kotouče



Obr. 80.: Dráha středu původního kotouče - detail

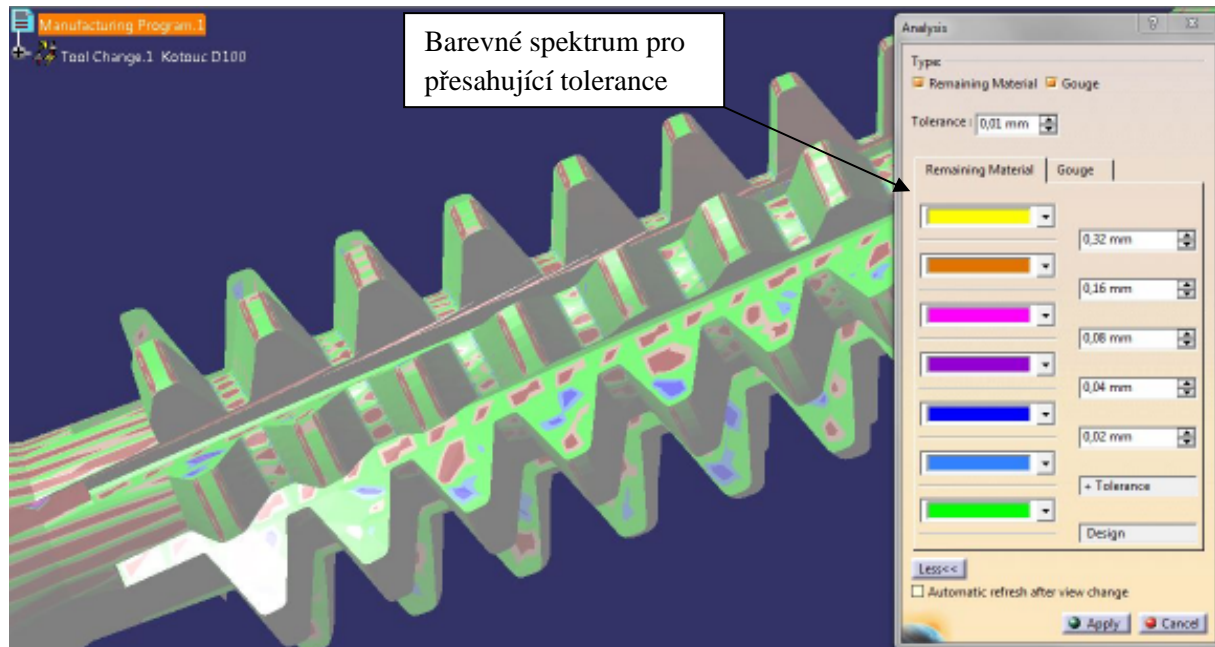
Na Obr. 81 je pohled na probíhající simulaci ve fotorealistickém režimu včetně zobrazení tabulky s možnostmi ovládání simulace a odhadu celkového času:



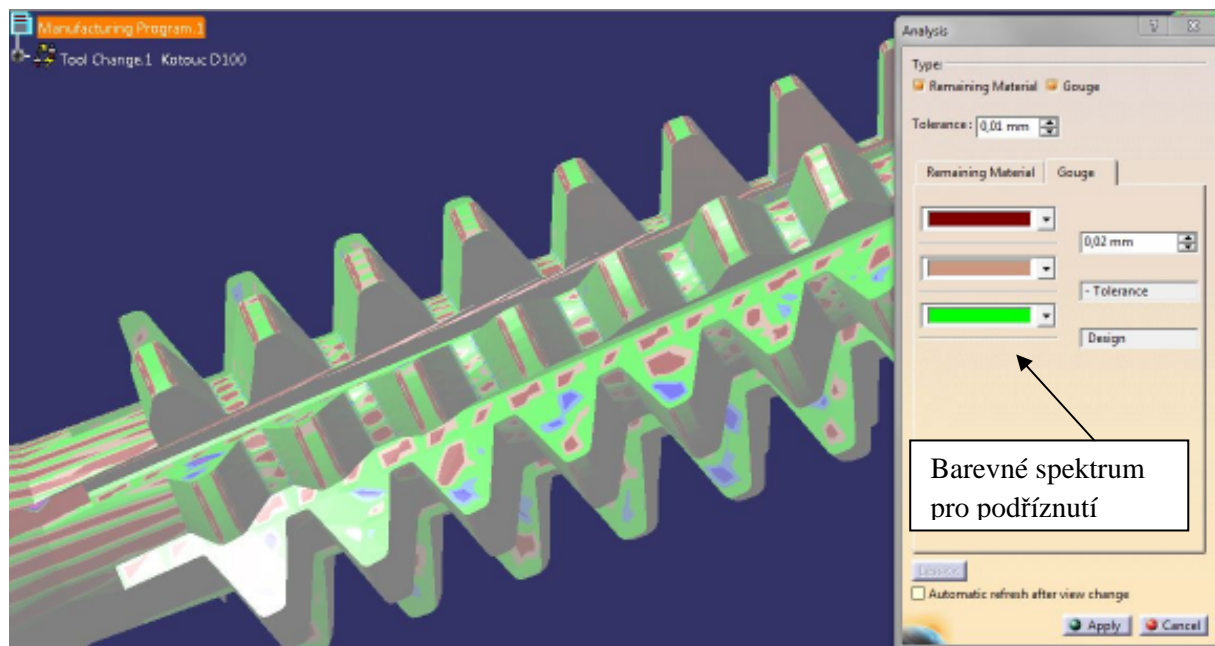
Obr. 81.: Fotorealistická simulace s původním tvarem kotouče

4.4.3. Analýza zbytkového materiálu – původní kotouč

Při analýze zbytkového materiálu lze zobrazit barevným spektrem a nastavenou tolerancí materiál přesahující tolerance (+ Tolerance); (viz Obr. 82.: Zbytkový materiál) včetně materiálu podříznutého (- Tolerance); (viz Obr. 83.: Podříznutý materiál).



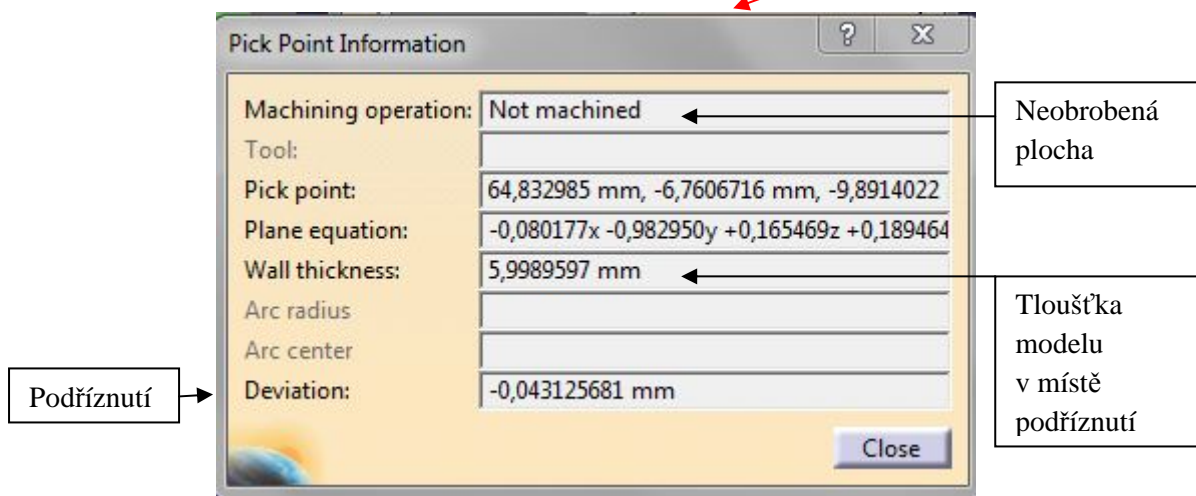
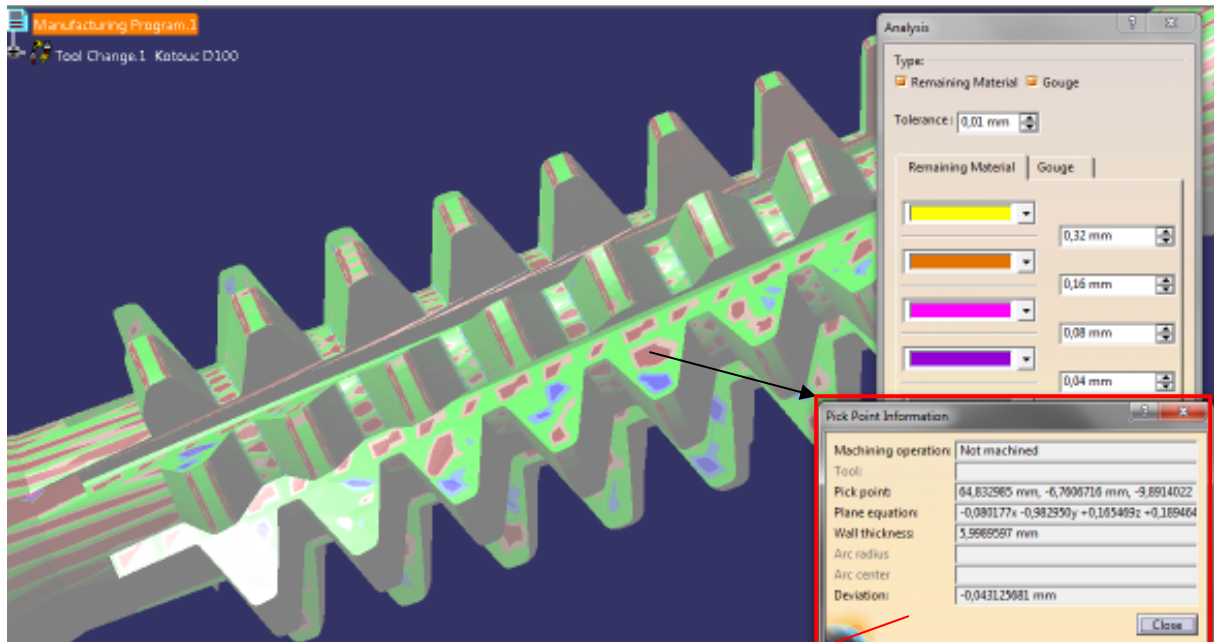
Obr. 82.: Zbytkový materiál



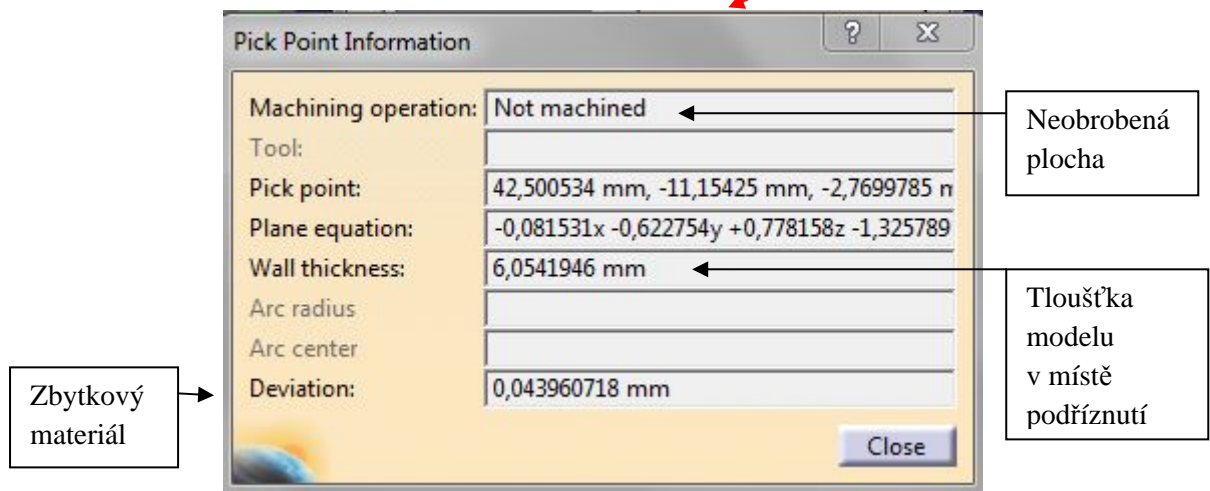
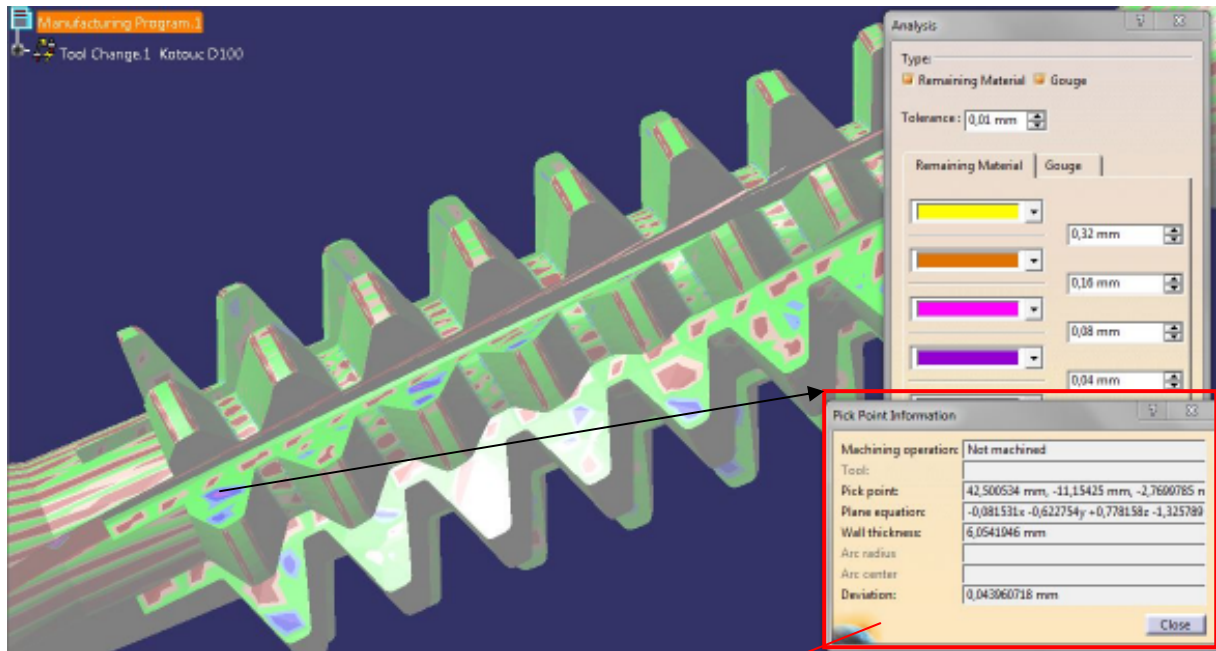
Obr. 83.: Podříznutý materiál

Zelenou barvou jsou vyznačeny plochy, které tolerancí odpovídají rozměrům součásti definované jako obrobek, hnědou barvou jsou vyznačeny plochy, které vykazují známky podříznutí. Vlivem grafického zobrazení, kdy systém pro výpočet tolerancí využívá model, který je tvořen ploškami malých trojúhelníků, a vlivem složitosti modelu dochází k zobrazování neobráběných ploch také jako podříznutých (hnědé plochy) nebo dokonce

s nepřesnostmi nad povolené tolerance (modré plochy). Tyto plochy ale vykazují u podříznutí maximálních hodnot kolem -0,045 mm (viz Obr. 84.: Podříznutí neobráběných ploch) a u zbytkového materiálu vykazují maximální hodnoty kolem 0,035 mm (viz Obr. 85.: Zbytkový materiál neobráběných ploch). Proto lze tyto „nerovnosti“ neuvažovat se zahrnutím vlivu grafického zobrazení.

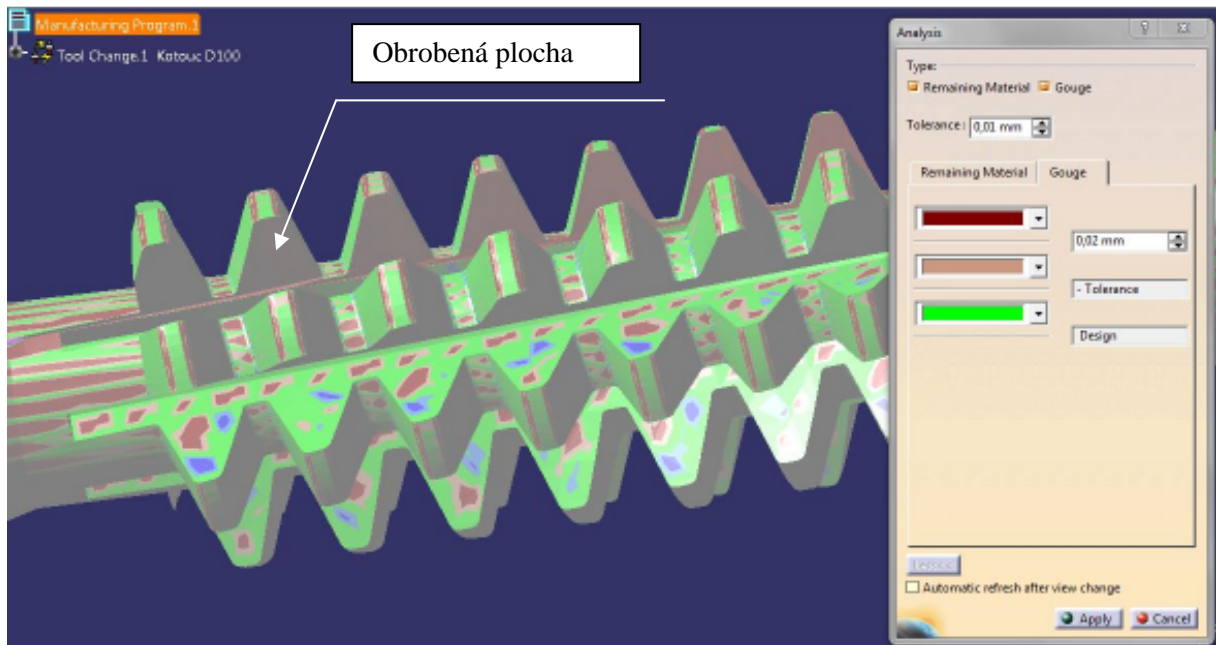


Obr. 84.: Podříznutí neobráběných ploch

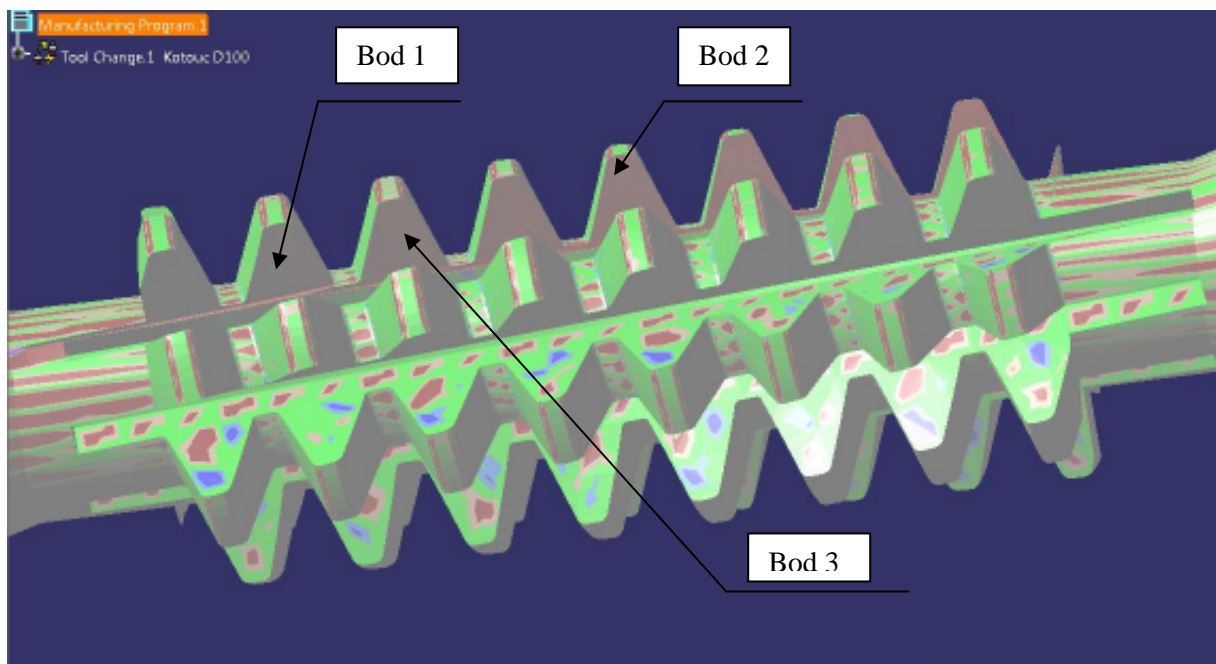


Obr. 85.: Zbytkový materiál neobráběných ploch

Pokud se nyní zaměříme na obráběnou drážku, na Obr. 86 je patrné, že není zobrazena zeleně, ale šálou hnědého odstínu, což značí, že zde dochází k podřezání plochy čel zubů. Na Obr. 87 je následně náhodně vybráno několik bodů se zobrazenými informacemi o podříznutí:



Obr. 86.: Obrobená plocha



Obr. 87.: Náhodné body

Podříznutí v Bodě 1:

Pick Point Information	
Machining operation:	Multi-Axis Curve Machining.4
Tool:	Kotouc D100
Pick point:	52,932323 mm, -15,330046 mm, 3,1661868 m
Plane equation:	0,130262x -0,226985y -0,965147z -7,318944
Wall thickness:	6,3824212 mm
Arc radius	
Arc center	
Deviation:	-0,15304568 mm
Close	

Podříznutí v Bodě 2:

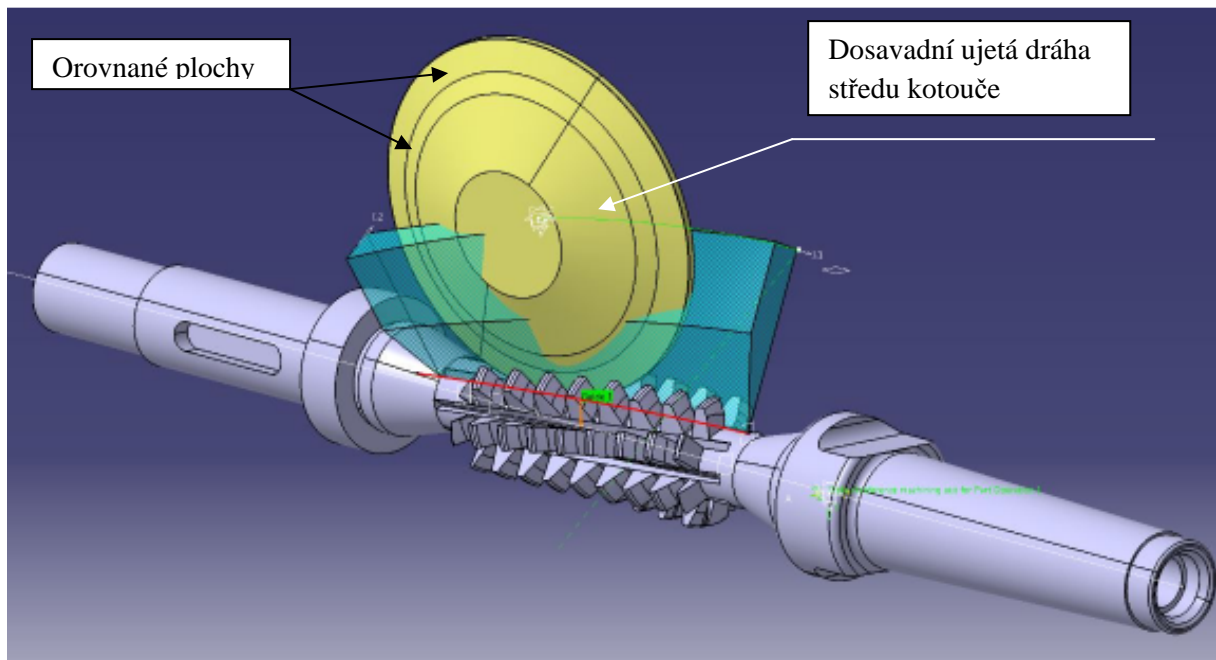
Pick Point Information	
Machining operation:	Multi-Axis Curve Machining.4
Tool:	Kotouc D100
Pick point:	84,34362 mm, -15,125108 mm, 7,9607706 m
Plane equation:	0,127847x -0,474069y -0,871156z -11,018316
Wall thickness:	5,8172802 mm
Arc radius	
Arc center	
Deviation:	-0,2159656 mm
Close	

Podříznutí v Bodě 3:

Pick Point Information	
Machining operation:	Multi-Axis Curve Machining.4
Tool:	Kotouc D100
Pick point:	64,568794 mm, -12,946807 mm, 4,1528511 m
Plane equation:	0,097128x -0,266640y -0,958890z -5,741430
Wall thickness:	6,1534447 mm
Arc radius	
Arc center	
Deviation:	-0,18344158 mm
Close	

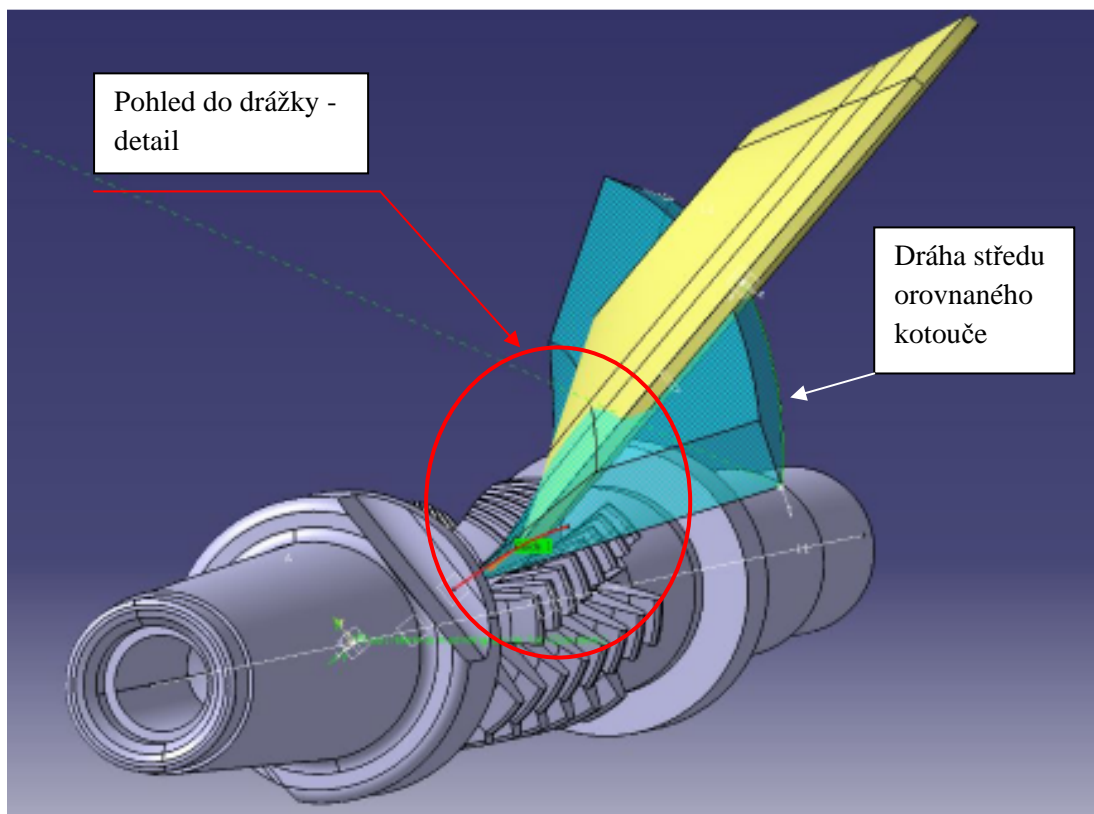
4.4.4. Simulace s orovnaným tvarem kotouče

Na Obr. 88 je pohled na probíhající simulaci. Zelená křivka zobrazuje dosavadní ujetou dráhu středu kotouče. Na kotouči jsou také patrné orovnané plochy:

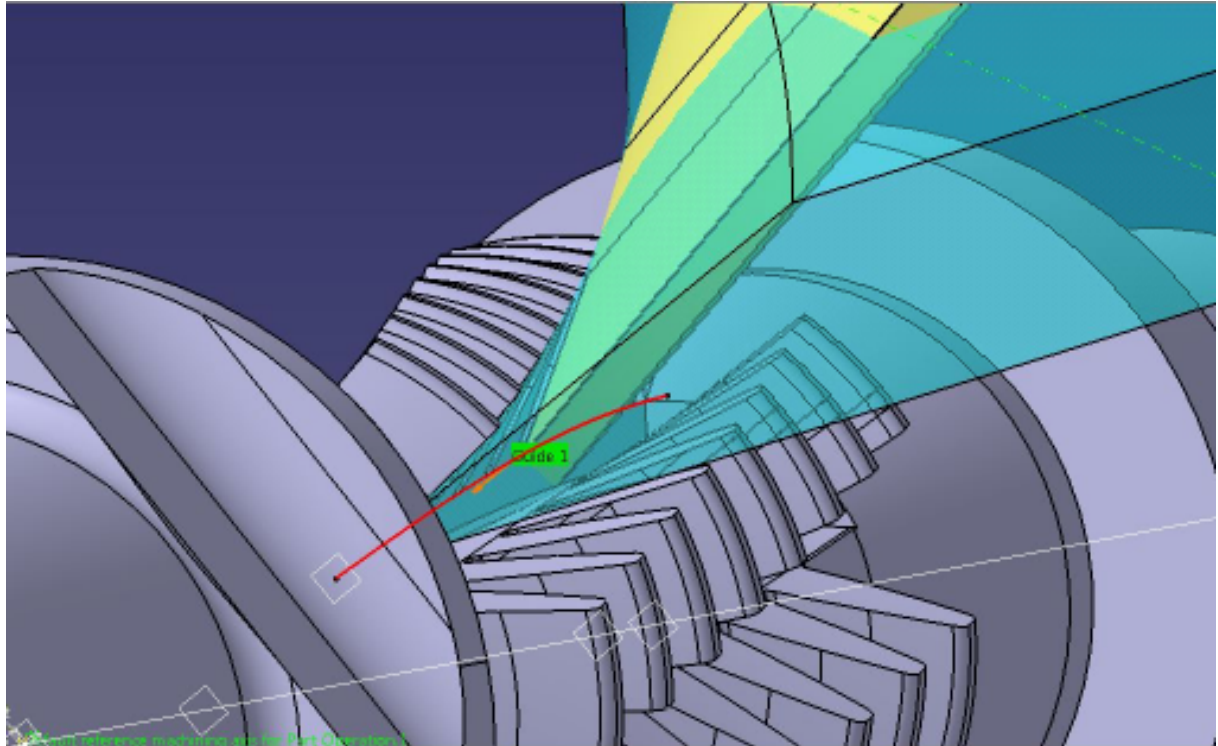


Obr. 88.: Simulace s orovnaným tvarem kotouče

Na Obr. 89 je patrná dráha středu kotouče po nadefinované křivce stejně jako v případě původního kotouče:

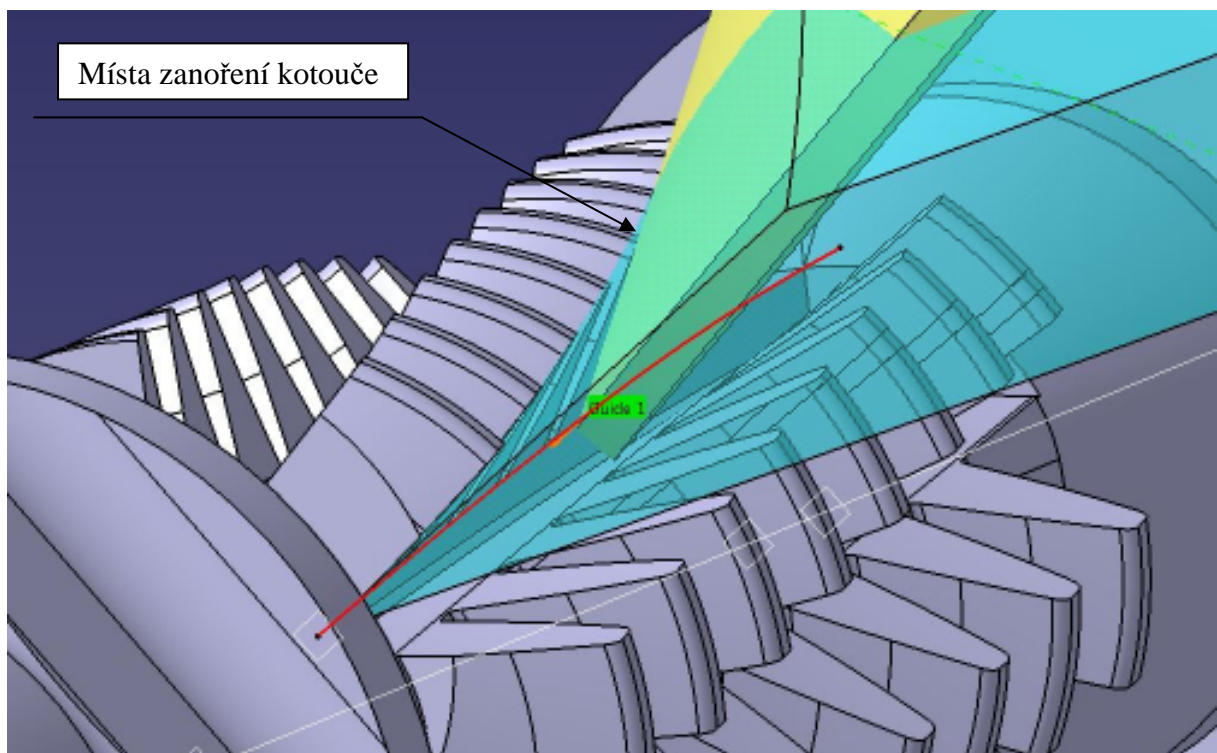


Obr. 89.: Dráha středu orovnaného kotouče



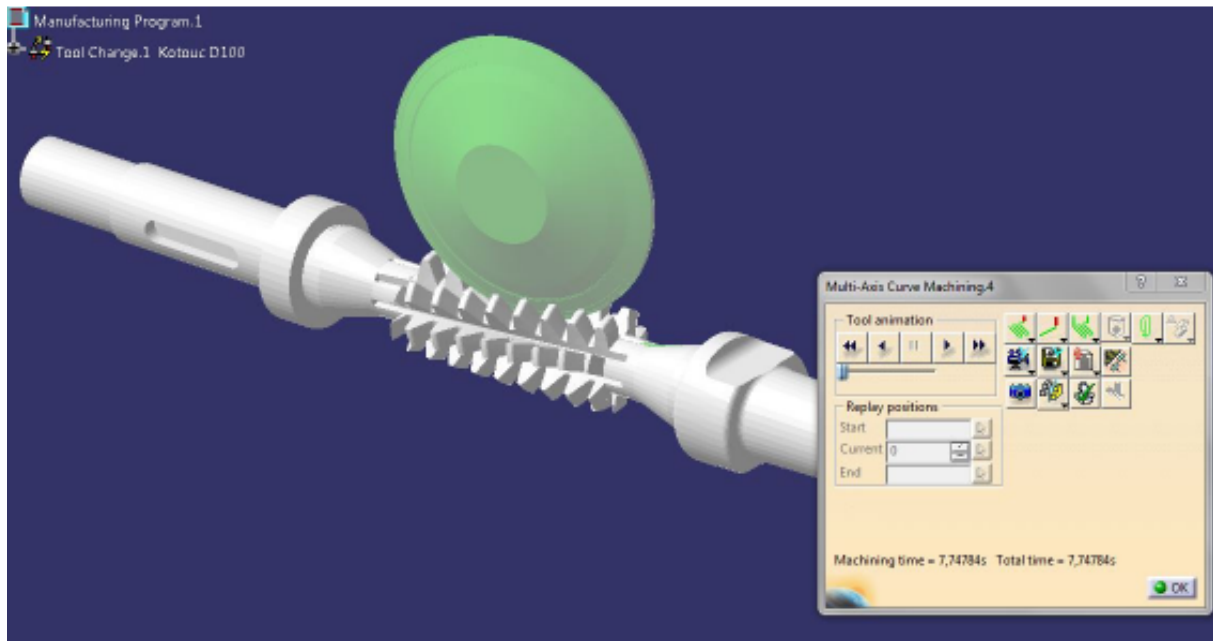
Obr. 90.: Pohled do drážky - detail

Pokud porovnáme pohled do drážky při simulaci orovnaným kotoučem a původním kotoučem, je na první pohled zřejmé, že původní kotouč se opírá o plochu čel zubů větší plochou řezné části a zanořuje se v místech hlavy zubů (viz Obr. 91.: Pohled do drážky – detail – původní kotouč), než je tomu u orovnaného kotouče.



Obr. 91.: Pohled do drážky – detail – původní kotouč

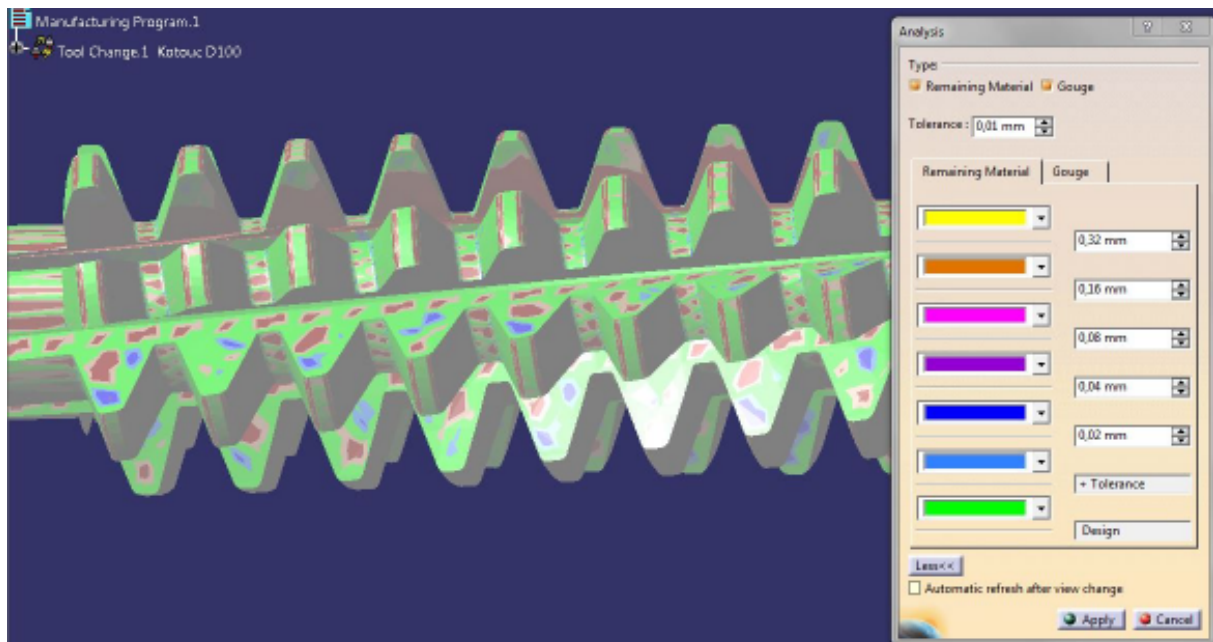
Na Obr. 92 je pohled na probíhající simulaci ve fotorealistickém režimu:



Obr. 92.: Fotorealistická simulace s ořvaným tvarem kotouče

4.4.5. Analýza zbytkového materiálu – ořvaný kotouč

Vlivem složitosti simulace a grafického vykreslování systému dochází i v tomto případě k zobrazování neobráběných ploch jako podříznutých (viz Obr. 93.: Obrobená plocha – ořvaný kotouč):

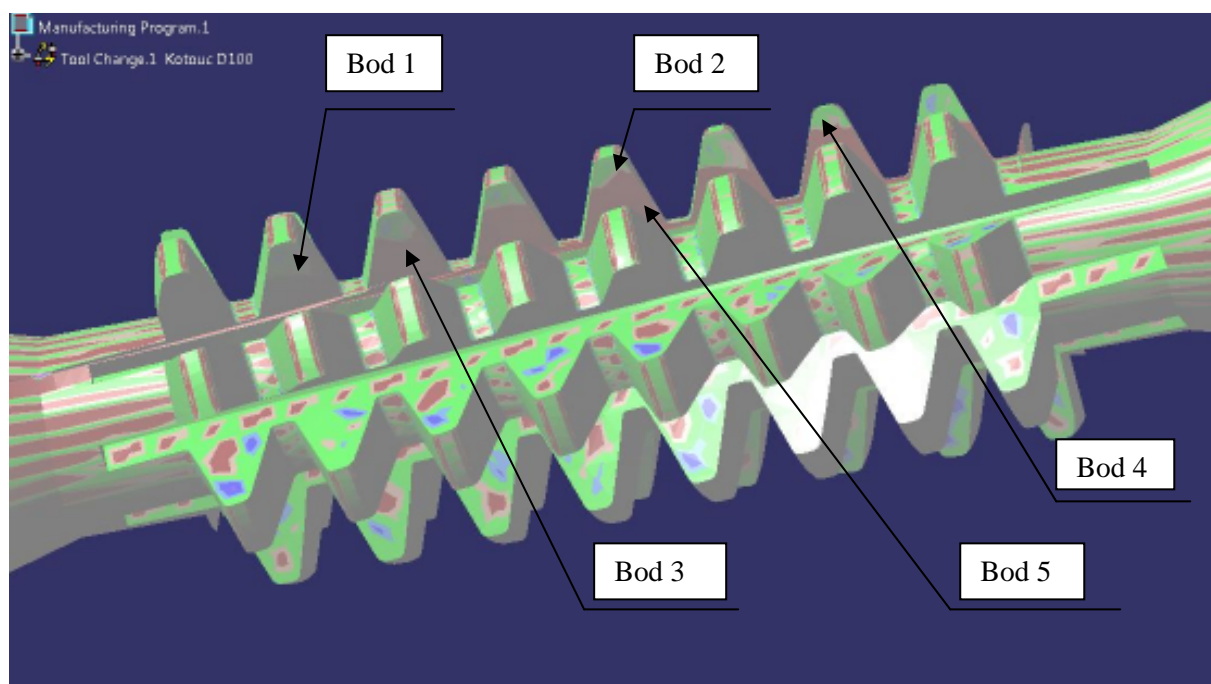


Obr. 93.: Obrobená plocha – ořvaný kotouč

Na Obr. 93 je patrné, že i obrobená plocha čel vykazuje místy plochy zelené. Tyto plochy se zobrazují jako neobrobené nebo s minimálním podříznutím. To je vyhovující, jelikož obrábění bylo nastaveno pro nulový úběr (těleso frézy je definováno systému jako polotovar i obrobek). Na posledním zubu drážky je patrná modře vyznačená plocha jako

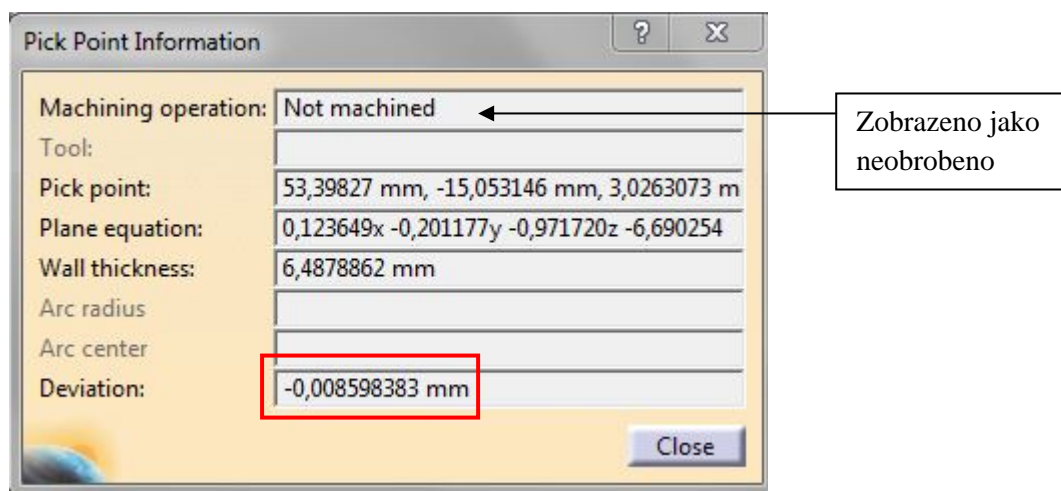
zbytkový materiál. Toto lze uvažovat za vliv grafického zobrazení, jelikož v jiných místech k zobrazení zbytkového materiálu nedošlo. Naopak blíže k patě zubů se objevuje hnědá škála barev, což značí podříznutí materiálu. Čím blíže ke dnu drážky, tím se dosahuje obdobných hodnot jako při simulaci s původním tvarem kotouče vlivem výpočtů systému, kdy při pohybu po řídicí šroubovici, je kotouč držen v určitém směru pro nulový úběr materiálu. Takto setrvává, dokud systém nevyhodnotí, že už k nulovému úběru nedochází, a kotouč lehce pootočí dle požadovaného stavu. Při simulaci takto nevzniká plynulý pohyb, ale složený pohyb, kdy se kotouč zařízne do materiálu a poté se natočí. Tento jev je při reálném broušení eliminován vlivem kinematiky pohybů (pohyb nevytváří brusný kotouč jako v simulaci, ale fréza – posuvný a otáčivý).

Na Obr. 94 jsou znázorněny náhodné body s informacemi o podříznutí:



Obr. 94.: Náhodné body – orovnaný kotouč

Podříznutí v Bodě 1:



Podříznutí v Bodě 2:

Pick Point Information	
Machining operation:	Multi-Axis Curve Machining.4
Tool:	Kotouc D100
Pick point:	85,535538 mm, -14,681482 mm, 7,6919575 m
Plane equation:	0,150176x -0,440473y -0,885116z -12,503917
Wall thickness:	6,5697786 mm
Arc radius	
Arc center	
Deviation:	-0,010770758 mm
Close	

Podříznutí v Bodě 3:

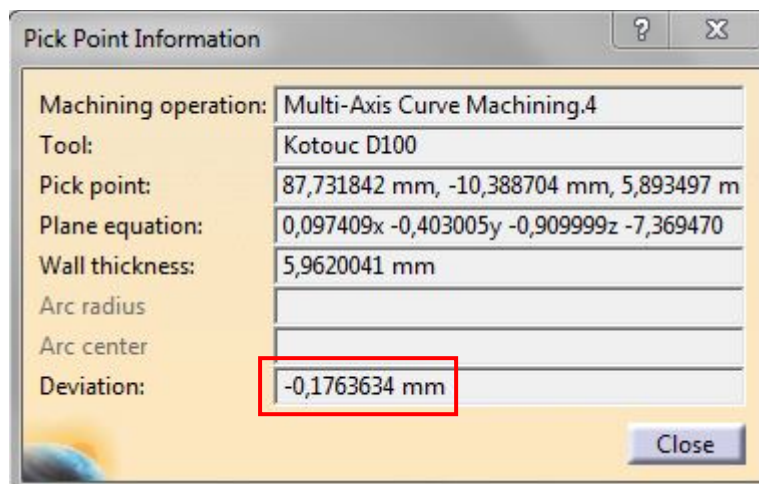
Pick Point Information	
Machining operation:	Multi-Axis Curve Machining.4
Tool:	Kotouc D100
Pick point:	53,65308 mm, -14,301828 mm, 2,9062812 m
Plane equation:	0,137855x -0,201511y -0,969737z -7,460007
Wall thickness:	6,4143056 mm
Arc radius	
Arc center	
Deviation:	-0,009095044 mm
Close	

Podříznutí v Bodě 4:

Pick Point Information	
Machining operation:	Not machined ←
Tool:	
Pick point:	95,208946 mm, -14,206109 mm, 9,0447416 m
Plane equation:	0,153801x -0,536491y -0,829773z -14,759596
Wall thickness:	6,6094903 mm
Arc radius	
Arc center	
Deviation:	0,006530822 mm
Close	

Zobrazeno jako neobrobena

Podříznutí v Bodě 5:



I přes vliv grafického zobrazení je patrný rozdíl mezi podříznutími v jednotlivých bodech v simulaci pro původní tvar kotouče a pro orovnaný tvar kotouče. U nově navrženého tvaru dochází ke značně menšímu podřezávání. Pohled do drážky při simulaci znázornil, jak se výrazněji zanořuje původní tvar kotouče oproti orovnanému kotouči.

4.5. Technologický postup

Pro technologii broušení s původním tvarem kotouče byl technologický postup vytvořený na základě interních podkladů firmy. Skládá se pouze ze dvou operací, ale ruční orovnávaní značně navyšuje strojní čas. Obsluha při operaci postupně střídá strojní broušení s ručním orovnávaním kotouče, dokud nezíská optimální tvar brusného kotouče pro tuto operaci. Poté následuje strojní broušení k naostření frézy.

Pro technologii broušení s navrženým tvarem kotouče byl technologický postup vytvořený na základě interních podkladů firmy (časy pro stroj SHÜTTE), dále z odhadů (pro přípravný čas pro orovnávaní) a z času vytvořené simulace orovnávaní. Vlivem vytvoření odpovídajícího tvaru kotouče dané operaci bylo eliminováno ruční orovnávaní, které bylo nahrazeno novou operací strojního orovnávaní.

Pozn.: Jedná se o kusovou výrobu, není nutné zahrnovat přesné časy jednotlivých úkonů a pohybů v operaci. Některé časy v technologii pro navržený tvar kotouče jsou dostačující jako odhad. Časy dle interních podkladů se pohybují v určitém rozmezí dle náročnosti a šikvosti obsluhy a pro účely této práce byly použity časy průměrné.

4.5.1. Původní tvar kotouče

Operace	Pracoviště	Popis operace	t_A [min]	t_B [min]
11	Stroj SHÜTTE	Upnutí brusného kotouče, nastavení kinematiky stroje, opakovaná kontrola		40
22	Stroj SHÜTTE	Strojní broušení (240 min), ruční orovňávání (120 min)	360	

4.5.2. Navržený tvar kotouče

Operace	Pracoviště	Popis operace	t_A [min]	t_B [min]
11	NC orovňávačka	Upnutí brusného kotouče, nahrání programu pro orovňání		11
22	NC orovňávačka	Orovňání brusného kotouče	1,3	
33	Stroj SHÜTTE	Upnutí brusného kotouče, nastavení kinematiky stroje, opakovaná kontrola		40
44	Stroj SHÜTTE	Strojní broušení	240	

Na základě vytvořených technologických postupů a získání časů jednotlivých operací bylo zpracováno technicko-ekonomické zhodnocení navrženého řešení. Byly vypočteny normy času pro jednotlivé operace obou technologií, vyčísleny celkové náklady včetně časové náročnosti a následně vypočtená úspora navržené technologie oproti technologii stávající.

5. Technickoekonomické zhodnocení

Použité vzorce:

Korekce času T_A koeficientem podmíněné nutných přestávek:

T_A ... čas strojní práce [min]

$$T_{A1} = T_A + 0,05 * T_A \text{ [min]}$$

Koeficient času směnového:

T ... délka směny [min]

t_C ... směnový čas [min]

$$k_c = T / (T - t_C) \text{ [min]}$$

Korekce času T_A koeficientem času směnového:

$$T_{AC} = T_{A1} * k_c \text{ [min]}$$

Korekce času T_B koeficientem času směnového:

T_B ... čas dávkové práce [min]

$$T_{BC} = T_B * k_c \text{ [min]}$$

Norma času operace:

$$T_N = T_{AC} + (T_{BC} / d_v) \text{ [min]}$$

Náklady na operaci:

SHS ... strojní hodinová sazba [Kč]

TM ... mzdový tarif [Kč]

$$N_O = (T_N * SHS) + (T_N * TM) \text{ [Kč]}$$

5.1. Původní technologie

- upnutí kotouče do vřetena brusky
- nastavení posuv, přísuv, natočení kotouče
- opakovaná kontrola

⇒ přípravný čas pro broušení $T_B = 40$ min

- strojní broušení $T_{Abroušení} = 4 \text{ hod} = 240 \text{ min}$
- ruční orovnávaní $T_{Aorovnaní} = 2 \text{ hod} = 120 \text{ min}$

⇒ čas broušení $T_A = T_{Abroušení} + T_{Aorovnaní} = 240 \text{ min} + 120 \text{ min} = 360 \text{ min}$

Korekce času T_A koeficientem podmíněné nutných přestávek a koeficientem času směnového; korekce času T_B koeficientem času směnového:

délka směny: $8h = 480 \text{ min}$

čas směnový: $t_C = 65 \text{ min}$

Výpočet:

$$T_{A1} = T_A + 0,05 * T_A = 360 + 0,05 * 360 = 360 + 180 = 460 \text{ min}$$

$$k_c = T / (T - t_C) = 480 / (480 - 65) = 1,16$$

$$T_{AC} = T_{A1} * k_c = 460 * 1,16 = 533,6 \text{ min}$$

$$T_{BC} = T_B * k_c = 40 * 1,16 = 46,4 \text{ min}$$

Norma času operace:

dávka: $d_v = 3ks$ (s jedním kotoučem obrobena 3 frézy)

Výpočet:

$$T_{Np} = T_{AC} + (T_{BC} / d_v) = 533,6 + (46,4 / 3) = 549,067 \text{ min}$$

Náklady na operaci:

strojní hodinová sazba ostříčky SHŮTTE: $SHS = 1020, -Kč/hod$

mzdová sazba dělníka: $TM = 150, -Kč/hod$

Výpočet:

$$\begin{aligned} N_{OP} &= (T_{Np} * SHS) + (T_{Np} * TM) = ((549,067 / 60) * 1020) + ((549,067 / 60 * 150) = \\ &= 9\,334,2 + 1372,7 = 10\,706,9, -Kč \end{aligned}$$

5.2. Nová technologie

- upnutí do NC orovnávačky
- načtení programu pro orovnění

⇒ přípravný čas pro orovnění $T_{Borovnění} = 11 \text{ min}$

- strojní orovnění

⇒ čas strojního orovnění $T_{Aorovnění} = 1,3 \text{ min}$

- upnutí kotouče do vřetena brusky
- nastavení posuv, přísuv, natočení kotouče
- opakovaná kontrola

⇒ přípravný čas pro broušení $T_{\text{Broušení}} = 40 \text{ min}$

- strojní broušení

⇒ čas strojního broušení $T_{\text{Abroušení}} = 4 \text{ hod} = 240 \text{ min}$

Korekce času $T_{\text{Aorovnění}}$, $T_{\text{Abroušení}}$ koeficientem podmíněné nutných přestávek a koeficientem času směnového; korekce času $T_{\text{Borovnění}}$, $T_{\text{Bbroušení}}$ koeficientem času směnového:

délka směny: $8 \text{ h} = 480 \text{ min}$

čas směnový: $t_c = 65 \text{ min}$

Výpočet:

$$T_{\text{A1orovnění}} = T_{\text{Aorovnění}} + 0,05 * T_{\text{Aorovnění}} = 1,3 + 0,05 * 1,3 = 1,31 \text{ min}$$

$$T_{\text{A1broušení}} = T_{\text{Abroušení}} + 0,05 * T_{\text{Abroušení}} = 240 + 0,05 * 240 = 252 \text{ min}$$

$$k_c = T / (T - T_c) = 480 / (480 - 65) = 1,16$$

$$T_{\text{ACorovnění}} = T_{\text{A1orovnění}} * k_c = 1,31 * 1,16 = 1,56 \text{ min}$$

$$T_{\text{ACbroušení}} = T_{\text{A1broušení}} * k_c = 252 * 1,16 = 292,32 \text{ min}$$

$$T_{\text{BCorovnění}} = T_{\text{Borovnění}} * k_c = 11 * 1,16 = 12,76 \text{ min}$$

$$T_{\text{BCbroušení}} = T_{\text{Bbroušení}} * k_c = 40 * 1,16 = 46,4 \text{ min}$$

Norma času operace:

dávka: $d_v = 3 \text{ ks}$ (s jedním kotoučem obrobeny 3 frézy)

Výpočet:

a) *orovnění*

$$T_{\text{NRorovnění}} = T_{\text{ACorovnění}} + (T_{\text{BCorovnění}} / d_v) = 1,56 + (12,76 / 3) = 5,81 \text{ min}$$

b) *broušení*

$$T_{\text{NRbroušení}} = T_{\text{ACbroušení}} + (T_{\text{BCbroušení}} / d_v) = 292,32 + (46,4 / 3) = 307,79 \text{ min}$$

Náklady na operaci:

strojní hodinová sazba ostříčky SHŮTTE: $\text{SHS} = 1020, -\text{Kč/hod}$

strojní hodinová sazba orovnávačky: $\text{SHS}_{\text{or.}} = 650, -\text{Kč/hod}$

mzdová sazba dělníka: $\text{TM} = 150, -\text{Kč/hod}$

Výpočet:

a) *orovnáání*

$$N_{ORorovnáání} = (T_{NRorovnáání} * SHS_{or.}) + (T_{NRorovnáání} * TM) = \\ = ((5,81 / 60) * 650) + ((5,81 / 60) * 150) = 62,94 + 14,53 = 77,47, -Kč$$

b) *broušení*

$$N_{ORbroušení} = (T_{NRbroušení} * SHS) + (T_{NRbroušení} * TM) = \\ = ((307,79 / 60) * 1020) + ((307,79 / 60) * 150) = 5232,43 + 769,48 = 6001,91, -Kč$$

Náklady celkem:

$$N_{ORcelkem} = N_{ORorovnáání} + N_{ORbroušení} = 77,47 + 6001,91 = 6079,38, -Kč$$

5.3. Vyhodnocení

Úspora [min]:

$$Ú_1 = T_{Np} - (T_{NRorovnáání} + T_{NRbroušení}) = 549,067 - (5,81 + 307,79) = 235,467 \text{ min} = 3,93 \text{ hod}$$

Úspora [Kč]:

$$Ú = N_{OP} - N_{ORcelkem} = 10\,706,9 - 6079,38 = 4627,52, -Kč$$

Navržením nového tvaru kotouče, který je vyhovující řešené problematice, bylo eliminováno ruční orovnáání a bylo nahrazeno strojním orovnááním. Navržený technologický postup se skládá ze dvou operací, oproti původnímu, který se skládal z jedné operace. Řešením bylo dosaženo finanční úspory 4 627,52,-Kč. Celkový čas potřebný pro naostření odvalovací frézy se zkrátil téměř o 4 hodiny (z 549,067 minut na 313,6 minut).

6. Závěr

Broušení čel odvalovacích fréz je velmi specifická a poměrně složitá záležitost. Hlavními vstupními faktory, které primárně ovlivňují tento proces, jsou geometrie frézy, kinematika použitého stroje a tvar použitého brusného nástroje. Vlivem broušené plochy čel, která je tvořena šroubovicí, a profilem kotouče, dochází v záběru k podřezávání šroubové drážky.

Cílem práce bylo zanalyzovat současný stav a na základě definovaných faktorů problematiky vytvořit odpovídající řešení. Použitím standardní metodiky konstrukce řezných rovin byl stanoven vyhovující tvar kotouče pro vyšetřovanou operaci a následně bylo vytvořeno grafické zobrazení postavení původního kotouče ve drážce. Takto vzniklo konstrukční porovnání obou tvarů, kdy u pohledu do drážky u původního tvaru bylo patrné zanoření řezné plochy kotouče do čel zubů. Navržený tvar kotouče odpovídá tečnému styku mezi řeznou částí a plochou čel zubů bez známek zanoření.

Na základě navrženého tvaru kotouče byla navržena strategie orovnění původního kotouče dle křivky jeho profilu. Takto vznikl tvar kotouče po orovnění odpovídající rozměry základních parametrů od výrobce, ale s tvarovým profilem řezné části, která pokrývá hloubku broušené drážky. Výstupem této operace byla vytvořena obecná NC data, která lze modifikovat dle konkrétního stroje, orovnávače a řezných podmínek.

Vytvořením fotorealistické simulace broušení pro oba tvary kotoučů bylo potvrzeno analýzou zbytkového materiálu podřezávání původního tvaru kotouče. Nový tvar kotouče odpovídá řešené operaci a nedochází k podřezávání jako v předchozím případě i se zahrnutím vlivu grafického zobrazení.

Na závěr práce byly vytvořeny technologické postupy pro technologii s původním tvarem kotouče a s navrženým tvarem kotouče včetně záznamu času strojní práce a času dávkové práce. Z technicko-ekonomického zhodnocení pomocí výpočtu normy času se zahrnutím strojních nákladů a mzdového tarifu je zřejmé, že nově navržená technologie přinesla jak časovou, tak i finanční úsporu.

Přínosem této práce bylo popsání a grafické zobrazení problematiky broušení odvalovací frézy o zvolené geometrii a stanovený tvar brusného kotouče. Dalším přínosem bylo grafické znázornění podříznutí původního tvaru brusného kotouče ve šroubové drážce a znázornění porovnání původního tvaru kotouče s navrženým tvarem kotouče, kde bylo potvrzeno, že nový tvar by měl být tvořen obecnou křivkou složenou z rádiusů, nikoliv přímkou.

Pro konkrétní problematiku byla zvolena grafická metoda řešení. Na základě výsledků a zjištěných skutečností lze pokračovat v dalším řešení s cílem matematického vyjádření. Na základě vytvořeného vzorce pro vyšetřovanou problematiku lze pokračovat vytvořením parametrizace problematiky broušení odvalovacích fréz dle úhlu stoupání řídicí šroubovice, modulu zubů, druhu ozubení, průměru, hloubky drážky a rozměru použitého brusného kotouče.

POUŽITÁ LITERATURA

- [1] www.pilsentools.cz
- [2] www.graessner.at
- [3] www.kks.zcu.cz
- [4] www.kstroje.cz
- [5] <http://www.sjf.tuke.sk/transferinovacii/pages/archiv/transfer/15-2009/pdf/138-142.pdf>
- [6] http://www.ateam.zcu.cz/zadani_pno.pdf
- [7] <http://www.prodejbrusiva.cz/poradna-diamantove-orovnavace>
- [8] Podklady k přednáškám z předmětu KPV/EHV
- [9] Podklady k přednáškám z předmětu KTO/STO
- [10] Interní podklady závodu
- [11] ŽÁRA, J., BENEŠ, B., SOCHOR, J., FELKEL, P.: *Moderní počítačová grafika*. Brno: Computer Press, 2004. ISBN 80-251-0454-0
- [12] JEŽEK, F.: *Geometrické a počítačové zpracování*. Plzeň: ZČU, 1996
- [13] JADNEČKA, K., ČESÁNEK, J., KOŽMÍN, P.: *Programování NC strojů*. Plzeň: ZČU, 2000. ISBN 80-7082-692-4
- [14] CHLADIL, J.: *Přípravky a nástroje: část obrábění. 3. Vydání*. Brno: VUT, 1992. ISBN 80-214-0408-6

SEZNAM POUŽITÉHO SOFTWARE

3D CAD/CAM Catia V5

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1.: Odvalovací fréza šneková.....	11
Obr. 2.: Detail plochy čel zubů	12
Obr. 3.: Styk tvarových ploch	13
Obr. 4.: Schéma šnekového soukolí [2]	14
Obr. 5.: Model šnekového soukolí [3].....	14
Obr. 6.: Stoupání čel zubů.....	15
Obr. 7.: Počet zubů po obvodu nástroje – pohled A-A.....	15
Obr. 8.: Výkres - detail.....	16
Obr. 9.: Úhel čela	17
Obr. 10.: Profil kolmo na stoupání.....	17
Obr. 11.: Pohled 1	18
Obr. 12.: Pohled na detail ozubení	18
Obr. 13.: Pohled 2	18
Obr. 14.: Rozměry.....	19
Obr. 15a.: Brusný kotouč	19

Obr. 16.: Ostříčka Shütte [4]	20
Obr. 17.: Úprava kotouče	21
Obr. 18.: Zachování geometrie.....	21
Obr. 19.: Schéma pohybů.....	22
Obr. 20.: Výchozí stav konstrukce	24
Obr. 21.: Pomocná plocha - Krok 1	25
Obr. 22.: Pomocná plocha - Krok 2	25
Obr. 23.: Pomocná plocha - Krok 3	26
Obr. 24.: Pomocná geometrie – Krok 1.....	26
Obr. 25.: Pomocná geometrie – Krok 2.....	27
Obr. 26.: Přímka definující poloměr	27
Obr. 27.: Bod středu kotouče	28
Obr. 28.: Řezné roviny	29
Obr. 29a.: Průniky řezných rovin.....	30
Obr. 30.: Soustava kružnic	31
Obr. 31.: Soustava kružnic – pohled do roviny kolmé na stoupání řídicí šroubovice.....	32
Obr. 32.: Pohled do jedné z řezných rovin	33
Obr. 33.: Detail	33
Obr. 34a.: Body křivky záběru	34
Obr. 35.: Detail pohledu.....	35
Obr. 36.: Body nového profilu	35
Obr. 37.: Detail bodů (pozn.: body vyznačeny bílým křížkem)	36
Obr. 38.: Pohled do vyšetřované roviny	37
Obr. 39.: Nový tvar	38
Obr. 40.: Pohled do drážky	38
Obr. 41.: Tvar profilu.....	39
Obr. 42.: Původní záběr brusného kotouče	40
Obr. 43.: Detail původního záběru	40
Obr. 44.: Detail záběru.....	41
Obr. 45.: Původní tvar.....	42
Obr. 46.: Nový tvar	42
Obr. 47.: Detail A Obr. 48.: Detail B	43
Obr. 49.: Překrytí tvarů	44
Obr. 50.: Detail překrytí (pohled do roviny δ)	44
Obr. 51.: Kinematika při orovnávání.....	46
Obr. 52.: Napolohování orovnávače.....	46
Obr. 53.: Propojení geometrie	47
Obr. 54.: Detail propojení	47
Obr. 55.: Skica	48
Obr. 56.: Nový tvar 2	48
Obr. 57.: Nulový bod	49
Obr. 58.: Vstupní informace.....	50
Obr. 59.: Definování strategie	51
Obr. 60.: Detail definování polotovar	51
Obr. 61.: Detail definování součástí	52

Obr. 62.: Definování strategie	52
Obr. 63.: Detail strategie	53
Obr. 64.: Výpočet simulace.....	54
Obr. 65.: Fotorealistické zobrazení	55
Obr. 66.: Průběh simulace.....	55
Obr. 67.: Konec simulace - výsledek	56
Obr. 68.: Analýza zbytkového materiálu.....	56
Obr. 69.: Nastavení	57
Obr. 70.: Základní parametry	59
Obr. 71.: Reprezentace nástroje	60
Obr. 72.: Profil pomocného tělesa.....	61
Obr. 73.: Pomocné těleso – pohled 1.....	61
Obr. 74.: Pomocné těleso – pohled 2.....	62
Obr. 75.: Mód obrábění.....	63
Obr. 76.: Obrábění	63
Obr. 77.: Osa nástroje	64
Obr. 78.: Simulace s původním tvarem kotouče	65
Obr. 79.: Dráha středu původního kotouče	65
Obr. 80.: Dráha středu původního kotouče - detail	66
Obr. 81.: Fotorealistická simulace s původním tvarem kotouče.....	66
Obr. 82.: Zbytkový materiál.....	67
Obr. 83.: Podříznutý materiál.....	67
Obr. 84.: Podříznutí neobráběných ploch.....	68
Obr. 85.: Zbytkový materiál neobráběných ploch.....	69
Obr. 86.: Obrobená plocha	70
Obr. 87.: Náhodné body	70
Obr. 88.: Simulace s ořvnaným tvarem kotouče	72
Obr. 89.: Dráha středu ořvnaného kotouče.....	72
Obr. 90.: Pohled do drážky - detail	73
Obr. 91.: Pohled do drážky – detail – původní kotouč	73
Obr. 92.: Fotorealistická simulace s ořvnaným tvarem kotouče.....	74
Obr. 93.: Obrobená plocha – ořvnaný kotouč	74
Obr. 94.: Náhodné body – ořvnaný kotouč	75

SEZNAM TABULEK

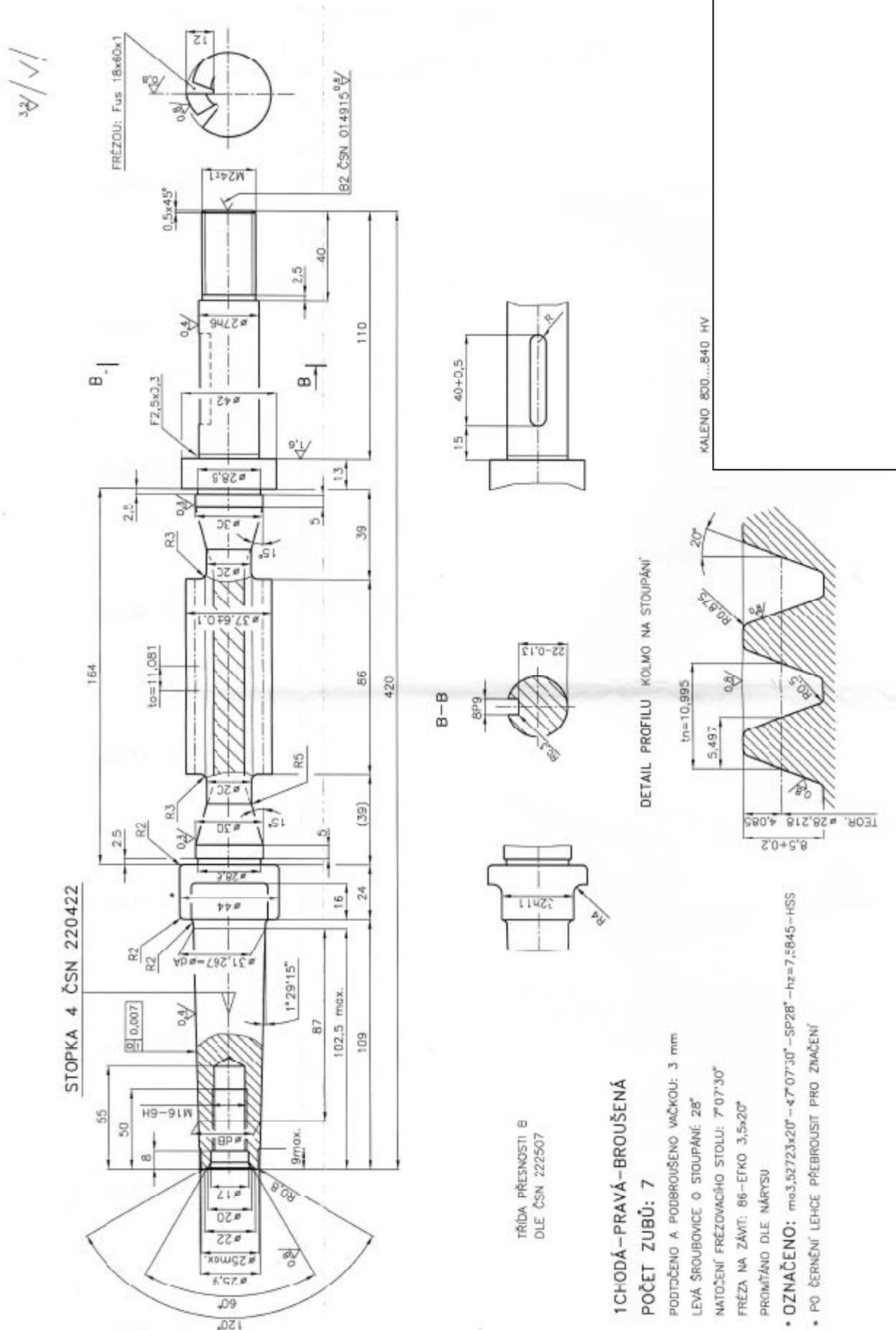
Tabulka 1.: Geometrické parametry	16
Tabulka 2.: Rozměry.....	19

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha č. 1	87
Příloha č. 2	89

Příloha č. 1

Výkres



Příloha č. 2

NC data pro orovnění

%MPF 1000
N1 G40 G54 G90 G17 G94
N2 T1 M6
N3 G0 X41.65 S70. M4
N4 Z-4.1 D1
N5 G1 Z-6.1 F300.
N6 G95 X42.18 Z-6.34 F.4
N7 X42.75 Z-6.57
N8 X43.6 Z-6.89
N9 G94 X43.88 Z-6.99 F1000.
N10 G0 Z-3.44
N11 X39.99
N12 G1 Z-5.44 F300.
N13 G95 X42.13 Z-6.39 F.4
N14 X42.7 Z-6.62
N15 X45.79 Z-7.77
N16 G94 X46.07 Z-7.87 F1000.
N17 G0 Z-2.77
N18 X38.34
N19 G1 Z-4.77 F300.
N20 G95 X42.08 Z-6.44 F.4
N21 X42.65 Z-6.67
N22 X47.98 Z-8.65
N23 G94 X48.26 Z-8.75 F1000.
N24 G0 Z-2.23
N25 X36.99
N26 G1 Z-4.23 F300.
N27 G95 Z-4.24 F.4
N28 X42.03 Z-6.49
N29 X42.6 Z-6.72
N30 X50.17 Z-9.53
N31 G94 X50.39 Z-9.32 F1000.
N32 M30