

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA STROJNÍ

Studijní program: B2301 Strojní inženýrství
Studijní obor: Strojírenská technologie – technologie obrábění

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Snížení rizika kolize nástroje a času programování pomocí simulace
procesu obrábění CAM

Autor: **Bc. Roman ZACHARENKO**
Vedoucí práce: **Ing. Miroslav ZETEK, Ph.D.**

Akademický rok 2015/2016

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
Fakulta strojní
Akademický rok: 2015/2016

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE
(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Roman ZACHARENKO**
Osobní číslo: **S14N0006K**
Studijní program: **N2301 Strojní inženýrství**
Studijní obor: **Strojírenská technologie - technologie obrábění**
Název tématu: **Snížení rizika kolize nástroje a času programování pomocí simulace procesu obrábění v CAM**
Zadávající katedra: **Katedra technologie obrábění**

Zásady pro vypracování:

1. Úvod
2. Rozbor současného stavu
3. Návrh a realizace vlastního řešení
4. Vyhodnocení a zpracování výsledků
5. Závěr

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

Seznam odborné literatury:

- Astakhof, Viktor P., Tribology and interface engineering series, Elsevier, 2006, ISBN 0-444-52881-4
- Shaw, Milton Clayton, Metal cutting principles, Oxford University Press, 2005, ISBN 0-19-514206-3
- Juneja, B.L., Fundamentals of Metal Cutting and Machine Tools, New Age International, ISBN 978-81-224-1467-7
- Staněk, Jiří, Metodika zpracování a úprava diplomových (bakalářských) prací, Západočeská univerzita, 2005, ISBN 80-7043-363-9

Vedoucí diplomové práce: Ing. Miroslav Zetek, Ph.D.
Katedra technologie obrábění
Konzultant diplomové práce: Ing. Ondřej Kuklík
Doosan Škoda Power, s.r.o.

Datum zadání diplomové práce: 18. října 2015
Termín odevzdání diplomové práce: 20. května 2016



Doc. Ing. Milan Edl, Ph.D.
děkan



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

V Plzni dne 20. října 2015

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

Autorská práva

Podle Zákona o právu autorském č. 35/1965 Sb. (175/1996 Sb. ČR) § 17 a Zákona o vysokých školách č. 111/1998 Sb. je využití a společenské uplatnění výsledků diplomové práce, včetně uváděných vědeckých a výrobně-technických poznatků nebo jakékoli nakládání s nimi, možné pouze na základě autorské smlouvy za souhlasu autora a Fakulty strojní Západočeské univerzity v Plzni.

Poděkování

Rád bych poděkoval vedoucímu mé diplomové práce Ing. Miroslavu Zetkovi, Ph.D. za odbornou pomoc při řešení experimentální části, za cenné připomínky a podněty poskytnuté během vypracovávání zvoleného tématu. Dále bych rád poděkoval firmě DOOSAN Škoda Power, s.r.o. za umožnění měření a poskytnutí mnoha cenných rad speciálně Ing. Ondřeji Kuklíkovi, Ing. Jaroslavu Štiplovi a Ing. Jířímu Pejcharovi za odborné rady a čas s tím spojený při vypracování DP. Dále ostatním kolegům ve firmě za toleranci při zpracování práce.

ANOTAČNÍ LIST DIPLOMOVÉ PRÁCE

AUTOR	Příjmení ZACHARENKO	Jméno Roman	
STUDIJNÍ OBOR	Strojírenská technologie - technologie obrábění		
VEDOUcí PRÁCE	Příjmení (včetně titulů) Ing. ZETEK, Ph.D.	Jméno Miroslav	
PRACOVIŠTĚ	ZČU - FST - KTO		
DRUH PRÁCE	DIPLOMOVÁ	BAKALÁŘSKÁ	Nehodící se škrtněte
NÁZEV PRÁCE	Snížení rizika kolize nástroje a času programování pomocí simulace procesu obrábění v CAM		

FAKULTA	Strojní	KATEDRA	KTO	ROK ODEVZD.	2016
----------------	---------	----------------	-----	--------------------	------

POČET STRAN (A4 a ekvivalentů A4)

CELKEM	70	TEXTOVÁ ČÁST	62	GRAFICKÁ ČÁST	0
---------------	----	---------------------	----	----------------------	---

STRUČNÝ POPIS	Diplomová práce je zaměřena na činnost NC programátora v technologické přípravě výroby. Jsou sepsány současné postupy v přípravě NC programů a nástrojů pro vyšetření kolizí nástroje a přídatných zařízení stroje s obrobkem v CAD/CAM systému Catia. Byla navržena nová fáze simulace obrábění pomocí rekonstrukce 3D modelů přídatného zařízení, ukázány její výhody a na jedné operaci zhodnocena časová náročnost použití této navržené metody v TpV.
KLÍČOVÁ SLOVA	CAD, CAM, CNC, obrábění, frézování, simulace, Catia, programátor, kolize, přípravný čas

SUMMARY OF BACHELORWORK

AUTHOR	Surname ZACHARENKO	Name Roman
FIELD OF STUDY	Department of Machining Technology	
SUPERVISOR	Surname (Inclusive of Degrees) Ing. ZETEK, Ph.D.	Name Miroslav
INSTITUTION	ZČU - FST - KTO	
TYPE OF WORK	DIPLOMA	BACHELOR
TITLE OF THE WORK	Delete when not applicable	
	Reduce the risk of collisions tools and programming time by using process simulation machining in CAM system	

FACULTY	Mechanical Engineering	DEPARTMENT	Machining Technology	SUBMITTED IN	2016
----------------	------------------------	-------------------	----------------------	---------------------	------

NUMBER OF PAGES (A4 and eq. A4)

TOTALLY	70	TEXT PART	62	GRAPHICAL PART	0
BRIEF DESCRIPTION	There are drafted current procedures in preparation of NC programs and tools for the collision between the tool with its additional attachments and the workpiece itself in CAD/CAM Catia software. New phase of machining simulation using reconstruction of 3D models of the attachment was designed, its benefits are shown and the duration of this method in Production Engineering was valorized on one of the operation.				
KEY WORDS	CAD, CAM, CNC, machining, milling, simulation of machining, colision, prepairing time				

Obsah

1	Úvod.....	10
1.1	Doosan Škoda Power, s.r.o.	11
2	Rozbor současného stavu	12
2.1	Úvod do CAD/CAM – historie [4], [5].....	12
2.2	Úvod do CAD/CAM – současnost [2], [5], [6].....	12
2.3	Počet řízených os při obrábění [6], [7], [8].....	14
2.3.1	Pravidlo pravé ruky.....	14
2.3.2	Počet řízených os	14
2.4	Simulace procesu obrábění [3].....	17
2.5	Catia V5 [1], [3], [7]	17
2.5.1	Simulace – Catia V5	18
2.6	Práce programátora v TpV – současný stav [1].....	21
2.6.1	Obecná práce TpV	21
2.6.2	Postup vytváření NC programu programátorem.....	22
2.7	Stroj - portálová frézka WACO PMC 5000 AG [1]	25
2.8	Frézovací zařízení – popis [1].....	28
2.8.1	Frézovací zařízení HS 800C	29
2.8.2	Frézovací zařízení HSD 350C	33
2.8.3	Frézovací zařízení UFUH 400 SZ	34
2.8.4	Frézovací zařízení UGF 180B	35
2.8.5	Frézovací zařízení VS300 C	36
3	Návrh a realizace vlastního řešení.....	37
3.1	Popis konstrukce frézovacích zařízení.....	37
3.1.1	Konstrukce HS800C	38

3.1.2	Konstrukce UGF180B	42
3.1.3	Konstrukce HSD350C	43
3.1.4	Konstrukce UFUH400SZ	44
3.1.5	Konstrukce VS300C	45
3.2	Kinematika frézovacího zařízení	46
3.2.1	Kinematika HS800C	47
3.2.2	Kinematika HSD350C	49
3.2.3	Kinematika UGF180B	50
3.2.4	Kinematika UFU400SZ	51
3.2.5	Kinematika VS300C	52
3.3	Simulace kolizních stavů	52
3.3.1	Simulace HS800C	54
3.3.2	Simulace HSD350C	55
3.3.3	Simulace UGF180B	57
3.3.4	Simulace UFUH400SZ	58
3.3.5	Simulace VS300C	60
4	Vyhodnocení a zpracování výsledků	62
4.1	Popis kolize	62
4.2	Řešení kolize	63
4.3	Shrnutí časů a porovnání současnosti s návrhem řešení	64
5	Závěr	66
	Seznam použité literatury	67
	Seznam obrázků	68
	Seznam tabulek	70

Seznam zkratek

CAM	-	Computer Aided Manufacturing (Počítačová podpora výroby)
CAD	-	Computer Aided Design (Počítačová podpora konstruování)
TpV	-	technologická příprava výroby
stl	-	světový formát 3D dat
DSPW	-	Doosan Škoda Power
CNC	-	Computer Numerical Control (Počítačově číslicově řízený)
NC	-	Numerical Control (Číslicově řízený)
DNC	-	Direct Numerical Control (Přímé číslicové řízení)
S-N-O-P	-	soustava stroj, nástroj, obrobek, přípravek
X_s	-	délka vyložení nástroje z frézovacího zařízení
D_c	-	řezný průměr nástroje

1 Úvod

V dnešní době není dobré se uspokojit se základními dovednostmi a postupy při výrobě ani její přípravě. Jedním z nejdůležitějších ukazatelů konkurenceschopnosti kvalitní společnosti na trhu práce je nejen cena výrobku, ale také rychlost jeho výroby v požadované kvalitě. Tato diplomová práce se zabývá snížením rizika kolize nástroje, která by měla být podchycena v přípravné části výroby. Doposud byly tyto kolize zjišťovány ve většině případů až operátory při výrobě. To znamená v konečném důsledku až několika hodinové ztráty stroje a vznik vícepráce s opravou programu a s tím spojenou víceprací na stroji. Kolize při obrábění by v moderním podniku měli být odladěny programátorem v samotné přípravě výroby.

K účelu snížení kolizí existuje celá řada nástrojů. Jedním z nejpoužívanějších a nejmodernějších systémů a nástrojů pro přípravu programu složitějších součástí jsou v dnešní době používány CAD/CAM systémy, ve kterých je možno připravit výrobek od samého konstrukčního návrhu, až po jeho realizaci. Pro účel této práce to znamená v krocích připravit operace pro výrobu součásti a provedení simulace pohybu nástroje i stroje s obrobkem, kde dochází k vyšetření kolizí mezi touto soustavou stroj – nástroj – obrobek.

Pro řešení tohoto problému byl použit komplexní CAD/CAM software Catia od francouzské firmy Dassault Systemes. Nabízí komplexní škálu možností jak v oblasti CAD konstruování, tak v oblasti CAM, kde software nabízí mnoho možností, jak předejít kolizím při výrobě v soustavě stroj – nástroj – obrobek.

Cílem diplomové práce je popis současného stavu přípravy výroby z hlediska předcházení kolizí jak ze strany NC programátora, tak operátora portálové frézky. Dále navrhnout takové řešení, aby byly snižovány kolize v přípravné části výroby programátorem pomocí softwaru Catia v čárové simulaci a tím sníženy vícepráce operátora spojené s víceprací technologické přípravy výroby.

1.1 Doosan Škoda Power, s.r.o.

Ve firmě Doosan Škoda Power mi bylo umožněno zpracovat tuto diplomovou práci, proto v krátkosti ji v krátkosti představím.

Jedná se o jednu z předních firem v oblasti energetických strojů a zařízení, v dnešní době se zabývající převážně výrobou turbín.

Firma byla založena v roce 1859 Hrabětem z Valdštejna. Historicky první parní turbína byla vyrobena pod zakladatelem firmy Emilem Škodou v roce 1904 o výkonu 412 kW. Pro srovnání, dnes jsou vyráběny turbíny v řádech několik set MW.

V roce 2010 se ŠKODA POWER stává členem korejské skupiny dceřině společnosti Doosan Heavy Industries and Construction a tím vzniká nový název firmy Doosan Škoda Power.

Jako velký konkurent na trhu práce v energetickém odvětví nabízí širokou škálu jak technologicky, tak ekonomicky výhodné a progresivní řešení daného projektu celé strojovny včetně parních turbín, kondenzátorů, tepelných výměníků aj. To vše je navrhováno dle vlastního designu a značky ŠKODA.

Z hlediska vstupního zdroje energie nabízí firma parní turbíny a tepelné výměníky pro parní a paroplynové elektrárny, jaderné elektrárny, fosilní elektrárny nebo například spalovny komunálního odpadu a biomasy, aj.

2 Rozbor současného stavu

2.1 Úvod do CAD/CAM – historie [4], [5]

Cílem člověka je od už dávných let ulehčovat si a zrychlovat svoji práci, proto začátkem druhé poloviny 20. století vznikají první zárodky CAD (Computer Aided Design) systémů a později CAM (Computer Aided Manufacturing) systémy. Historicky je CAM systém pokračovatelem CAD systému.

Počátky CAD systémů byly spojovány s vynálezem světelného pera v roce 1950. Software pro 2D kreslení a 3D modelování se objevuje na trhu v 80. letech. Na počátku nasazení CAD systémů sloužily 3D modely jen k ověření myšlenky a změna modelu tvaru 3D modelu byla velice náročná. S parametrickým modelováním, tedy mnohem flexibilnějším způsobem vytváření 3D modelu, přichází na trh jako první firma PTC Pro/Engineer v roce 1988. Tato myšlenka je později přejímána i jinými firmami, například SolidEdge, SolidWorks a později Inventor, Catia, NX apod.

CAM systém přichází na svět v 70. letech. V roce 1961 bylo zavedeno do výroby první číslicově řízený stroj (NC). Na přenos a uchování dat byly používány děrné pásky nebo štítky. Zavedením počítačem řízeného obráběcího stroje (CNC) znamenalo pro výrobu podstatné zkrácení přípravné doby a její flexibility oproti konvenčním automaticky řízeným strojům, dále snížení zmetkovitosti při vyšší produktivitě práce v porovnání s ručně řízenými stroji.

2.2 Úvod do CAD/CAM – současnost [2], [5], [6]

CAM systém je definován jako využívání počítačových systémů pro podporu předvýrobní etapy. V CAM tedy vznikají různé typy a formáty dat, které jsou využívány jak technologicky pro řadu specifických činností, tak i přímo jako výrobní data pro CNC stroje. Pro přenos dat do CAx systémů je dnes nejvíce využíváno DNC serverů a síťových připojení.

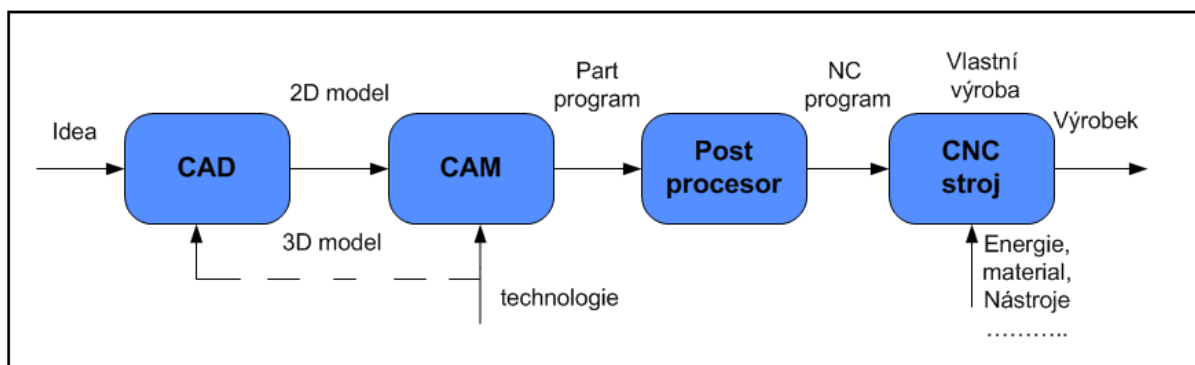
V CAD systémech je tvořena konstrukční část výroby, využívající v dnešní době nejčastěji 3D modelování, společně s přípravou technické dokumentace a podkladů pro výrobu. Pomocí CAM systémů je zajišťována příprava NC programů, simulace a verifikace.

Definovat CAD/CAM systém lze tedy jako počítačový systém s integrovanou podporou konstrukce a technické přípravy výroby samotné součásti. V této diplomové práci

bude použit systém Catia pro simulaci dráhy nástroje, včetně ověřování kolizí přídatných zařízení stroje.

Existuje několik požadavků na CAD/CAM systémy. Jedním z největších je právě zkrácení přípravných časů v předvýrobní etapě, tedy tvorba samotného programu. Dále jsou to intuitivní a jednoduché ovládání programu, který eliminuje co nejjednodušeji chybovost zadávání uživatelem. Dále možnost přímého načítání různých CAD formátů bez ztráty informací například návaznosti ploch nebo tolerančních rozměrů. K tomu slouží univerzální formáty například *stl* nebo *igs*. Tento požadavek je s výhodou používán u firem, které jsou v kooperaci s jinými firmami, a není zde konstrukční oddělení. Další požadavek je optimalizování drah samotného obrábění nebo rychloposuvů, tedy zabránění obrábění „vzduchu“ – co největší eliminace zbytečných přejezdů apod. K tomu je zapotřebí, aby systém obsahoval kvalitní modul simulace, ve které jsou odhaleny tyto problémy. Když jsou odhaleny chyby v simulaci obrábění, je požadována možnost úplné editace zvolené funkce nebo výběru zcela nové strategie obrábění.

Graficky by bylo možné znázornit od návrhu výrobku po jeho vyrobení jako na *obrázku 1*. Prvotní je konstrukční návrh CAD systému, poté přechází do fáze technologické přípravy výroby, včetně vytvoření programu pro obrábění a přes vhodný postprocesor je odeslán do stroje program pro výrobu. V této práci je věnována největší pozornost druhé fázi tohoto řetězce, tedy přípravě výroby a její nástroje pro zrychlení práce programátora.

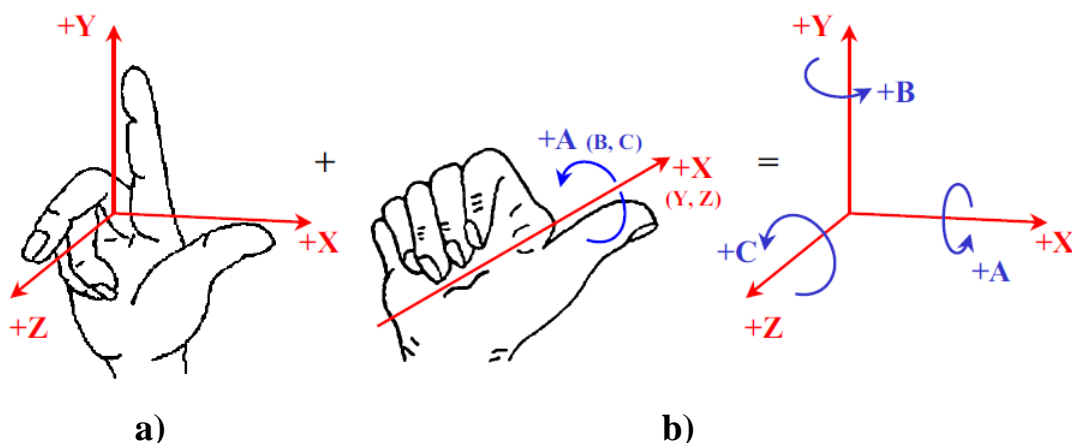


Obrázek 1: Diagram toku výrobku v průběhu přípravy výroby [1]

2.3 Počet řízených os při obrábění [6], [7], [8]

2.3.1 Pravidlo pravé ruky

Aby byla jasně určena poloha obrobku vůči stroji, je zde dáno pravidlo pravé ruky pro správnou orientaci os. V první řadě je určena orientace osa Z. Platí úmluva, že osa Z je určena hlavním řezným pohybem, tedy u frézky je shodná s osou pracovního vřetena. Ostatní osy jsou orientovány dle pravidla pravé ruky tak, že osa X je ve směru palce a osa Y ve směru ukazováčku, viz *obrázek 2a*. Kladný směr rotační osy se určuje například pomocí pravé ruky, kdy palec ukazuje kladný směr osy a prsty svírající osu pak kladný směr rotace. Osy stroje jak rotační tak lineární jsou naznačeny na *obrázku 2b*.



Obrázek 2: Orientace os - a) Pravidlo pravé ruky; b) Orientace přídavných os [8]

2.3.2 Počet řízených os

Ve vývoji konstrukce NC a CNC strojů společně s jejich řídicími systémy bylo umožněno zvýšit počet řízených os. To zjednodušilo přípravu programů a bylo umožněno dosáhnout lepších technologických výsledků při obrábění složitých tvarů. Počet řízených os bylo rozděleno na **2osé**, **2,5osé**, **3 osé**, **4osé**, **5 osé** a **více osé**. U všech těchto typů řízení je možno zadávat parametry technologického procesu jako otáčky, posuvy a volba nástroje.

U **2 osého** řízení je možno řídit souvisle dvě souřadné osy v jedné pracovní rovině. Může být řízena zvlášť ještě přídavná osa, která je programována zvlášť. Tímto způsobem řízení je možno obrábět rotační tvary na NC soustruzích, dále vrtání, závitování a srážení hran v ose obrobku.

Při **2,5 osém** řízení je umožněno řízení dvou souřadných os v pracovní rovině a třetí osu v dalším bloku programu. Nástroj se dokáže pohybovat vždy v jedné rovině mezi dvěma

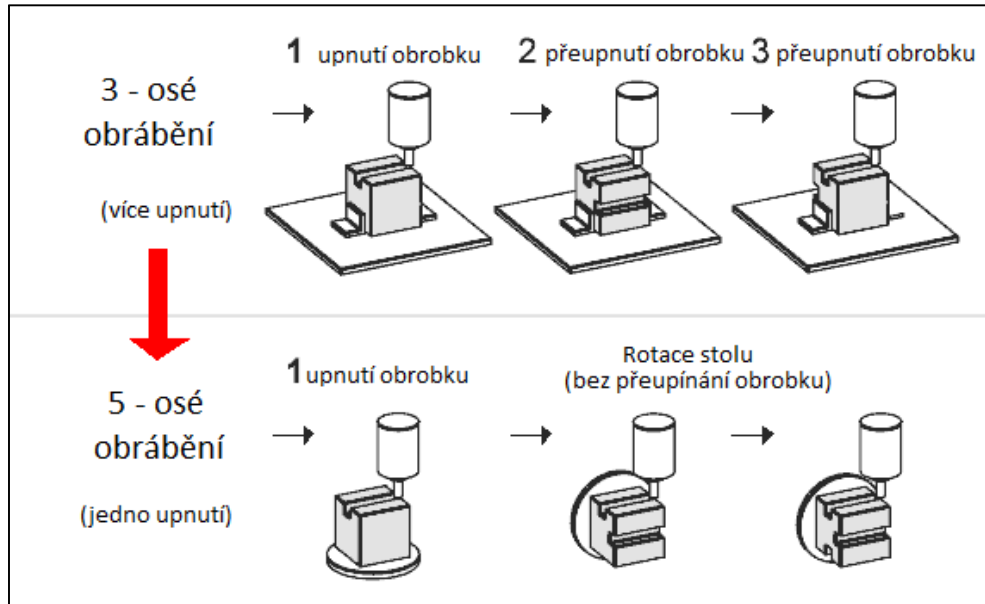
body po přímkové nebo kruhové dráze. Nejčastěji je tento způsob řízení os využíván u obrábění rovinných ploch na NC frézkách.

U **3 osého** řízení je možno řídit tři osy souvisle (X, Y, Z). Nástroj se pohybuje v prostoru po přímkových, kruhových nebo spirálových, aj. drahách. Tento proces řízení je s výhodou využíván při obrábění obecných prostorových tvarů, ale i například frézování závitů a kuželových ploch spirální interpolací na CNC frézkách nebo obráběcích centrech. Shodné využití mají technologické operace běžně používané u strojů s nižším počtem řízených os, rozdíl je pouze v zápisu NC kódu podle požitého řídicího systému.

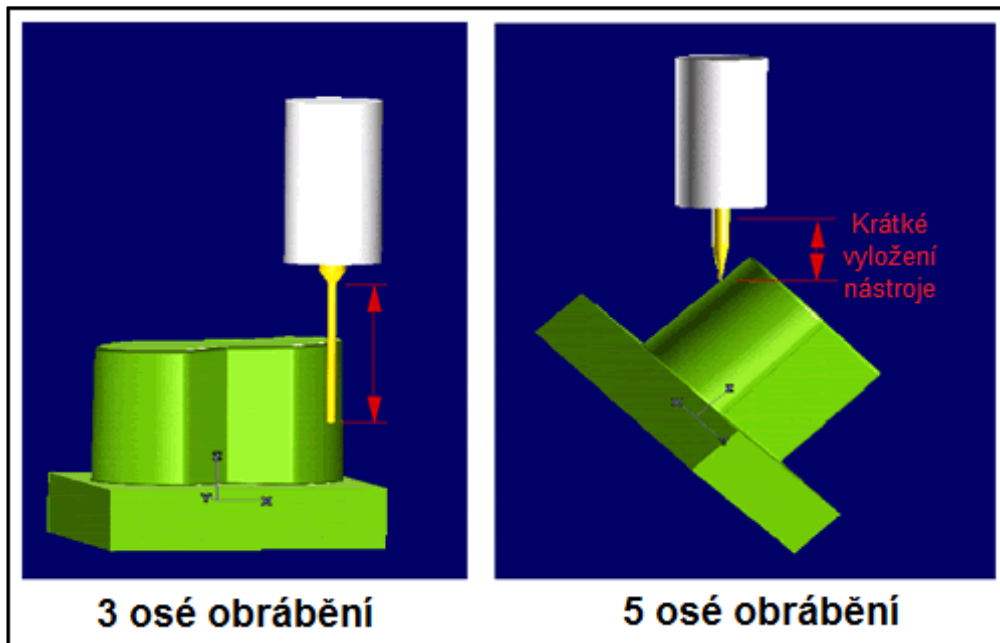
U **4 osého** řízení pohybu nástroje jsou řízeny souvisle osy X, Y, Z, a dále naklonění nástroje nebo obrobku kolem jedné rotační osy. Je zde možno využít množství strategií řízení osy nástroje podle použitého CAM systému a zajistit tak optimální záběrové podmínky nástroje nebo prostorovou dostupnost detailů optimální nástrojovou sestavou. Nástroj se pohybuje mezi dvěma definovanými body v prostoru po přímkových, kruhových nebo spirálových drahách.

U **5 osého** řízení je umožněno řídit pohyb nástroje současně ve třech lineárních osách s nakláněním pracovního vřetene stroje nebo otočného stolu podle dvou rotačních os podle koncepce stroje

Na *obrázku 3* je zobrazena výhoda 5 osého obrábění v porovnání s řízením ve třech osách. Při 3 osém obrábění je potřeba obrobek znovu upínat na každou operaci zvlášť, na rozdíl od 5 osého řízení, kde je obrobek obroben na jedno upnutí. Toho je dosaženo možností řízení otočného stolu. Další výhodou 5 osého řízení stroje je možnost kratšího vyložení nástroje, viz *obrázek 4*, tím je výrazně sníženo.



Obrázek 3: 3 osé vs. 5 osé obrábění – upínání obrobku [9]



Obrázek 4: 3 osé vs. 5 osé obrábění - vyložení nástroje [9]

2.4 Simulace procesu obrábění [3]

Pomocný modul pro simulaci a verifikaci vypočítané dráhy nástroje včetně zobrazení nejen vlastního obrobku a nástrojové sestavy, ale i dalších elementů v pracovním prostoru stroje, je běžnou součástí CAM systémů. Simulace obrábění je v přípravě NC kódu důležitým prostředkem jak vyšetřit zejména možné kolizní stavy před jeho skutečným nasazením do výrobního procesu. Všechny chyby programu simulace nedokáže odstranit, záleží na řídicím systému, popřípadě volbě simulačního systému. Simulace slouží především ke snížení pravděpodobnosti kolizí mezi strojem a obrobkem, které mohou mít za následek zničení nebo poškození nástroje, stroje nebo obrobku. Mimo vyšetřování kolizních stavů, často bývá v simulaci umožněna kontrola zbytkového materiálu, kvality opracované plochy nebo např. odebrání materiálu rychloposuvem. Není možné v běžně používaných simulačních modulech CAM systémů v simulace zobrazit všechny parametry obrábění, například tvar třísky, řezné podmínky, řezné síly, které jsou mezi obrobkem, nástrojem a upínačem (soustava S-N-O), výkon stroje, tyto parametry je třeba ověřit pomocí testování v praxi.

Po provedení simulace obrábění je možno odstranit zobrazené a nahlášené kolize úpravou potřebných parametrů a opětovným generováním dráhy nástroje, cyklicky až do požadovaného stavu. Nejvhodnější způsobem nastavení parametrů simulace je využití všech částí soustavy S-N-O-P. Díky realizaci všech dostupných možností v nastavení procesu simulace, je navíc možno výrazně zkrátit neproduktivní čas a náklady při hledání optimální konfigurace soustavy S-N-O až v reálném výrobním provozu.

Uvedený obecný popis simulace procesu obrábění v CAM systému, bude dále rozveden a přesněji definován v systému Catia V5, ve kterém bude zpracována i celá praktická část této diplomové práce.

2.5 Catia V5 [1], [3], [7]

Softwarový produkt Catia byl vyvinut francouzskou společností Dassault Systemes společně s 3DEXPEIENCE. Obecně systém Catia patří mezi světově uznávanou aplikací využívanou nejen ve strojírenské výrobě, ale také v dalších průmyslových odvětvích, jako například ve zdravotnictví, architektuře nebo stavebnictví. Používá se i k návrhu uspořádání výrobního provozu a mnoha dalším analýzám v různých fázích vzniku produktu.

Z pohledu CAD/CAM systému patří mezi světovou špičku, jelikož pokrývá širokou škálu funkcí a požadavků virtuálního modelování. Je plně integrovaným CAD/CAM/CAE

systémem pro vývoj, technologickou přípravu výroby produktu a veškerém jeho řízení, čili lze efektivně řídit změny k vysoké úrovni asociativity. Velikou výhodou pro technologickou přípravu výroby je možnost parametrické změny geometrie výrobku v každé jeho fázi. To je umožněno nejtěsnější vazbou mezi geometrickou definicí součásti a celou její výrobou. Další výhodou je použití jednoho datového modelu ve všech modulech a aplikacích, což je velmi časově úsporné. Není zde potřeba překladu formátu dat, který je velmi časově náročný, především z důvodu vazeb mezi geometrií produktu. Jednotné uživatelské prostředí je další výhodou systému, nabízí tak možnost týmové práce a zastupitelnost konstruktérů, programátorů nebo jiných odborníků. Uživatelské prostředí nabízí možnost parametrizace jak CAD modelu, tak CAM programu a propojit pak vazby mezi moduly. Tato vlastnost zajišťuje vysokou produktivitu práce a zkracuje čas přípravy výroby jak programátora, tak konstruktéra.

Catia nabízí daleko širší škálu, než je výše popsáno, například analýzu namáhání součásti, tento modul je spíše využit ve fázi vzniku designu výrobku. Samozřejmostí je tvorba výkresové dokumentace a montážních nebo svařovacích sestav, které jsou vzájemně propojeny se všemi modely vazbami a tak lze snadno měnit a modifikovat části sestavy společně s výkresovou dokumentací.

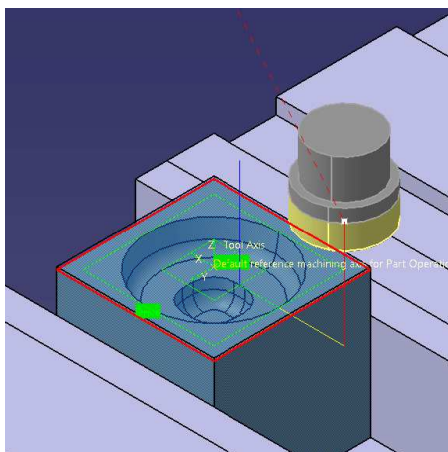
V oblasti CAM je v systému Catia implementována řada možností a nástrojů pro efektivní simulace procesu obrábění. Systém ve svých modulech nabízí řízení pohybu nástroje ve všech základních způsobech obrábění od 2,5 osého až po souvislé 5 osé obrábění, v tzv. multi-axis machining modulu. Nespornou výhodou je simulovat kompletní soustavu S-N-O a tak zabránit kolizím i mezi všemi komponenty, které mohou v reálném procesu přijít do vzájemného kontaktu. To je v DSPW s velkou výhodou používáno především při obrábění velkých obrobků složitějších tvarů, náročnějšími strategiemi obrábění. Příkladem tohoto použití je například těleso parní turbíny.

2.5.1 Simulace – Catia V5

Tato kapitola navazuje na *kapitolu 2.4*. Možnosti simulací v Catii mají 3 základní úrovně. Lze simulovat pouze čárově dráhy nástroje, to je tzv. Čárová simulace. Dále fotorealistická simulace a simulace analýzy obrobenejších ploch. Simulace budou předvedeny pouze pro ukázkou na nástroji, přípravku a obrobku.

2.5.1.1 Čárová simulace

Jak je vidět na *obrázku 5*, CAM systém dokáže vykreslit naprogramovanou dráhu nástroje pomocí čar, které jsou odlišeny barvou. Zelená čára zobrazuje pohyb nástroje při odebrání třísky, tzn. při procesu řezání. Červená čára představuje dráhu nástroje rychloposuvem (*Feedrate - RAPID*), žlutou čarou je vykreslen nájezd nástroje do obrobku (*Approach*) a modrou čarou odjezd nástroje od obrobku (*Retract*). Touto simulací je získána první představa o vypočítané dráze nástroje. Nástroj lze pomocí kurzoru myši umístit kamkoliv na dráhu nástroje, takže při jednodušších operacích lze zjistit kolizi mezi nástrojem a obrobkem v této simulaci. Při složitějších operacích, kde dráhy nástroje jsou nahuštěny blízko sebe, to není tak jednoduché.



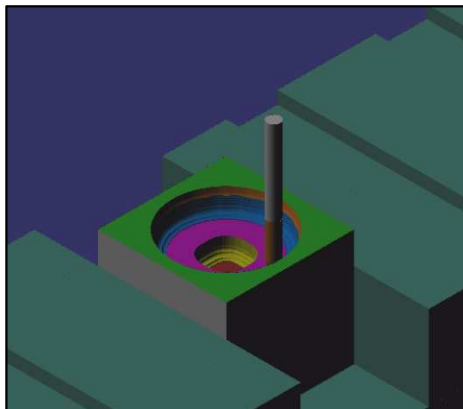
Obrázek 5: Čárová simulace

Tato simulace se s výhodou využívá spíše pro zvolení vhodných nájezdů a odjezdů nástroje, popřípadě volba rychloposuvů apod. V této simulaci nám samotný program nehlásí nějakou chybu nebo kolizi nástroje s obrobkem. Čárová simulace se s výhodou využívá spíše pro velmi rychlé ověření základních vlastností vypočítané dráhy nástroje, jako jsou vhodné nájezdy a odjezdy nástroje, ke kontrole

rychloposuvů apod. Samotná čárová simulace neumožňuje automaticky vyhodnocovat kolizní stavy zejména částí stroje, zbytkových objemů materiálu apod. Velmi důležitou součástí čárové simulace je zobrazení výsledného strojního času, se zohledněním všech předem nastavených velikostí posuvových rychlostí.

2.5.1.2 Fotorealistická simulace

Fotorealistická simulace je schopna zobrazit průběh obrábění všech použitých strategií v pořadí, jak byly navrženy a vypočítány. V případě nalezení kolize může být průběh simulace zastaven a je zobrazen stručný komentář popisující původ kolize. Nevýhoda je, že jsou kolizní stavy hlášeny ve většině případů nesrozumitelně a pro nezkušené uživatele jsou zcela obtížné pro pochopení, a hledání chyb v programu je velice obtížné. Výhodou je, že je program zastaven tam, kde ke kolizi došlo, proto uživateli je uživateli zúžen okruh hledání chyby do určité operace. Pro odlišení operací je pro každý nástroj odlišena v simulaci barva, viz *obrázek 6*.



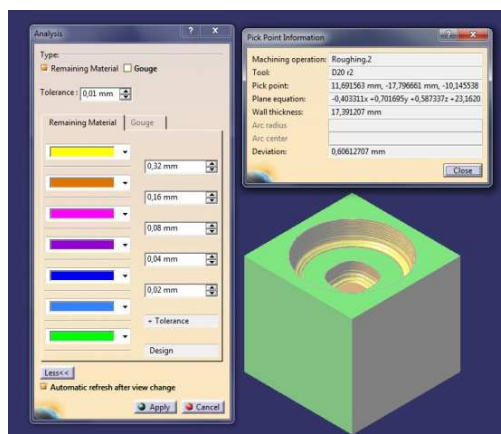
Obrázek 6: Fotorealistická simulace - výměna nástroje

2.5.1.3 Analýza obrobeneho povrchu

Analýza následuje po fotorealistické simulaci, jsou zde zobrazeny plochy odděleny barvou. Plochy se stejnou barvou znamenají stejný přídavek po obrobení, viz *obrázek 7*. Vpravo je zobrazena tabulka s názvem *Analysis* s barvami odlišující přídavek, například zelenou barvou je zobrazen čistý obrobený povrch s nulovým přídavkem. Po kliknutí kurzorem na libovolný povrch obrobku se objevuje tabulka *Pick Point Information*, kde je zobrazen ve spodní části přesný přídavek po obrábění na několik desetinných míst - *Deviation*. Dále je zde možno vyčíst po jaké operaci tento povrch vznikl, například *Roughing* (hrubovací operace), jakým nástrojem bylo obráběno nebo v jakých souřadnicích se daný vybraný bod nachází.

Výhoda této analýzy je zřejmá, ovšem dále je to vše v rukou uživatele a jeho zkušeností, jakou další operace budou využity pro dokončení výrobku.

Jako nevýhoda by se dalo v analýze považovat, že zde není žádná zmínka o drsnosti povrchu po obrobení, vše opět závisí na zkušenostech uživatelů a nastavení parametrů pro obrábění



Obrázek 7: Analýza obrobeneho povrchu

2.6 Práce programátora v TpV – současný stav [1]

2.6.1 Obecná práce TpV

V současné době je vytvořena propracovaná databáze, kde je uložena veškerá dokumentace pro danou součást, v našem případě tělesa turbíny, která by na začátku měla být v krátkosti představena. Obsahuje celkové konstrukční řešení, včetně předepsaného materiálu. Dále postup výroby, kde jsou předepsány potřebné nástroje a přípravky technologem. Dále stroje, na kterých se bude dané těleso vyrábět, ten je předepsán dle vytiženosti kapacit plánovačem výroby. Těleso je velmi složitý útvar a není možno ho opracovat na jednom stroji. NC programátorem je vytvářen ve většině případů program pro jeden stroj.

Je velice důležité, aby programátor byl v neustálé komunikaci s ostatními členy přípravy výroby, z hlediska nástrojů s technologem nebo s dílenským konstruktérem, který připravuje přípravky pro upnutí tělesa na stroji a navrhuje vlastní schéma ustavení tělesa, dle kterého operátoři upnou těleso do stroje.

Ve firmě DSPW byla zavedena v CAM tzv. *typová technologie*. Je to forma vytváření technologie programu v softwaru Catia na typy součástí, které jsou si podobné a jeden vzor programu může být použit jako univerzální. Programátorská činnost je typovou technologií v mnoha úkolech zautomatizována, mění pouze použité nástroje a zařízení popřípadě je promazávána nepotřebná technologie. Toto je s výhodou využíváno ze dvou hlavních důvodů. První je ten, že technologie je pro všechny programátory přehledná a tak nastalý problém může být řešen i jiným programátorem. Druhá výhoda je, že není třeba znovu zadávat strategie programování, ale vše je předem nastaveno, pouze je přes funkci *Links* generována součást, která bude obráběna a software si sám upraví dráhy nástroje a další parametry dle parametrů nové součásti. Univerzální program je vybrán programátorem podle stejného nebo podobného technologického postupu součástí. Je možnost, že technologický postup není vždy stejný. V tomto případě může být kopírována technologie z jiných programů nebo je libovolně mazána dle potřeby. Do této fáze programování je technologie zcela zvládnuta a nastavena s jasnými pravidly. Další fáze je vlastní simulace obrábění a hledání kolizí při výrobě mezi soustavou S – N – O.

V současné době je programátorem prováděna simulace v softwaru Catia pouze se zobrazeným nástrojem a je možno zjistit pouze kolizi mezi obrobkem a nástrojem. Pro obrábění těles jsou využívána další přídatná zařízení popsanych v kapitole 2.7. I když kolize při simulaci mezi nástrojem a obrobkem není odhalena, neznamená to, že ve skutečnosti

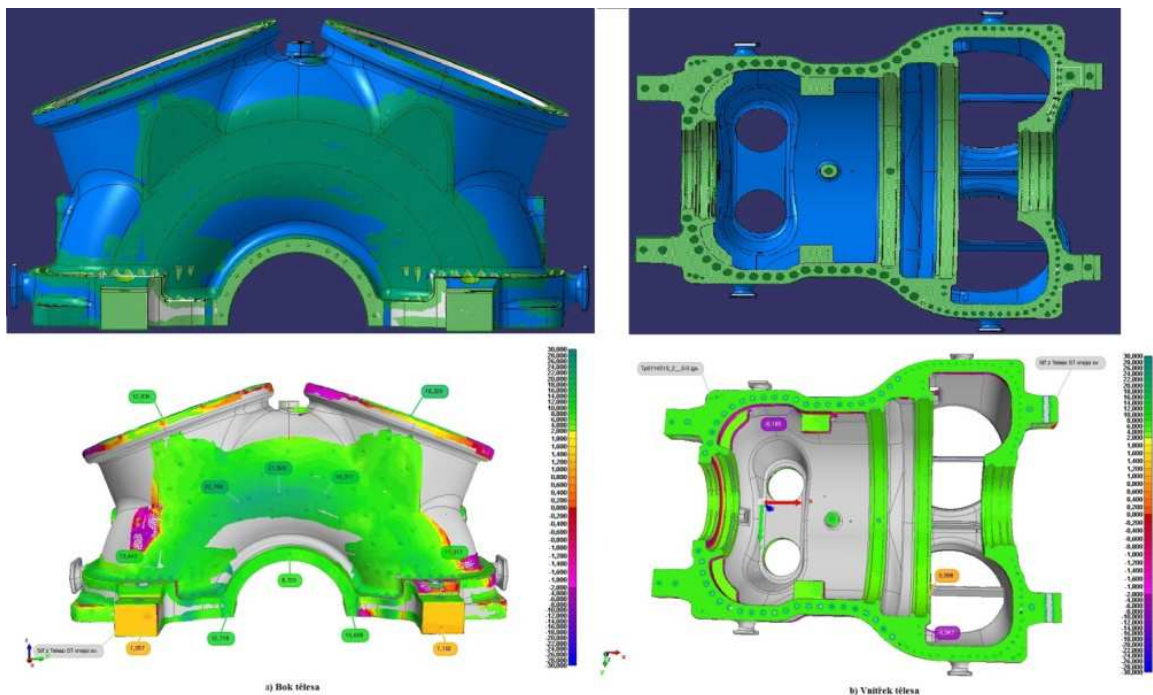
nenastane. Kolize jsou často odhaleny až na stroji a vznikají vícepráce s opravami NC programu aj. činností spojené s opravou operace v některých případech je předělávána celá technologie pro danou operaci.

2.6.2 Postup vytváření NC programu programátorem

Jak už bylo řečeno úvodem, výchozí stav pro programátora je technologický postup výroby, kde je předepsán sled operací od upnutí obrobku až po konečnou kontrolu po obrábění. Dle postupu začne programátor vytvářet program.

Z hlediska využití typové technologie je v první řadě prověřena dědičnost jedné z předchozích součástí, která by se dala vhodně využít pro zrychlení přípravy programu.

Další problém nastává s polotovarem. V databázi jsou k dispozici 3D modely, které jsou vymodelovány s ideálními rozměry, ovšem v praxi odlitek není vždy ideální. Proto se po dodání odlitku od dodavatele kontrolují rozměry odlitku pomocí 3D scanu zařízením *Leica Tracker*. Skutečný naskenovaný rozměr je digitalizován do 3D dat formátu *stp*, ze kterých je možno vyčíst skutečné rozměry a odchylky tvaru a polohy od 3D modelu, který je navržen konstruktérem.



Obrázek 8: Ideální 3D model a naskenovaná 3D data [1]

Kontroloři, kterými je scan prováděn, je po naskenování v softwaru *PolyWorks* proložen ideální 3D model naskenovanými 3D daty tak, aby byly co nejvhodněji rozloženy přídavky pro obrábění po celém tělese. Dále jsou jimi označeny vstupy a najížděcí body na odlitku pro správné najetí kusu před obráběním.

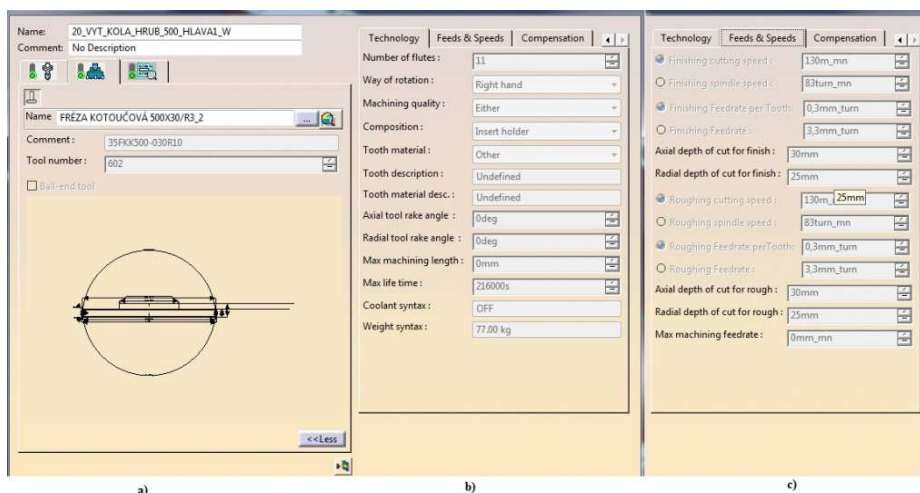
V případě menšího skutečného rozměru odlitku je eliminováno obrábění naprázdno a při přelití obrobku je eliminována kolize nástroje při přejezdu nástroje k obrobku například rychloposuvem. Jak je vidět z *obrázku 8* přelití nebo podlití obrobku je zcela běžná, záleží na předepsaných tolerancích a dodavateli.

Odlitek není potřeba skenovat celý, je to velmi časově náročná operace. Jsou skenovány plochy, které budou obráběny. Catia bohužel není uzpůsobena na práci s 3D daty v *stp* souboru, data slouží tedy pouze pro orientaci programátora.

Takto zpracovaná data jsou předána programátorovi, kterým jsou navrženy pomocí těchto dat optimální úběry materiálu a najíždění nástrojů do obrobku.

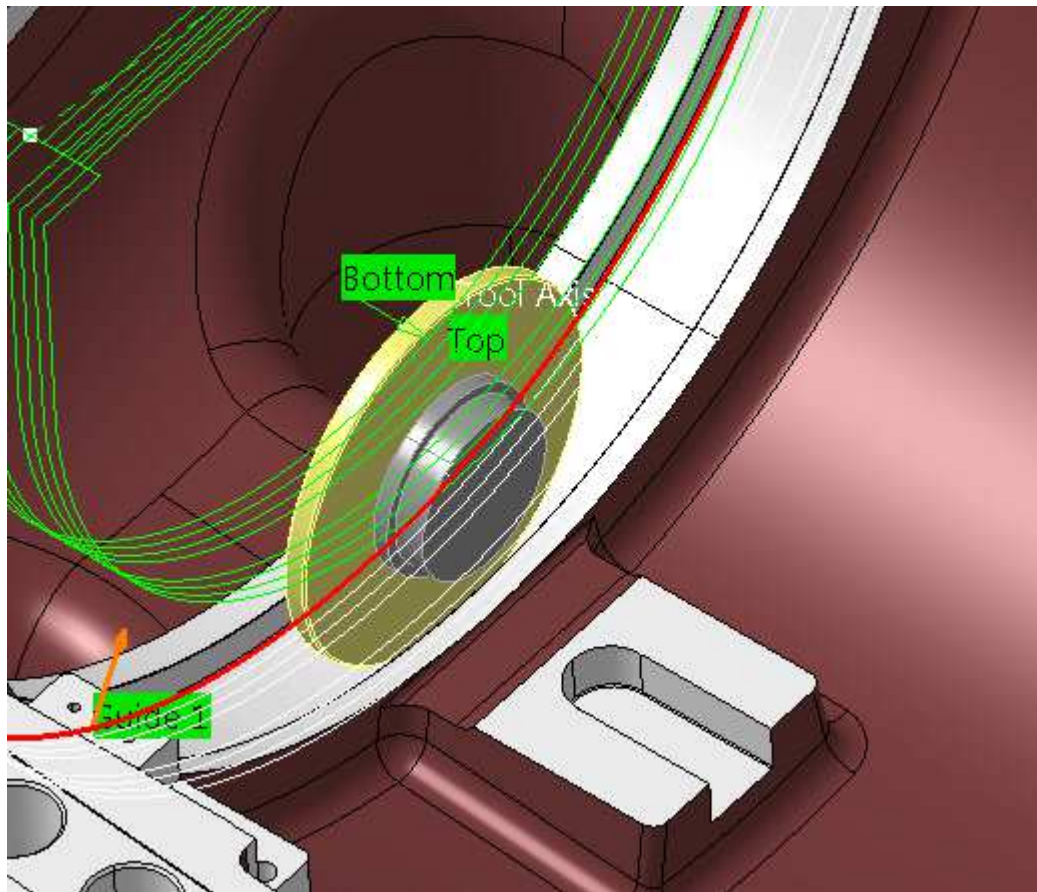
Dále jsou programátorem využívána různá makra, která usnadňují a urychlují práci operátora, například vytváření seřizovacích a nástrojových listů nebo pro stanovení strojních časů pro normovače. Makra mohou být upravována nebo vytvářena nová buď uživatelem, nebo technickou podporou, která je úkol zadán. Jedno z nejdůležitějších maker je vytvořeno pro nástrojové listy, které jsou potřeba pro výrobu na seřizování nástroje seřizovači a správné sestavení nástrojové sestavy. Jsou generovány z CAM do tabulky *Excel*, kde jsou obsaženy parametry sestavy a optimální podmínky užívání při výrobě.

Nástroje jsou voleny buď z databáze v TDM nebo je vybrán programátorem z katalogu nástrojů v CAM systému, ve kterém jsou obsaženy zmiňované parametry nástroje jak rozměrové, tak technologické viz *obrázek 9*.



Obrázek 9: Parametry nástroje v katalogu CAM [1]

Po nastavení drah nástroje a obráběcích strategií, nastává další z problémů a tím je vlastní simulace obrábění. Jak bylo řečeno, simulace a nastávající kolize jsou zde řešeny pouze mezi nástrojem a obrobkem. Není zde vidět, jestli koliduje například přídavné obráběcí zařízení nebo stroj dokáže svými konstrukčními rozměry najet do dané polohy, která je požadována danou operací. Záleží zde na odbornosti programátora, který si přídavné zařízení vymodeluje nebo si je jistý vzdáleností zařízení od obrobku. Ve většině případů jsou tyto kolize kontrolovány na stroji obsluhou při najíždění nástroje k dané operaci, kde je v NC programu zadáno programátorem upozornění na možnost kolize. Na *obrázku10* je znázorněna simulace kotoučové frézy při obrábění drážky kola. V reálné situaci je použito přídavné zařízení, ale není patrné, jestli bude kolidovat s drážkou pro vnitřní patku tělesa.



Obrázek 10: Simulace nástroje při obrábění drážky kola

2.7 Stroj - portálová frézka WACO PMC 5000 AG [1]

Firma Doosan Škoda Power využívá ve svých výrobních provozech širokou škálu CNC strojů pro zajištění komplexního obrábění součástí parních turbín. Z portfolia těžkých obráběcích strojů je zde dominantní portálová PMC 5000 AG od německé firmy Waldrich Coburg, která je vybavena bohatým technologickým příslušenstvím v podobě přídatných frézovacích a vyvrtávacích hlav.

Pracovní pohyb stroje je možno řídit souvisle ve třech osách, prostřednictvím řídicího systému Sinumeric840D. Centrálního řídicí panel je závěsný a je možno ho přesouvat po vlastním vedení. Stroj je využíván díky svým možnostem a konstrukčním rozměrům na obrábění statorových částí turbíny, nejčastěji odlitků vnějších a vnitřních těles. Frézka je využívána pro komplexní obrobění dílů, nejčastěji použitou technologií je frézování, ale běžně se provádí vrtání, závitování, tvarové frézování, soustružení atd.

Stroj obsahuje tuhý rám, který je spojen přestavitelným příčnickem, po kterém se pohybuje svislý vřeteník. Upínací deska, na kterou je upnut obrobek má rozměry v ose X 17,5m a v ose Y 4m. Obrobek je upnut na upínací desce pevně spojené se základem stroje, jde tedy o provedení s pohyblivým rámem. Vedle upínací desky je instalován dopravník třísek. Pojezd rámu stroje v ose X je 20m po ložích s hydrostatickým uložením vodících ploch. Posuv v ose X je zajištěn převodem se dvěma hydrostatickými šnekovými hřebeny. Je schopen osou vřetena přejet za stůl v ose X o 1,5m na obě strany. Pojezd vřeteníku v ose Y po příčnicku je 6,4m, od osy vřetena 3,4m z jedné strany a 3m na druhou. V ose Z je možno vřeteníkem pohybovat v rozmezí 1,5m a přídatnou osou W je pohybováno příčnickem po svislých sloupech stroje v rozmezí 2,5m. Pro pohyb v osách Y,Z,W je využito kuličkových šroubů.

Firma Doosan Škoda Power využívá ve svých výrobních provozech širokou škálu CNC strojů pro zajištění komplexního obrábění součástí parních turbín. Z portfolia těžkých obráběcích strojů je zde dominantní portálová PMC 5000 AG od německé firmy Waldrich Coburg, která je vybavena bohatým technologickým příslušenstvím v podobě přídatných frézovacích a vyvrtávacích hlav.

Pracovní pohyb stroje je možno řídit souvisle ve třech osách, prostřednictvím řídicího systému Sinumeric840D. Centrálního řídicí panel je závěsný a je možno ho přesouvat po vlastním vedení. Stroj je využíván díky svým možnostem a konstrukčním rozměrům na obrábění statorových částí turbíny, nejčastěji odlitků vnějších a vnitřních těles. Frézka je

využívána pro komplexní obrobení dílů, nejčastěji použitou technologií je frézování, ale běžně se provádí vrtání, závitování, tvarové frézování, soustružení atd.

Stroj obsahuje tuhý rám, který je spojen přestavitelným příčnickem, po kterém se pohybuje svislý vřeteník. Upínací deska, na kterou je upnut obrobek má rozměry v ose X 17,5m a v ose Y 4m. Obrobek je upnut na upínací desce pevně spojené se základem stroje, jde tedy o provedení s pohyblivým rámem. Vedle upínací desky je instalován dopravník třísek. Pojezd rámu stroje v ose X je 20m po ložích s hydrostatickým uložením vodících ploch. Posuv v ose X je zajištěn převodem se dvěma hydrostatickými šnekovými hřebeny. Je schopen osou vřetena přejet za stůl v ose X o 1,5m na obě strany. Pojezd vřeteníku v ose Y po příčnicku je 6,4m, od osy vřetena 3,4m z jedné strany a 3m na druhou. V ose Z je možno vřeteníkem pohybovat v rozmezí 1,5m a přídavnou osou W je pohybováno příčnickem po svislých sloupech stroje v rozmezí 2,5m. Pro pohyb v osách Y,Z,W je využito kuličkových šroubů.



Obrázek 11: Stroj - WACO PMC 5000AG [1]

Stroj dále obsahuje svislý oválný řetězový zásobník nástrojů do určité hmotnosti, průměru a délce nástroje, jehož parametry jsou udány na *obrázku 12*.

**Zařízení na automatickou výměnu nástrojů
se 100 místy / pravá strana stroje**

Technická data systému výměny nástrojů:

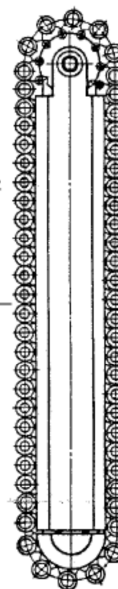
- Max. průměr nástroje při obsazení každého místa mm 160
- Max. průměr nástroje mm 450
- Max. délka nástroje mm 600
- Průměr nákrůžku nástroje stroje 97,5 / 155 / 221 uchopitelný
- Roztáč. mezi jednotlivými místy mm 165
- Max. hmotnost nástroje na uchopovací kleštiny kg 70
- Přítahovací svorník podle DIN 69872
- Zadávání dat nástroje na základací stanici nebo na numerickém řízení.
- Editování dat nástroje na základací stanici.
- Spravování dat nástrojů v řízení s programovatelnou pamětí (SPS).

Plán osazení řetězu viz strana 10.0.01.1
Uchycení nástroje (kužel) viz strana 10.0.02.0

Příklad: řetěz

Uchycení nástroje podle DIN 69871/69872:
85 míst se strmým kuželem 50

Uchycení nástroje podle DIN 69871/69872:
15 míst se strmým kuželem 60



Obrázek 12: Specifikace zásobníku [1]

Vlastní výměna je realizována automaticky pomocí kuželové dutiny dle normy ISO. Detailnější parametry stroje jsou vypsány v *tabulce 1*.

Maximální krouticí moment [N.m]	8000
Maximální otáčky [min ⁻¹]	2 - 3000
Výkon [kW]	95
Upínání do vřetena	ISO 60
Šířka mezi stojany [mm]	4880
Výška od stolu k vřetenu [mm]	4000
Přesnost polohování [mm]	0,01 – 0,02
Řetězový zásobník [počet míst]	100
Řídicí systém	SINUMERIK 840 D
Maximální hmotnost obrobku [t]	100
Maximální rozměr obrobku [mm]	17000 x 4000x 4880

Tabulka 1: Parametry stroje

2.8 Frézovací zařízení – popis [1]

Kapitola 2.8 se zabývá popisem frézovacích zařízení a jejich parametrů, jejichž simulace v CAM je předmětem této práce. Agregáty budou dále modelovány v softwaru Catia V5R21, pomocí funkcí reverzního inženýrství.

Jedná se o pomocné příslušenství stroje pro zjednodušení procesu obrábění ve špatně dostupných místech na tělese. Bez těchto přídavných hlav nemá pro náš případ obrábění těles turbín samotný stroj uplatnění. Nabízí tedy prodloužení dráhy stroje do hlubších míst na tělese nebo do takových míst při nestandardních polohách a natočení, například hluboké otvory.

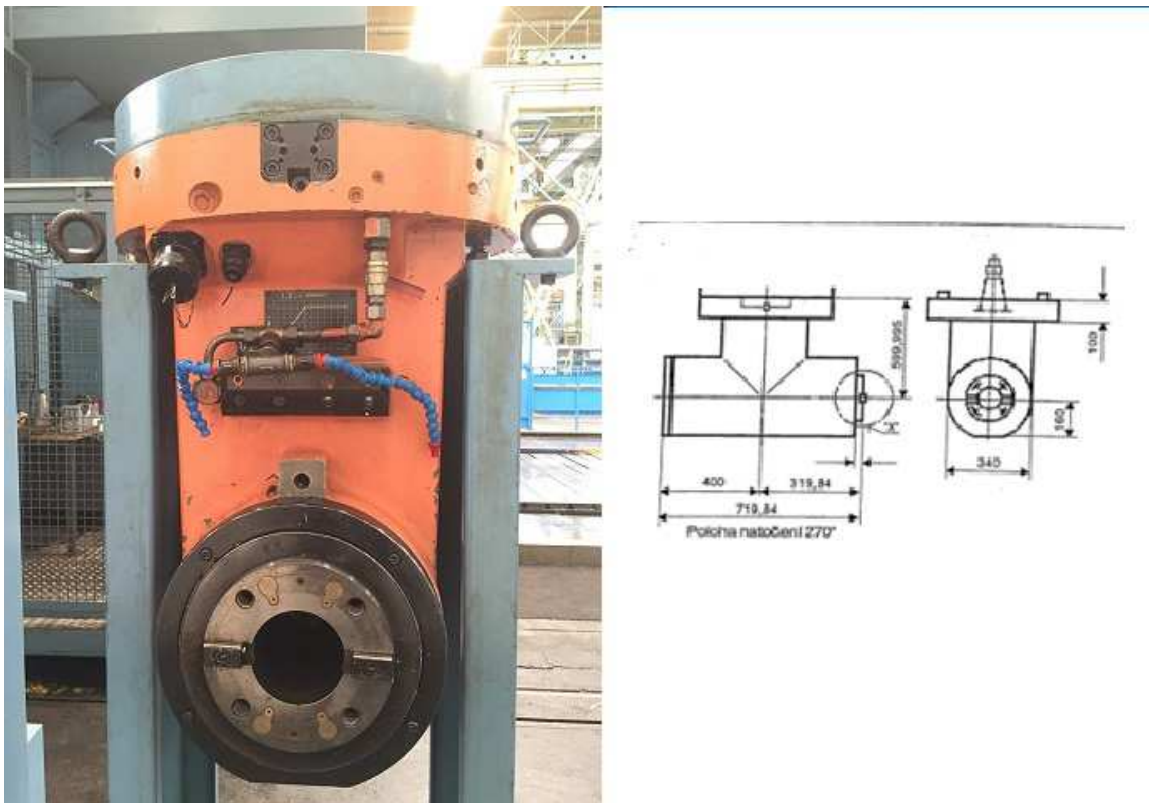
Příslušenství je umístěno ve speciálních stojanech vedle stroje. Upínací část hlavy do vřetena stroje v ose C složena z broušeného kužele ISO 60 a upínacích prvků pro přesné polohování mezi strojem a hlavou. Tato upínací část je chráněna krytem. Na všech zařízeních je umístěn štítek s grafickou závislostí výkonu na otáčkách pro správné nastavení parametrů při obrábění viz *obrázek 13*.



Obrázek 13: Upínací systém přídavného zařízení [1]

2.8.1 Frézovací zařízení HS 800C

Těžká úhlová hlava HS800C, viz *obrázek 14*, je pro opracování odlitků těles využívána nejčastěji, v některých případech využití dosahuje až 50ti% ze strojního času. Osa C má směr shodný s hlavním pracovním větvenem stroje a hlavou je kolem osy C možno otáčet pomocí Hirthovy spojky v rozmezí 0-360° po 0,5°. Řízení otáčení hlavy je pomocí parametrických programových cyklů výrobce stroje, které zajišťují transformaci souřadného systému obrobku. Mechanické otočení hlavy do pracovní polohy je plně automatické.



Obrázek 14: Frézovací zařízení HS 800C [1]

Příslušenství obsahuje vnitřní a vnější chlazení, které je regulováno ventily. Vnější chlazení je použito jako klasické chlazení materiálu a vnitřní, které mimo chlazení nástroje plní funkci odstranění třísky z místa řezu. Dále je k zařízení pomocí kuželu ISO 60 a unášecích kamenů upnut zvolený nástroj. Ostatní parametry jsou popsány v *tabulce 2*.

Použití: vrtací a frézovací, hrubovací či dokončovací operace, pro komplexní opracování odlitků těles turbín z vnější i vnitřní strany, například vstupní a výstupní příruby, na vnitřní části tělesa jsou to například drážky pro rozváděcí kola, ucpávková tělesa, zahloubení pod matice aj.

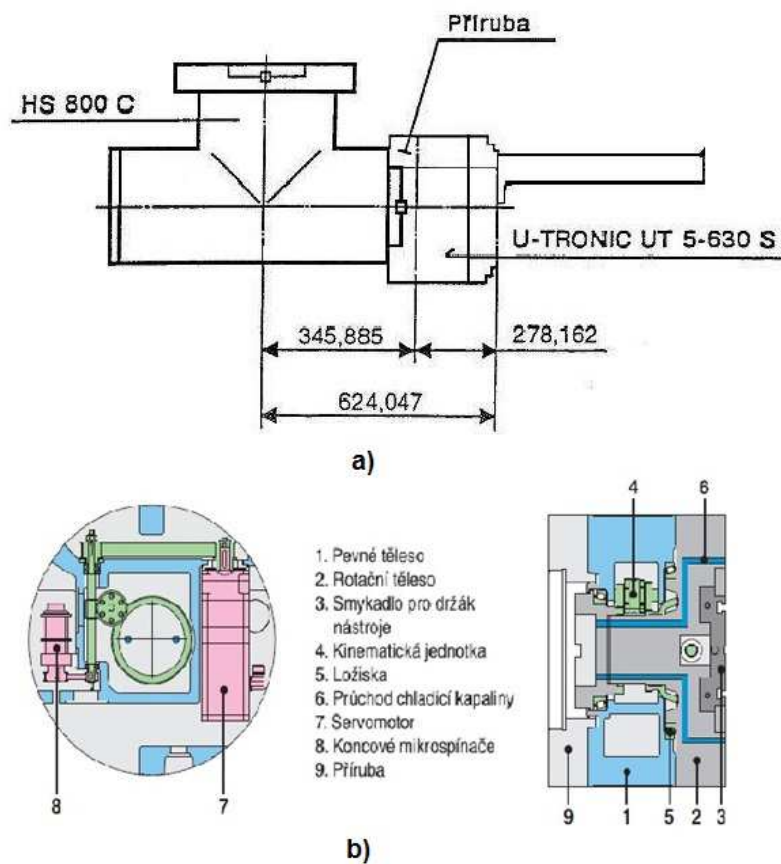
Dosahovaná drsnost boků drážek pro rozváděcí kola se speciální kotoučovou frézou je maximálně Ra3,2. Největší kotoučová fréza nasazovaná na hlavu HS800 má průměr 800mm. Dále se hlava využívá ve spojení s prodlužovacím nástavcem pro operace v hlubších místech odlitku tělesa a s řízeným soustružnickým suportem UT5-630S.

Maximální krouticí moment [N.m]	8000
Maximální otáčky [min ⁻¹]	1 - 2000
Hlava vřetena [-]	ISO 60
Chlazení	Vnitřní + vnější
Poměr - otáčky vřetena : otáčky nástroje	1:1
Výkon [kW]	90

Tabulka 2: Parametry frézovacího zařízení HS800C

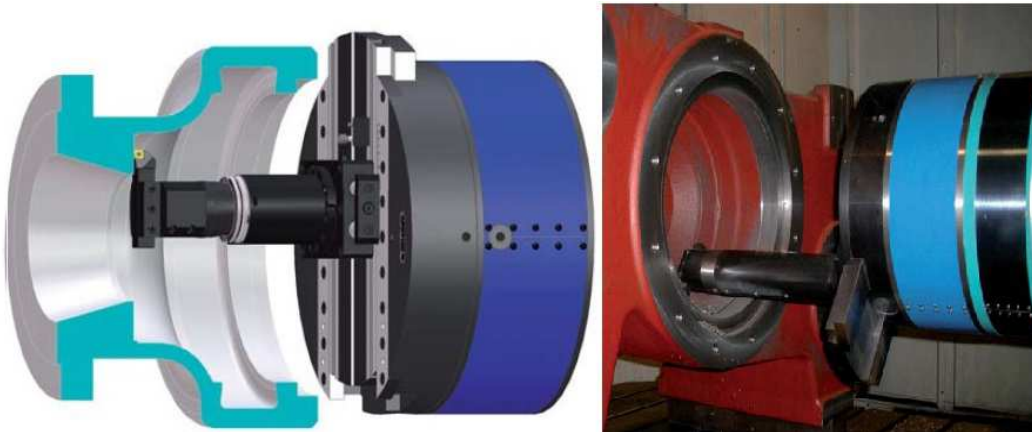
2.8.1.1 Přídavná hlava UTRONIC UT5-630S

Numericky řízené zařízení od italské firmy D'ANDREA, které je připojeno k frézovacímu zařízení k přídavné ose U. Na smykadlo lze umístit pevné držáky nástrojů, s ruční nebo automatickou výměnou nástrojů. Dále standardní vnitřní vnější chlazení. Lze jí upevnit jak na hlavu, tak na vřetenu stroje, ale využívána je z 99% s přídavnou hlavou. K upevnění na zařízení nebo vřeteník slouží redukce, ve které jsou zafrézovány a namontovány konektory jak elektrické, tak na přívod chladicí kapaliny. Podrobný popis zařízení je na *obrázku 15a*.



Obrázek 15: UTRONIC UT5-630S - a) Schéma upnutí do hlavy HS800C; b) Popis zařízení [1]

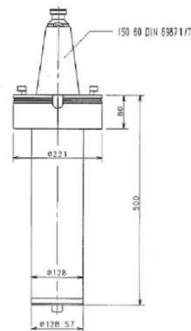
V našem případě je používána k vnitřnímu soustružení jako dokončovací operace, kde je posuv nože číslicově řízený a ve směru přísuvu přestavitelný ručně ve smykadle. Jsou soustruženy vnitřní průměry pro ucpávky, které jsou obráběny na přesný tolerovaný rozměr a hladký povrch Ra1,6, který s kotoučovou frézou nelze dosáhnout. Po frézovací operaci je programátorem předepsán přídavek cca 0,5mm a soustružnickým nožem je dokončena požadovaná tolerance ucpávky, popřípadě se vyhladí na menší rádius předepsaný konstrukcí.



Obrázek 16: UTRONIC UT5-630S - ukázka použití [1]

2.8.1.2 Adaptér SE500C – 60/50

Jelikož stroj nemá propracovaný pohyb mezi výsuvnou pinolou a vřeteníkem jako například horizontální frézka, je používán nástavek (adaptér) o nastavitelné délce 500mm sloužící pro obrábění hlubších těžko dostupných míst s automatickým započítáváním korekcí. Je zde automaticky upínán za kužel ISO 60, tak výměna nástroje do kužele ISO 50.



Obrázek 17: Adaptér SE500C – 60/50 [1]

Nástavek je velmi přesně vyroben, je broušen a lícován na kužel a na čelo, aby byly přesně polohovány obě plochy, tzv. Big plus. Z tohoto důvodu se doporučují pouze vrtací operace, aby nebyl nástavek namáhán na ohyb. V některých případech je ale používán jako frézovací nástavek, například pro frézování odvodňovacích kanálek viz *obrázek 17*.

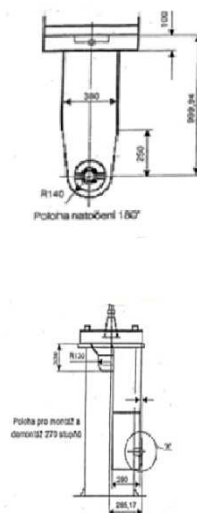
2.8.2 Frézovací zařízení HSD 350C

Dlouhá a štíhlá svíslá hlava je využívána tam, kde by zařízení HSC 800C mohlo kolidovat, má ale nižší výkon a otáčky, viz *tabulka 3*. Obsahuje automatickou výměnu nástrojů a vnitřní chlazení. Hlava je upnuta do vřeteníku automaticky, stejně jako u předchozího zařízení

Maximální krouticí moment [N.m]	3500
Maximální otáčky [min ⁻¹]	1 – 1000
Hlava vřetena [-]	ISO 50
Chlazení	Vnitřní + vnější
Poměr - otáčky vřetena : otáčky nástroje	1:1
Výkon [kW]	50

Tabulka 3: Parametry frézovacího zařízení HSD 350C

Díky speciální parametrizaci křivky zkosení při konstrukci hlavy v místě kolem nástroje viz *obrázek18*, nelze hlavou při pohybu po kružnici kolidovat díky co nejmenšímu průměru ložiska a úhlu náběhu hlavy, což je její velká výhoda.



Obrázek 18: Frézovací zařízení HSD 350C [1]

Použití: Drážky kol, které jsou více zapuštěné, je zde větší vyložení frézy, vnitřní i vnější patky tělesa.

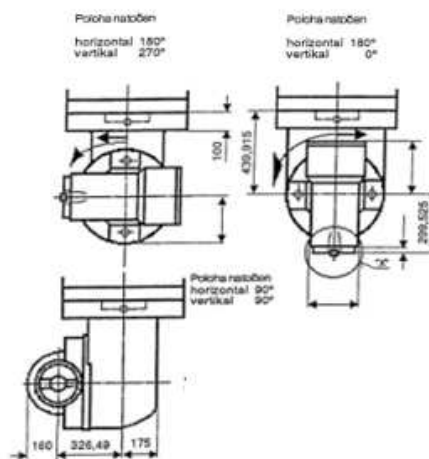
2.8.3 Frézovací zařízení UFUH 400 SZ

Univerzální hlava s dvěma osami otáčení, které nejsou řízeny souvisle, mají vlastní pohony a odměřování. S hlavou lze najet vektor v prostoru, ale musí se brát zřetel, jak je upnut obrobek. Osa C je na stejném principu jako předešlé dvě hlavy, řízená programem. Osa B je řízena ručně pomocí číselníku 0-180° po 1°, který je součástí hlavy. Pohyb je uskutečněn pomocí mechanismu šroubu, pružin a pastorku, který je uvnitř hlavy.

Hlava je váhově těžší než ostatní zařízení, dlouhá životnost. Má pouze vnitřní chlazení, není automaticky řízená a nemá automatickou výměnu nástrojů, další parametry viz tabulka 4.

Maximální krouticí moment [N.m]	4000
Maximální otáčky [min ⁻¹]	1 – 600
Hlava vřetena [-]	ISO 50
Chlazení	Vnější
Poměr - otáčky vřetena : otáčky nástroje	1:1
Výkon [kW]	45

Tabulka 4: Parametry frézovacího zařízení UFUH 400SZ

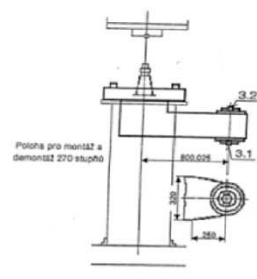


Obrázek 19: Frézovací zařízení UFUH 400SZ [1]

Použití: Vrtání a frézování všech šikmých tvarů, především pro příruby teploměrů, zátek a endoskopů.

2.8.4 Frézovací zařízení UGF 180B

Speciální hlava je využívána pro těžko přístupné operace. Lze s ní obrábět vrchní i spodní částí zařízení, které jsou mezi sebou natočené o 180°, kde na straně kterou se neobrábí je nasazeno speciální víko pro ochranu upínací části nástroje. Korekci nástroje program přepočítá automaticky, což je výhoda. Při zjištění kolize nástroje s obrobkem je otočilo v ose C o určitý úhel a je možné pokračovat v obrábění bez zásahu do programu. Osa C je řešena opět stejně jako u předešlých hlav. Speciální pro tuto hlavu je konstrukčně vyřešen rádius 125mm, kterým je umožněno obrábět blízko krajů tělesa, viz *obrázek 20*.



Obrázek 20: Frézovací zařízení UGF180B [1]

Zařízení je bez automatické výměny nástrojů, výměna je ruční, kužel výměny nástrojů je ISO 50, bez vnitřního chlazení. Další parametry viz *tabulka 5*.

Maximální krouticí moment [N.m]	1800
Maximální otáčky [min ⁻¹]	1 – 750
Hlava vřetena [-]	ISO 50
Chlazení	Vnější
Poměr - otáčky vřetena : otáčky nástroje	1:1
Výkon [kW]	25

Tabulka 5: Parametry frézovacího zařízení UGF 180B

Použití: Veliká výhoda použití této hlavy je ta, že tělesem nemusí být otáčeno v dělicí rovině a v určitém rozsahu dokáže rameno hlavy zajet pod těleso, kde obrábí například hrdla tělesa. Dále je používána pro zarovnání ploch pod matice u dělicí roviny tělesa.

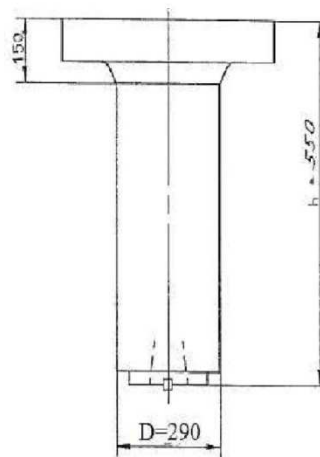
2.8.5 Frézovací zařízení VS300 C

Frézovací hlava je používána tam, kam nedojede stroj s výsuvnou pinolou, prodloužená osa stroje W. Osa C je řešena opět stejně jako u předešlých hlav.

Zařízení obsahuje vnitřní chlazení a má automatickou výměnu nástrojů, další parametry viz *tabulka 6*.

Maximální kroutící moment [N.m]	3000
Maximální otáčky [min ⁻¹]	-
Hlava vřetena [-]	ISO 60
Chlazení	Vnější + vnitřní
Poměr - otáčky vřetena : otáčky nástroje	1:1
Výkon [kW]	80

Tabulka 6: Parametry frézovacího zařízení VS300 C



Obrázek 21: Frézovací zařízení VS 300C [1]

Použití: Více zapuštěné vnitřní části těles při vrtacích a frézovacích operacích, frézování děr na dělicí rovině tělesa.

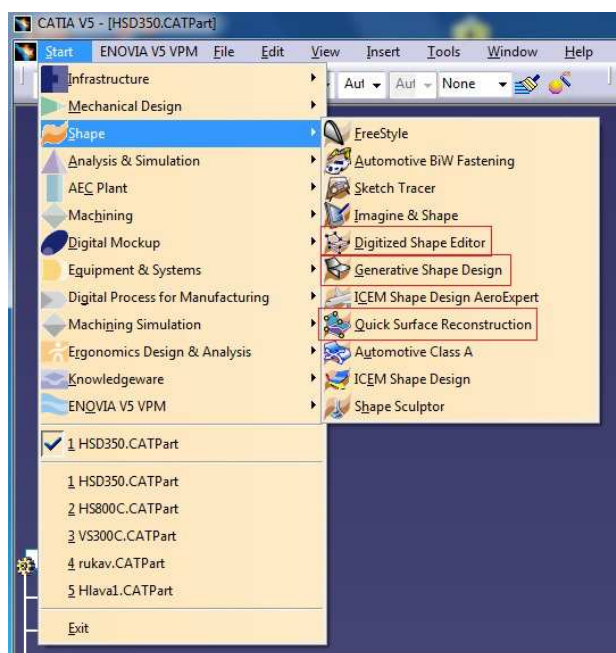
3 Návrh a realizace vlastního řešení

V této kapitole bude popsána realizace vlastního řešení pro simulaci obrábění v softwaru CatiaV5R21. Byly zkonstruovány přídatné frézovací zařízení, které budou součástí čárové simulace. Tímto způsobem návrhu by měli být eliminovány kolize při obrábění vnějšího tělesa EMPALME ST a zkráceny tak vedlejší časy při obrábění.

3.1 Popis konstrukce frézovacích zařízení

Konstrukce frézovacích zařízení, popsaných v kapitole 2.8, byla provedena v softwaru CATIA V5R21. Ke konstrukci byly použity 3D modely ve formátu *stl* vytvořeny dodavatelem v softwaru Vericut.

Pro konstrukci byly použity v Catii tři moduly, modul *Digitized Shape Editor*, *Quick Surface Reconstruction* a *Generative Shape Design* viz obrázek 22.



Obrázek 22: Použité modulární systémy

- **Digitized Shape Editor** – umožňuje přes funkci *Import* vložit 3Dmodel *stl*.
- **Quick Surface Reconstruction** – umožňuje pracovat s modelem *stl*, který je sítí trojúhelníků. Síť je nejvíce zhuštěna v místech přechodů mezi plochami nebo zaoblení. Nejčastější využívané funkce při modelování byly *Activate* pro aktivování zadané plochy, *Planar Sections* pro promítnutí ploch tzv. scan, ze kterých byly vytvořené obrysy funkcí *Sketch From Scan* nebo *Curve From Scan*. Roviny byly vkládány pomocí funkce

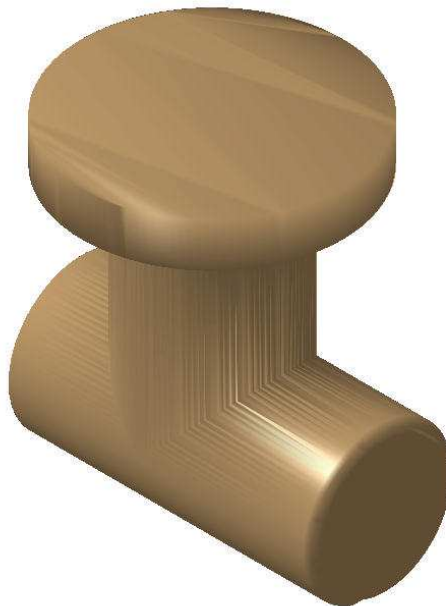
Activate, kde se aktivuje zadaná plocha, která je účelně co nejmenší, aby byla výsledná rovina co nejpřesnější.

- **Generative Shape Design** – pro vytvoření sketch, použita nejčastěji funkce *Extrude* pro vytažení ploch a následné ořezání funkcemi *Trim* nebo *Split*, poté byl model spojen v jeden pomocí funkce *Join*.

Dále bude ukázána detailní konstrukce na jednom přídavném zařízení, kde budou popsány a ukázány jednotlivé kroky, které byly při konstrukci použity.

3.1.1 Konstrukce HS800C

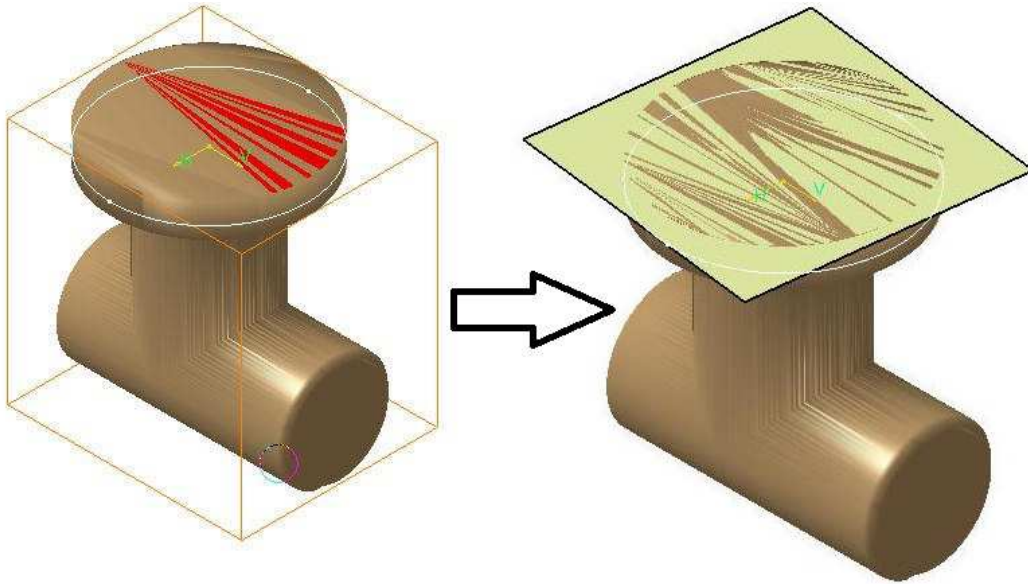
Nejdříve byl nahrán výchozí model v modulárním systému *Shape* → *Digitized Shape Editor* s 3D daty modelu ve formátu *stl*, který byl vymodelován v softwaru *Vericut*, viz *obrázek 23*. Výchozí model nebyl zkonstruován detailně, byl vytvořen pouze jako ukázkový s funkčními plochami pro simulaci obrábění a vyšetření kolizí.



Obrázek 23: Vstupní data - model stl - HS800C

Tento model je pro využití pro software *Catia* nevhodný, nelze ho odměřit ani označit plochy, aj. Proto byly provedeny postupné kroky konstrukce, které vedly 3D datům plně použitelných v softwaru *Catia*. Nejprve byly použity modulární systémy *Shape* pro rekonstrukci ploch. Na jednoduchém příkladu budou ukázány postupy pro obalení *stl modelu* plochami.

Nejprve byl otevřen modulární systém *Quick Surface Reconstruction*, v kterém byly naskenovány plochy z *stl* modelu. Funkcí *Activate* byla naskenována část plochy, která byla proložena plochou funkcí *Basic Surface Recognition*, viz obrázek 24.

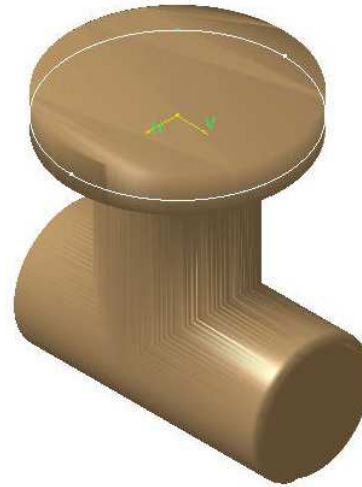


Obrázek 24: Vytvoření rovinných ploch - HS800C

Dále byly v tomto modulu vytvořené scany a sketche válcových ploch modelu. Pomocí funkce *Planar Section* byla naskenována válcová plocha, ze které byl vytvořen náčrt pomocí funkce *Sketch From Scan* viz obrázek 25, popřípadě *Curve from Scan*, viz obrázek 26.

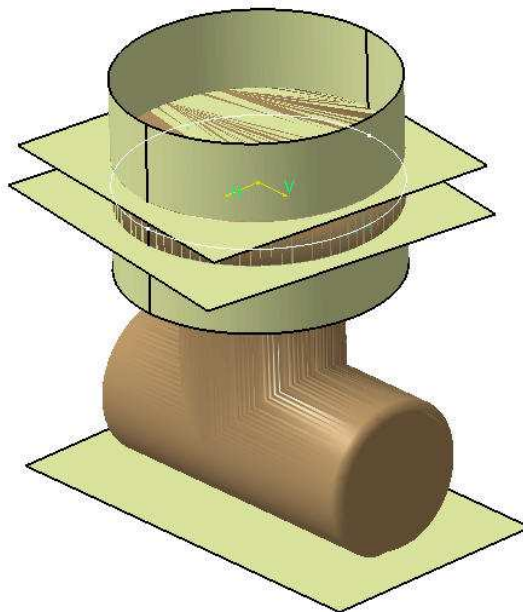


Obrázek 25: Scan válcové plochy - HS800C

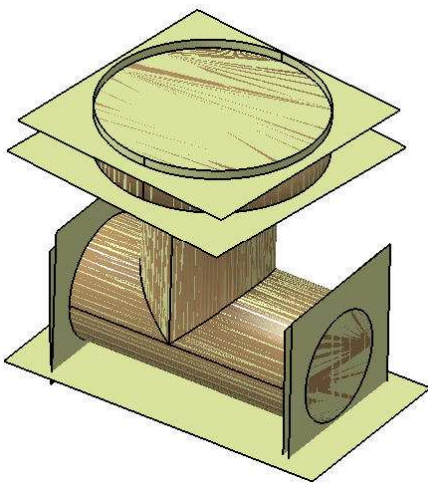


Obrázek 26: Sketch from scan - HS800C

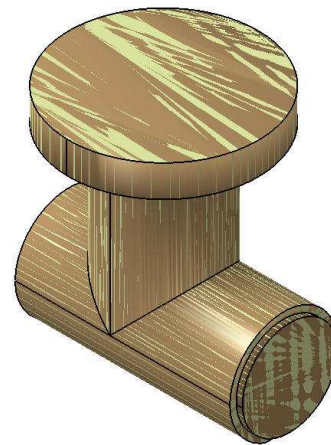
Dále byl využit další modul pro vytvoření válcových ploch *Generative Shape Design*. Pro vytažení válcové plochy byla použita funkce *Extrude*. Válcové plochy byly vytvořeny tak, se protínaly s rovinnými plochami pro další operace, jak je naznačeno na *obrázku 27*.

Obrázek 27: Funkce *Extrude* - HS800C

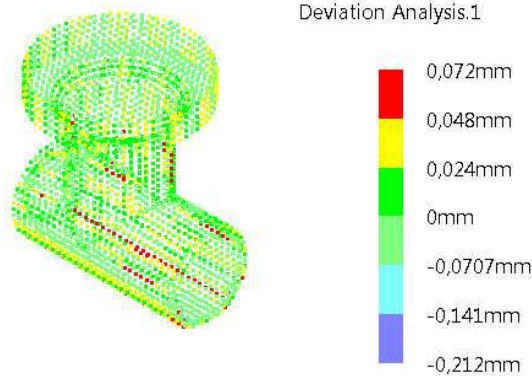
Takto byly zkonstruovány všechny válcové a rovinné plochy, viz *obrázek 28*. Poté byly pomocí funkce *Trim* spojeny a ořezány plochy do skutečného tvaru hlavy, jak je vidět na *obrázku 29*, který je proložen *stl modelem*. Pro porovnání skutečného modelu a vytvořeného byla použita funkce *Deviation Analysis*, kde při nastavení výchozího a vytvořeného modelu vznikly barevně odlišené odchylky od původního *stl* model, viz *obrázek 30*. Vzhledem k analýze je model vhodný k vyšetření kolizí v simulaci obrábění.



Obrázek 28: Proložení rovin modelem - HS800C



Obrázek 29: Konečný model proložený stl modelem - HS800C

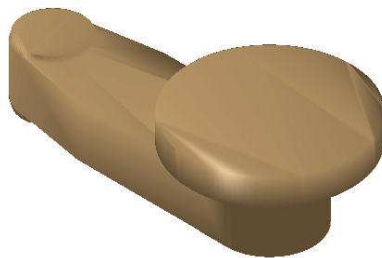


Obrázek 30: Analýza odchylek – HS800C

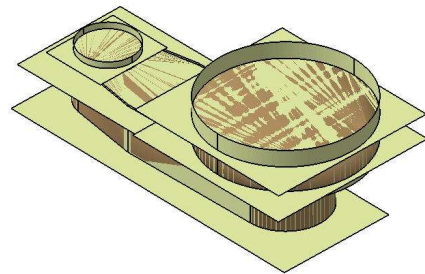
V posledním kroku konstrukce byl vytvořen plný model, neboli *Solid*. Byl použit modulární systém *Mechanical Design* → *Part Design*, kde funkcí *Close Surface* byl vyplněn model a vznikl tak plnohodnotný *Part* využitelný pro software *Catia*. Pro větší přehlednost byla do zařízení vymodelována upínací část nástroje, který *stl* model neobsahoval. Konečné moduly jsou naznačeny v souvislosti s *kapitolou 3.2*

3.1.2 Konstrukce UGF180B

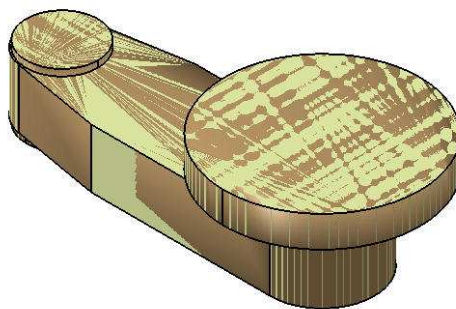
Postup konstrukce byl u všech zařízení podobný, proto bude dále ukázána pouze část s původním *stl*, konečným modelem a důležitou analýzou. Na *obrázku 32* je vidět proložení součásti rovinami, které byly následně ořezány. Analýza součásti, viz *obrázek 34*, ukazuje, že je zařízení zkonstruováno v tolerančních mezích a důležité odchylky se nenacházejí na funkčních plochách. Zde byla největší odchylka nalezena +0,05mm, model je pro simulaci obrábění vyhovující. *Obrázek 33* představuje konečnou podobu součásti v porovnání se skutečnou podobou součásti.



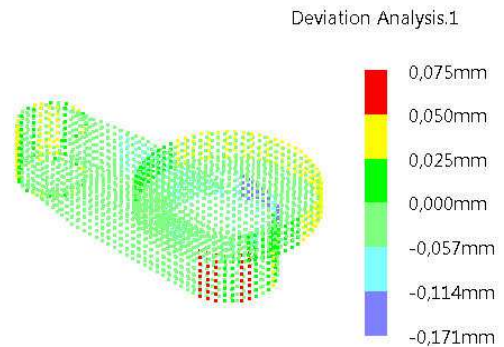
Obrázek 31: Vstupní data - model *stl* - UGF180B



Obrázek 32: Konečný model proložený *stl* modelem – UGF180B



Obrázek 33: Konečný model proložený *stl* modelem – UGF180B



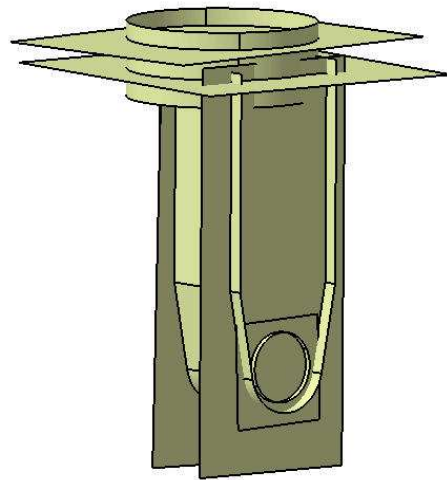
Obrázek 34: Analýza odchylek – UGF180B

3.1.3 Konstrukce HSD350C

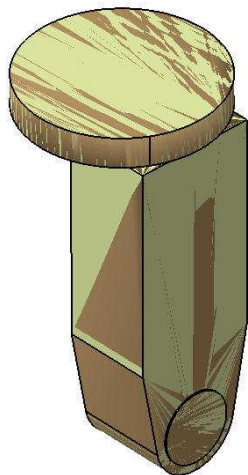
Tato konstrukce byla jedna z těch složitějších, především v upínací části nástroje, kde úhel zkosená je tangenciálně navázán na rádius. Tyto dvě části jsou provázány rozměrově tak, aby při obrábění a pohybu hlavy po kružnici nedocházelo ke kolizi hlavy s obrobkem. V konečné analýze, viz *obrázek 38*, byla naměřena odchylka na rádiu hlavy až +0,05mm, což je vzhledem k rozměru hlavy zanedbatelné, model je pro simulaci obrábění vyhovující.



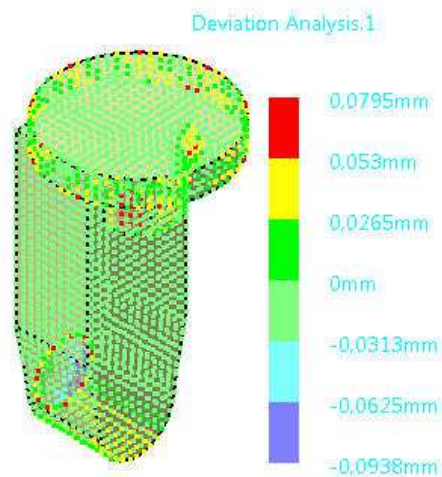
Obrázek 35: Vstupní data - model stl - HSD350C



Obrázek 36: : Konečný model proložen stl modelem – HSD350C



Obrázek 37: Konečný model proložen stl modelem – HSD350C

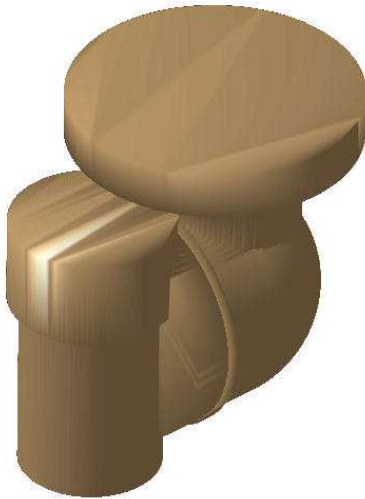


Obrázek 38: Analýza odchylek HSD350C

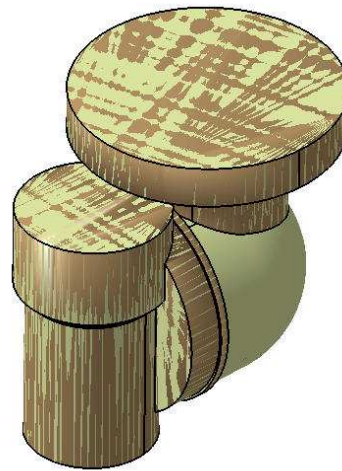
3.1.4 Konstrukce UFUH400SZ

Toto zařízení jediné bylo dodáno ve dvou *stl* modelech. Byly zkonstruovány obě části a spojeny v jeden složený model. *Stl* modely byly velice nepřehledně zkonstruovány, ale v konečné analýze byly odchýleny od vytvořeného modelu nepatrně a v mezích tolerancí. Pevná část, která je upnuta do stroje se v konečné analýze nejvíce odchyluje +2,36mm, viz *obrázek 41*. Otočná část byla odchýlena v toleranci +0,1, viz *obrázek 42*.

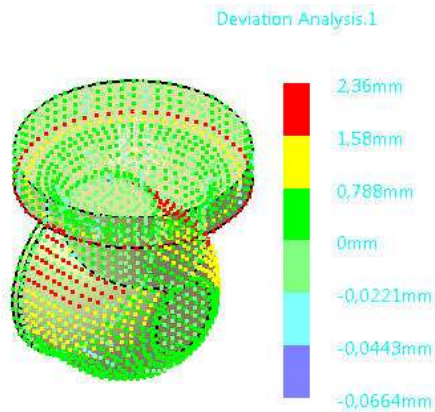
Tolerance u tohoto zařízení se pohybovaly v porovnání s ostatními ve větších tolerancích z důvodu nepřehlednosti konstrukce *stl* modelu. Největší odchylka u pevné části je kladná, proto pro simulaci obrábění je vhodnější než záporná. Vzhledem k rozměrům zařízení je vhodná pro simulaci.



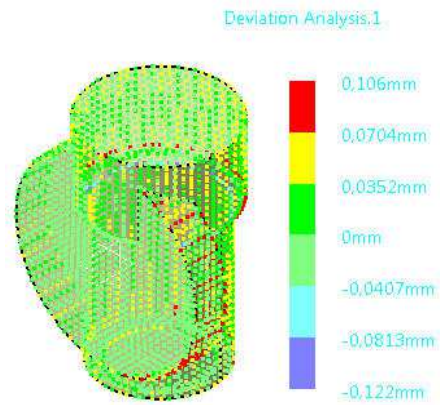
Obrázek 39: Vstupní data - model stl
- UFUH400SZ



Obrázek 40: Konečný model proložen stl
modelem - UFUH400SZ



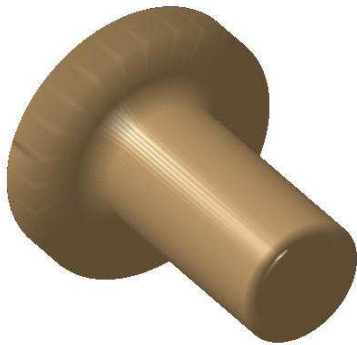
Obrázek 41: Analýza odchylek – pevná část



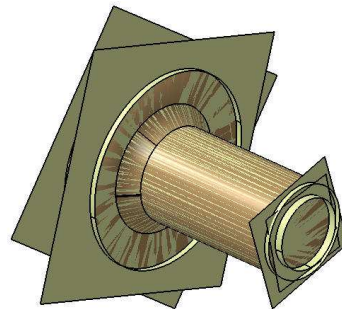
Obrázek 42: Analýza odchylek – otočná část

3.1.5 Konstrukce VS300C

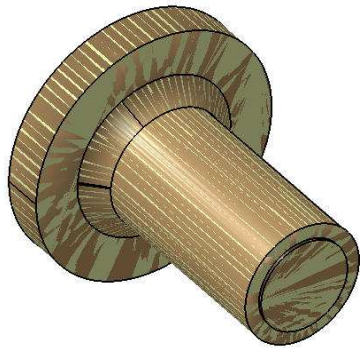
Konstrukčně jednoduše provedení zařízení nevykazovalo při konstrukci větší potíže. Při konečné analýze odchylek, viz *obrázek 46*, byla zjištěna nejvyšší odchylka $-0,366\text{mm}$. Po analýze je zařízení pro simulaci obrábění vyhovující.



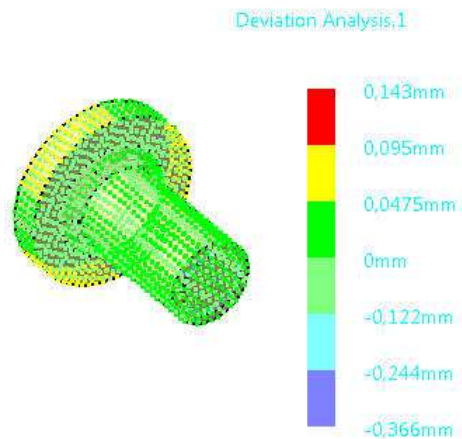
Obrázek 43: Vstupní data - model stl - VS300C



Obrázek 44: Proložení rovin modelem - VS300C



Obrázek 45: Konečný model proložen stl modelem - VS300C



Obrázek 46: Analýza odchylek - VS300

3.2 Kinematika frézovacího zařízení

Po zkonstruování zařízení je nutné přiřadit jednotlivým hlavám pohyby pro a uvolnit stupně volnosti pro konečnou simulaci obrábění. K tomu je v softwaru Catia využíván modulární systém *Machining Simulation* → *NC Machine Tool Builder*, kde je v postupném sledu operací dosaženo konečné kinematiky frézovacího zařízení. Jsou zde definovány parametry kinematických pohybů zařízení lineárních a rotačních os vůči obrobku.

Před navržením kinematiky pohybu bylo nutné dokonstruovat důležité prvky pro vytvoření správných lineárních a rotačních pohybů zařízení. Pro rotační pohyb nástroje kolem osy Z byla zkonstruována výsuvná pinola stroje, do které je frézovací zařízení upnuto. Důvodem je možná kolize mezi pinolou a obrobkem. Konstrukce byla provedena dle technické dokumentace stroje.

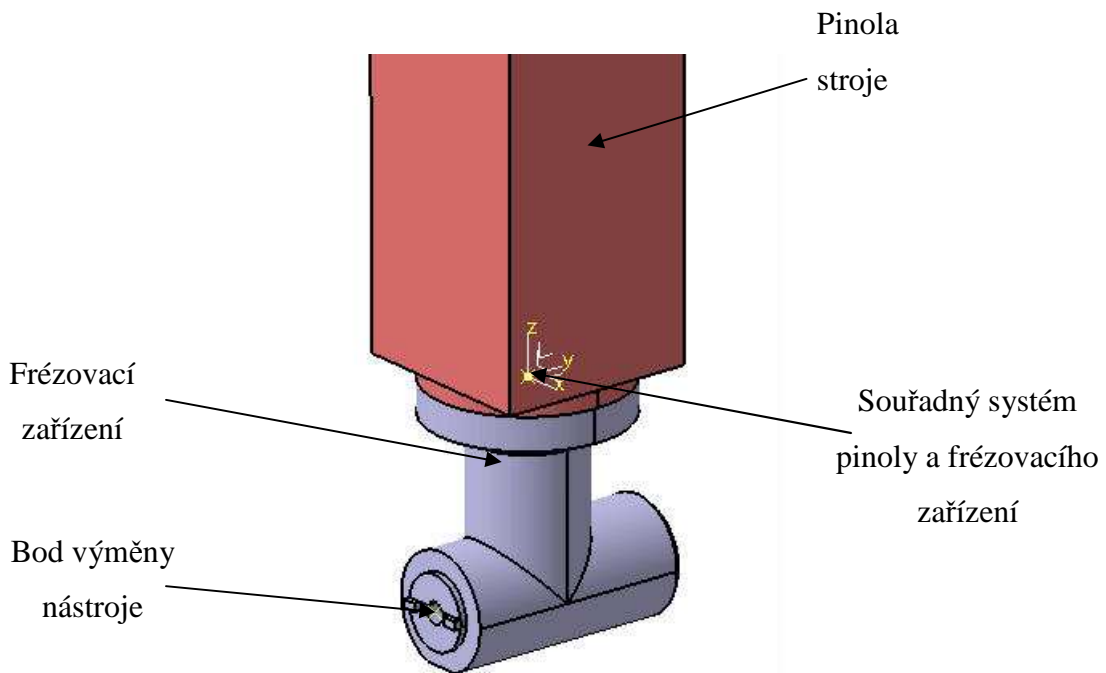
Dále bylo důležité pro správné navržení kinematiky lineárních pohybů sestavit nulový bod lineárních os, ke kterému jsou vázány lineární pohyby zařízení. Byly vytvořeny *party* jednotlivých os X, Y a Z, které byly součástí sestavy pro obrábění. Tímto byl v konečné sestavě pro obrábění definován i nulový bod obrobku.

Lineární pohyby byly realizovány funkcí *Prismatic Joint* a rotační pohyb funkcí *Revolute Joint*.

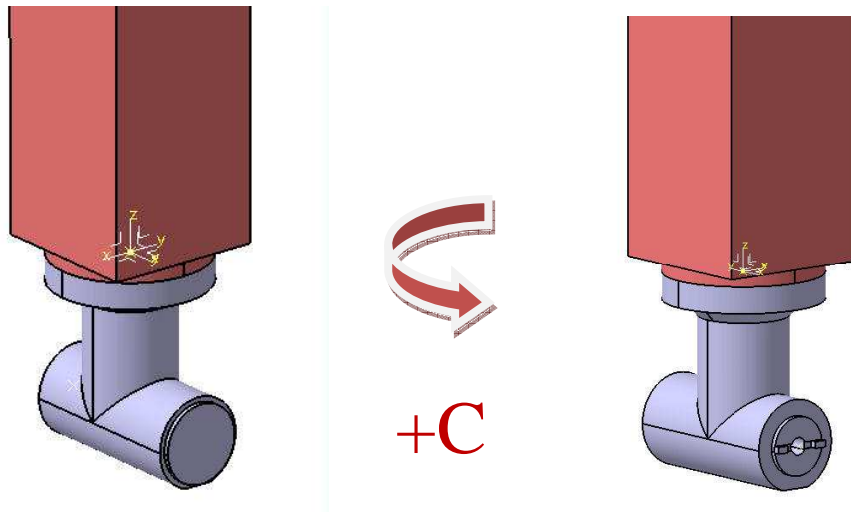
Jako kontrola správného navržení kinematiky je výsledné určení stupně volnosti mechanismu, která je kontrolována funkcí *Analyze* → *Mechanism Properties*.

3.2.1 Kinematika HS800C

Toto zařízení je řízeno strojem v rotační ose C, ostatní lineární pohyby jsou zajišťovány strojem. Na *obrázku 47* jsou popsány důležité části zařízení pro vytvoření kinematiky v poloze $C = 0^\circ$, čili souřadný systém pinoly je shodný se souřadným systémem zařízení. To, že je zařízení správně natočeno se na příkladech rozpozná tak, že se mění poloha os mezi pinolou a frézovací hlavou. Další důležitá část je poloha bodu výměny nástroje a správně definována orientace souřadného systému nástroji vůči stroji kvůli správnému polohování nástroje v simulaci obrábění. Bod výměny nástroje je zvolen funkcí *Create Mount Point*, kde je možno navolit širokou škálu bodů jak výměny nástroje *Tool Mount Point*, tak nulový bod obrobku *Workpies Mount Point*. Zařízením bylo pro názornost polohováno v rotační ose C na pozici $C = 90^\circ$, *obrázek 48* a $C = -90^\circ$, *obrázek 49*.



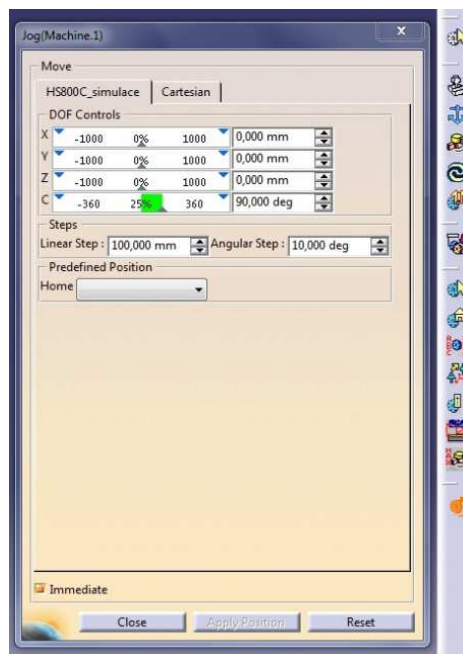
Obrázek 47: Popis kinematických členů, $C = 0^\circ$



Obrázek 48: Poloha natočení osy C = -90°

Obrázek 49: Poloha natočení osy C = 90°

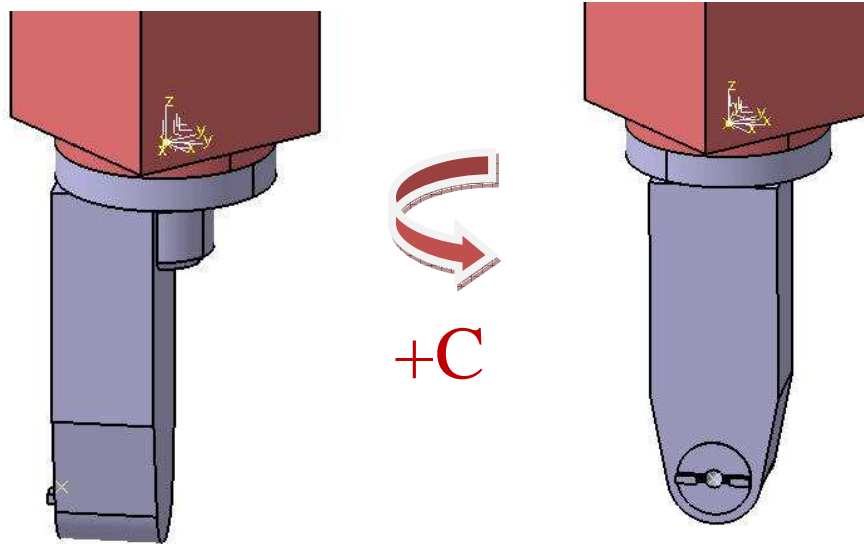
Toto polohování je umožněno funkcí *Jog*, kde je nastaven rozsah, v kterém možno polohovat zařízení. Tento rozsah je možno porušit pro názornost, ale v simulaci obrábění je tento rozsah hlídáný. Na obrázku je vidět, že zařízení bylo polohováno v lineárních osách X, Y, Z a rotační ose C. V rotační ose C je rozsah nastaven na -360° až 360°, aby bylo možno polohovat zařízení v obou směrech rotace.



Obrázek 50: Funkce Jog

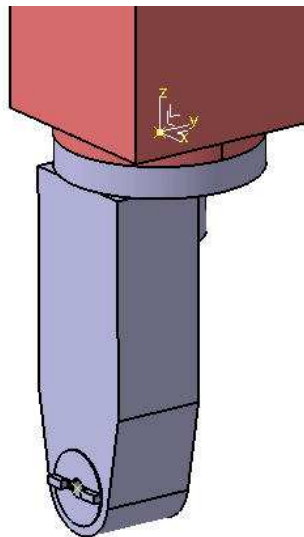
3.2.2 Kinematika HSD350C

Zařízením je otáčeno v rotační ose C v rozsahu 0 – 360°. Na *obrázku 51 a 52* jsou ukázány kinematické polohy v osách $C = 45^\circ$ a $C = -45^\circ$ od počátečního stavu. Rozsah poloh je nastaven v intervalu -360° až $+360^\circ$, pro kinematiky nástroje v obou směrech. Na *obrázku53* je zobrazena počáteční poloha $C = 0^\circ$.



Obrázek 51: Poloha natočení osy $C = 45^\circ$

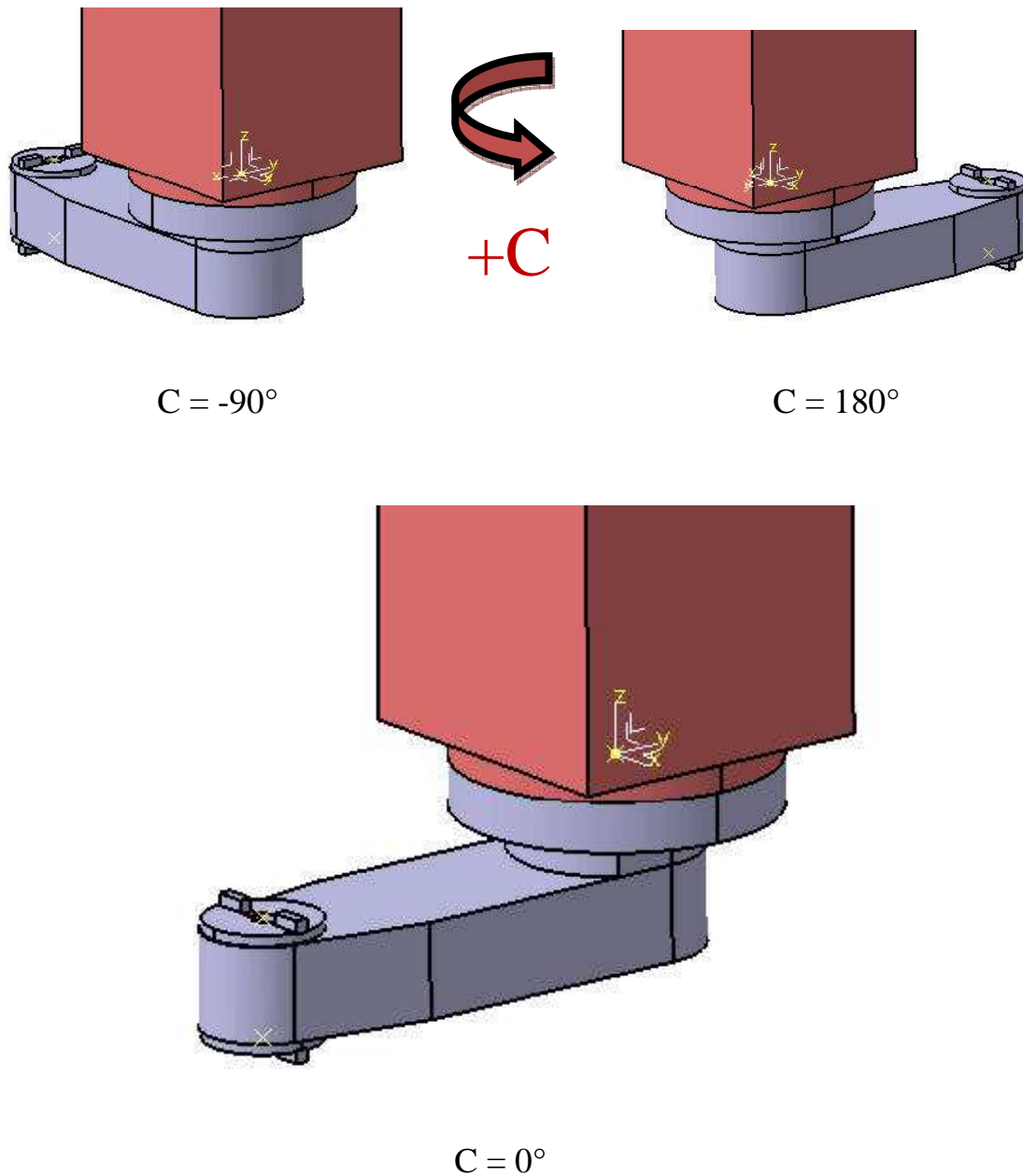
Obrázek 52: Poloha natočení osy $C = -45^\circ$



Obrázek 53: Poloha natočení osy $C = 0^\circ$

3.2.3 Kinematika UGF180B

Tato vodorovná hlava je řízena v rotační ose C v rozsahu 0 – 360°. Je ukázána v kinematických polohách $C = -90^\circ$, $C = +180^\circ$ a výchozí poloze $C = 0^\circ$ viz *obrázek 54*. Těto hlavě byly přiřazeny dva body pro výměnu nástroje T1 a T2.

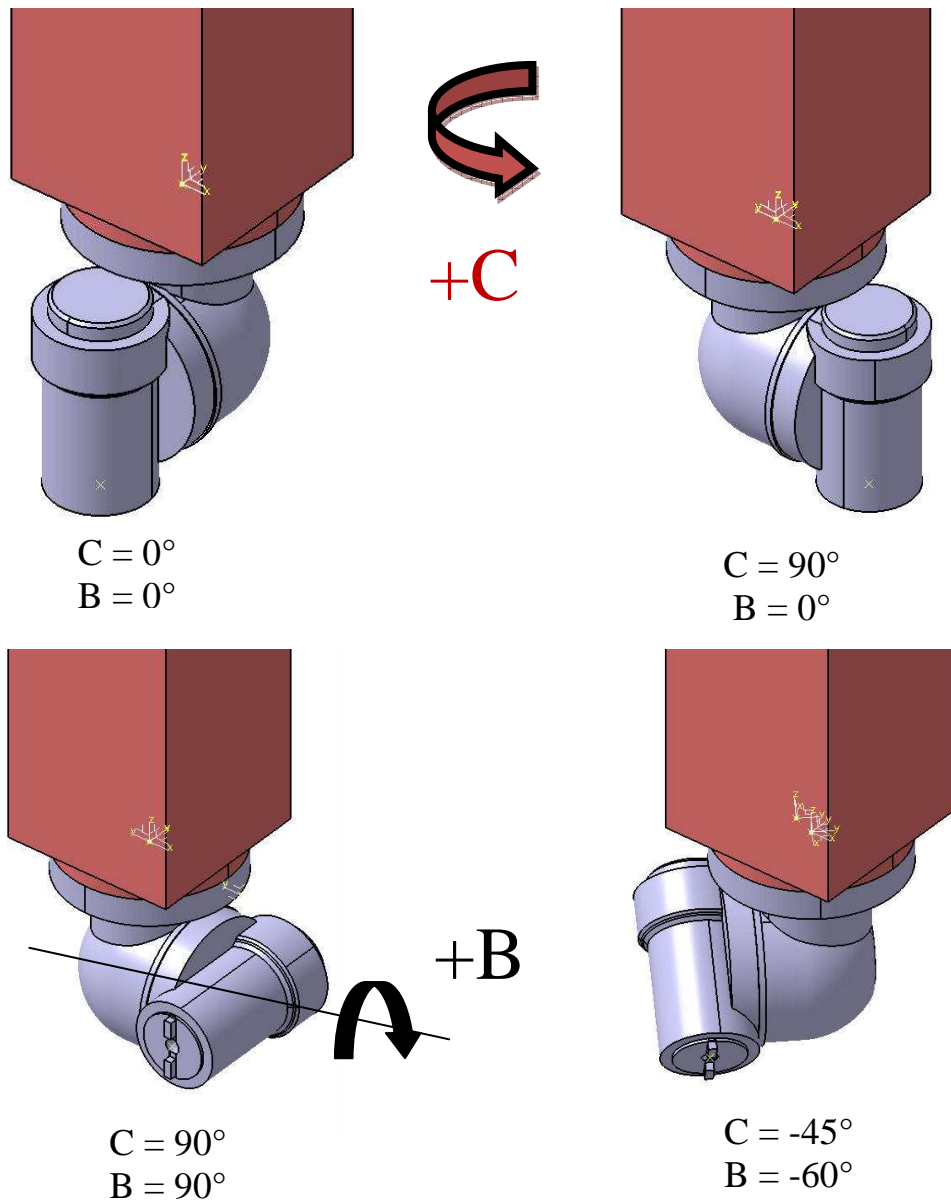


Obrázek 54: Kinematické polohy rotačních os UGF180B

3.2.4 Kinematika UFU400SZ

Univerzální hlava byla z hlediska nastavení kinematiky nejsložitější. Rotační osa C je řízená v rozsahu 0 – 360° a osa B v rozsahu 0 – 180°. Osa C byla nastavena v rozsahu -360° až 360° a rotační osa B -90°- 90° z důvodu nastavitelnosti kinematiky do obou směrů.

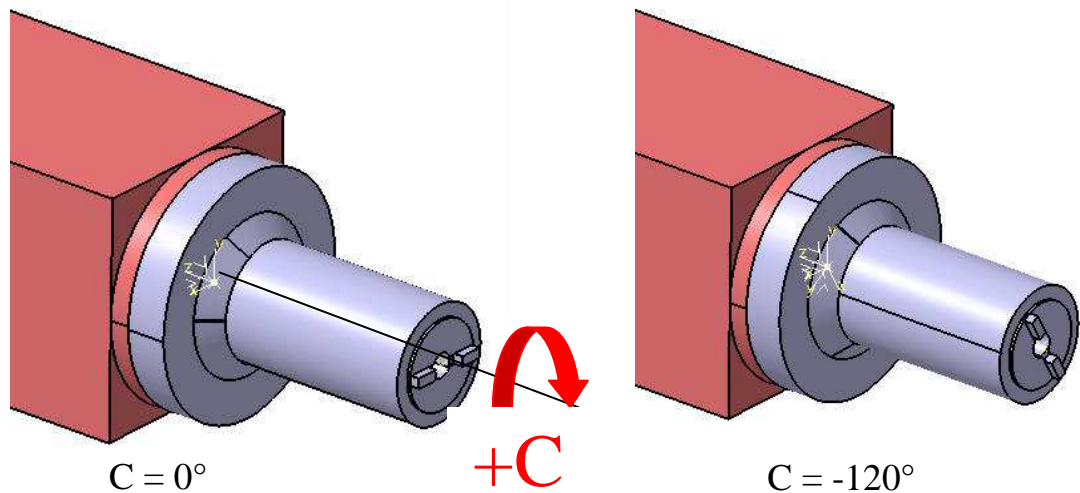
Na *obrázku 55* jsou ukázány vybrané kinematické polohy popsané pod ukázkami.



Obrázek 55: Kinematické polohy rotačních os UFU400SZ

3.2.5 Kinematika VS300C

Svislá hlava je řízena v rotační ose C v rozsahu $0 - 360^\circ$. Je ukázána ve dvou kinematických polohách, které nejsou u této konstrukce příliš patrné. Poloha zobrazena na *obrázku 56* je počáteční poloha $C = 0^\circ$ a otočená poloha v ose $C = -120^\circ$



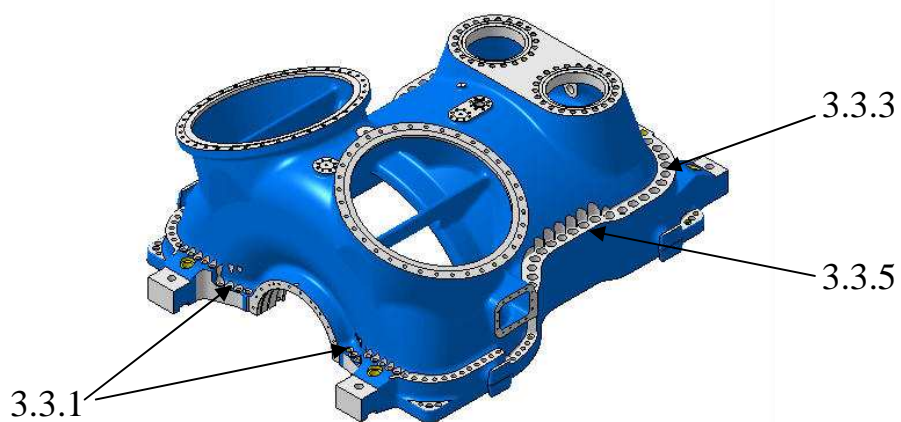
Obrázek 56: Kinematické polohy rotačních os

Z *obrázku 56* je patrné, že pro tuto hlavu je důležitější nastavit pohyby v lineárních osách, než v rotační ose C.

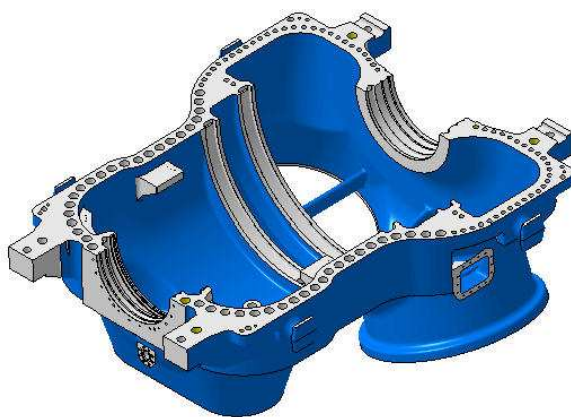
3.3 Simulace kolizních stavů

Ukázky simulací byly provedeny v modulu čárové simulace na vnějším tělese ST EMPALME, viz *obrázek 57*, kde jsou popsány obráběné části, které se vyskytují v ukázkách simulací. Jsou popsány čísla kapitol ukázek, kde jsou podrobněji popsány. Ukázky jsou představeny bez a s frézovacím zařízením, kvůli srovnatelnosti. Dále bude představen nástroj, poloha obrobku a strategie, kterou proces vykonával.

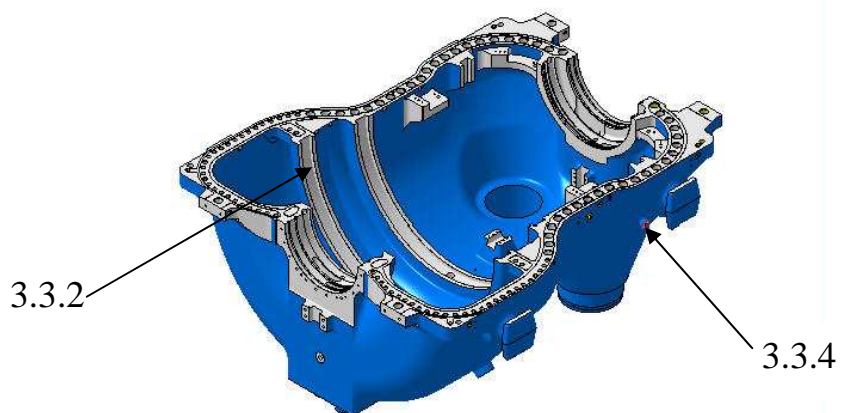
a) Svršek tělesa, dělicí rovinou dolů



b) Svršek tělesa, dělicí rovinou nahoru



c) Spodek tělesa, dělicí rovinou



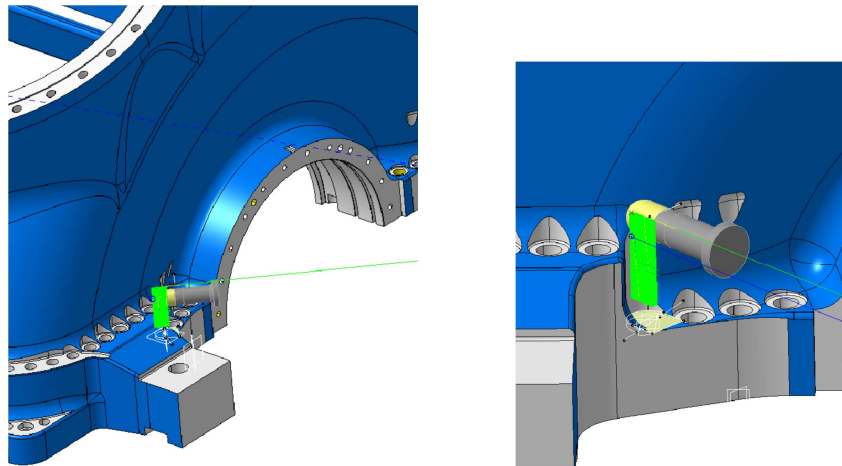
Obrázek 57: Popis obráběných ploch ST vnějšího tělesa

3.3.1 Simulace HS800C

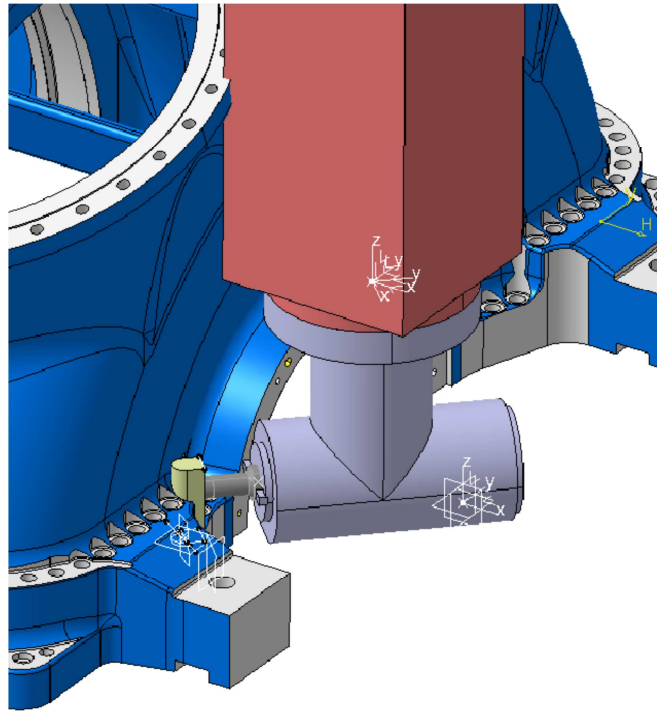
Simulace je ukázána na operaci úběru přebytečného materiálu před vrtáním na přední části svršku tělesa. Svršek je upnut dělicí rovinou směrem dolů. Tato operace je důležitá pro přípravu vrtání otvorů v dělicí rovině tak, aby speciální vrták při průchodu otvorem nevrstal jen určitou částí do materiálu. Přídavné zařízení je otočeno v ose C = - 45°

Nástrojem byla použita kulová kopírovací fréza s VBD od firmy Walter s řezným $\text{ØD}_c=63\text{mm}$ a vyložení nástroje $X_s = 245\text{mm}$. Strategie pro obráběcí operaci byla využita funkce *Zlevel*.

V operaci je předpokládána kolize mezi výsuvnou pinolou stroje a vstupní částí tělesa. Na ukázkách je postupně předvedena simulace bez a poté s přídavným zařízením. Na *obrázku 58* bez přídavného zařízení jsou zobrazeny zeleně dráhy nástroje a samotný nástroj. Na *obrázku 59* s přídavným zařízením je zobrazeno včetně zařízení i kolize obrobku s výsuvnou pinolou stroje.



Obrázek 58: Simulace bez přídavného zařízení



Obrázek 59: Ukázka kolize HS800C

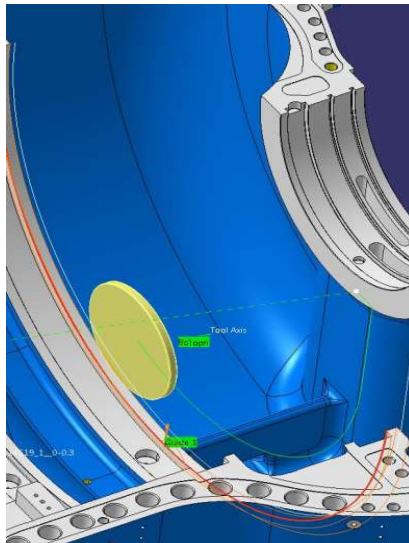
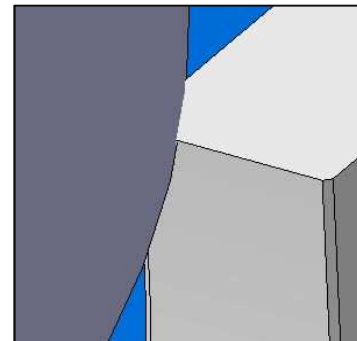
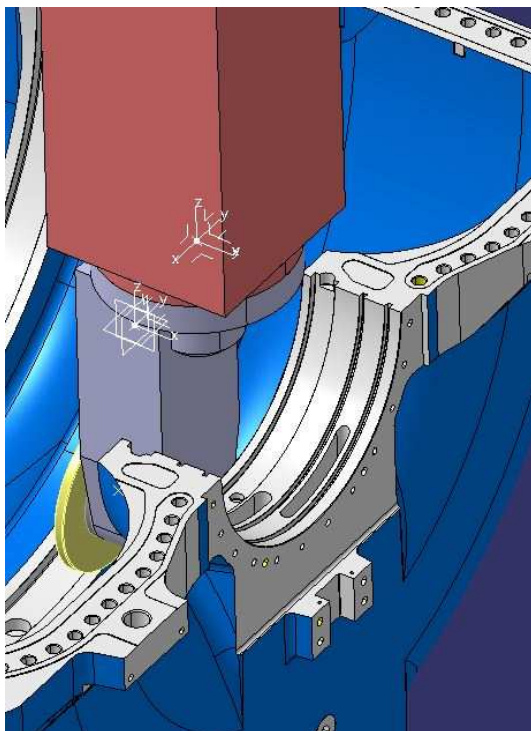
Jako náprava kolize lze pomocí kombinace nastavení úhlu ose C a vyložení nástroje najít optimální polohu pro úběr. Při velkém přesahu lze použít například 50mm nástavek.

3.3.2 Simulace HSD350C

Na této simulaci je ukázána hrubovací operace spodku vnějšího tělesa při frézování drážky kola pro rozváděcí kolo. Těleso je natočeno dělicí rovinou nahoru.

Jako nástroj byla použita kotoučová fréza s VBD o řezném průměru $\text{ØD}_c = 500\text{mm}$ a délkou vyložení nástroje $X_s = 50\text{mm}$. Strategie pro obráběcí operaci byla zvolena funkce *Spiral Milling*.

Kolize byla předpokládána mezi obrobkem a zadní částí přídavného zařízení. Na obrázku 60 je znázorněna simulace obrábění bez přídavného zařízení. Pro porovnání je vložena sestava zařízení HS800C viz obrázek 61. Zde je znázorněn rozdíl a důležitost využití zařízení v simulaci. V simulaci byla odhalena předpokládaná kolize.

**Obrázek 60: Simulace bez přídavného zařízení****Obrázek 61: Ukázka kolice HSD350C + detail**

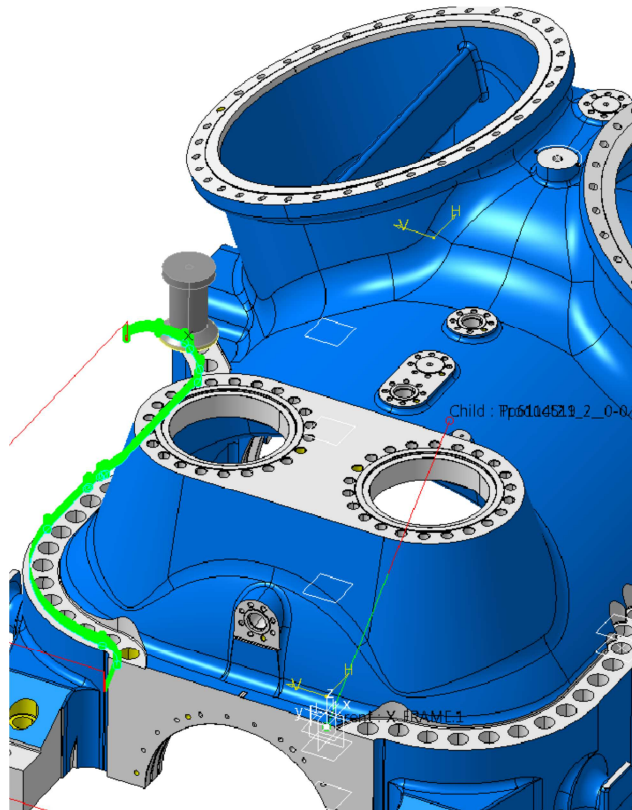
Jako nápravné zařízení je doporučeno otočit zařízení v ose C o 180° a vyměnit kotoučovou frézu s $\text{ØD}_c = 500\text{mm}$ za kotoučovou frézu s $\text{ØD}_c = 900\text{mm}$ a dokončit drážku z druhé strany. Pouhé zkrácení vyložení nástroje nelze, protože není k dispozici kratší nástroj s vhodnými parametry. Tato operace bude použita pro vyhodnocení v kapitole 4.

3.3.3 Simulace UGF180B

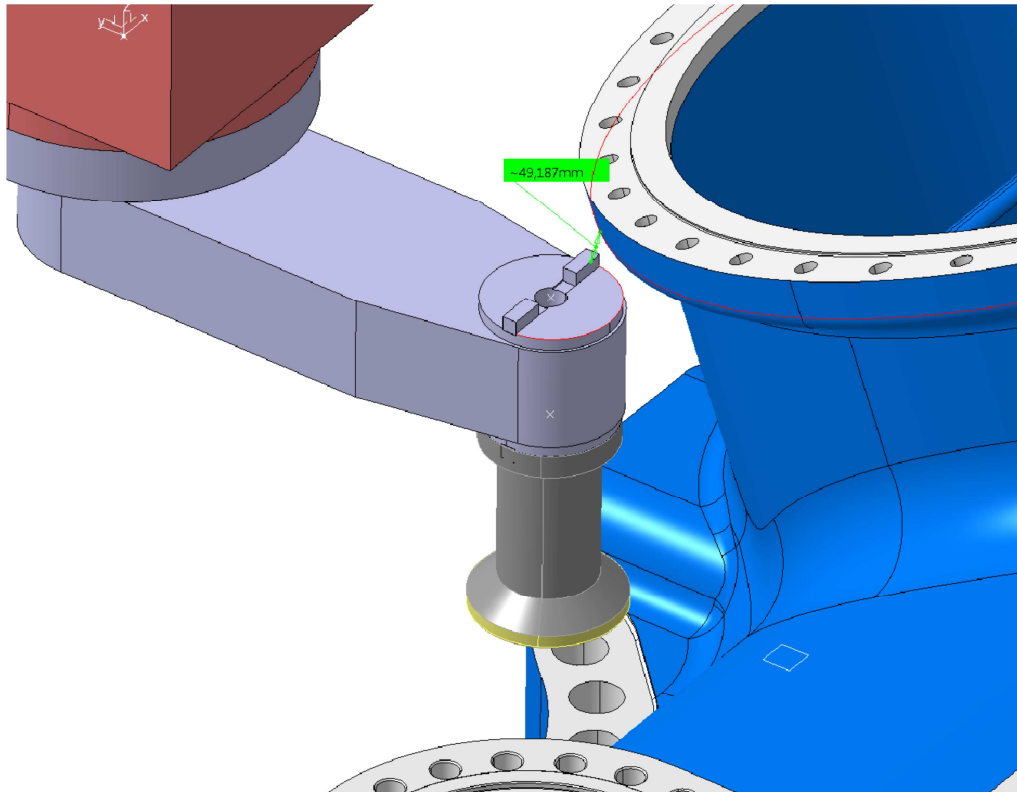
Simulace byla použita pro operaci zarovnání plochy pod matice svršku vnějšího tělesa. Tato operace předchází z technologických důvodů operaci frézování děr v dělicí rovině tělesa. Těleso je upnuto dělicí rovinou dolů.

Nástroj byl zvolen čelní rohová fréza s VBD o řezném průměru \varnothing 250mm a délkou vyložení nástroje $X_s = 353$ mm. Pro strategii obrábění byla zvolena funkce *Profile Contouring*.

Kolize byla předpokládána mezi zařízením a vstupním hrdlem svršku tělesa. Na *obrázku 62* je předveden nástroj bez zařízení a dráha nástroje v operaci. Po zařazení sestavy zařízení do simulace nebyla odhalena kolize, viz *obrázek 63*. Jak je vidět, simulace se zařízením měla své opodstatnění. Vzdálenost mezi zařízením a nástrojem na začátku operace je relativně malá.



Obrázek 62: Simulace bez zařízení



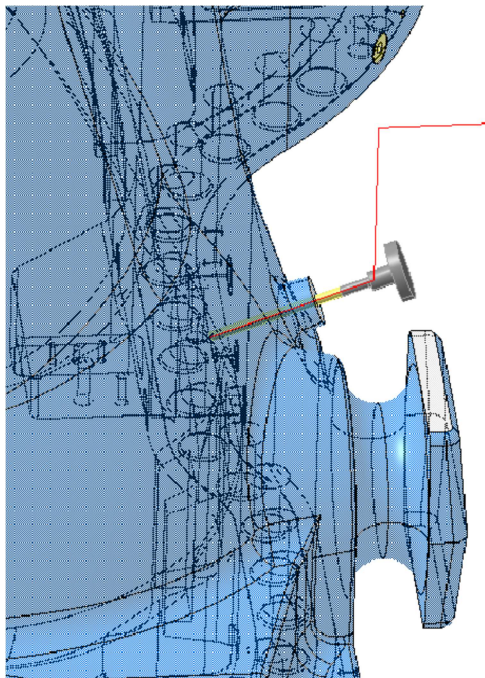
Obrázek 63: Simulace s UGF180B

3.3.4 Simulace UFUH400SZ

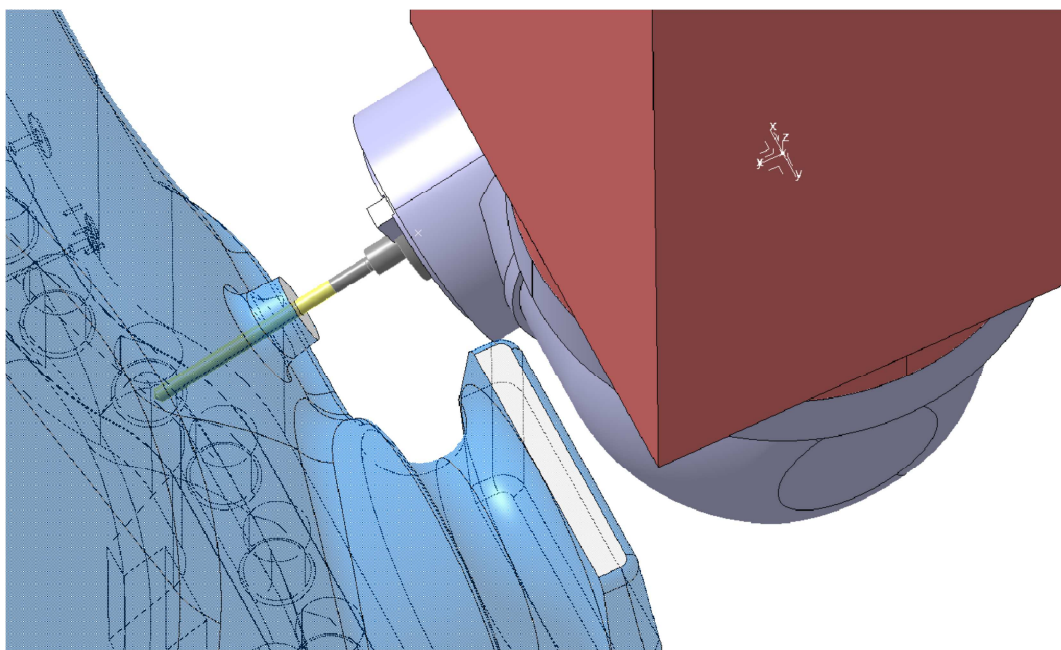
Simulace bude předvedena na operaci předvrtání šikmého otvoru pro teploměr ve spodku vnějšího tělesa. Těleso bylo upnuto dělicí rovinou dolů. Přídavné zařízení je natočeno při simulaci v ose C = 180° a ose B = 80°.

Jako nástroj byl použit prodloužený vrták ČSN 221150 Ø17x355 s délkou vyložení $X_s = 340\text{mm}$. Pro tuto operaci byla použita strategie *Drilling Deep Hole*.

Zde je předpokládána kolize mezi zařízením a manipulačním čepem tělesa. Na *obrázku 64* je viděn nástroj v pozici na konci operace a jeho dráha při operaci. Po zařazení zařízení do simulace je nalezena předpokládaná kolize, viz *obrázek 65*.



Obrázek 64: Simulace bez zařízení



Obrázek 65: Kolize s UFUH400SZ

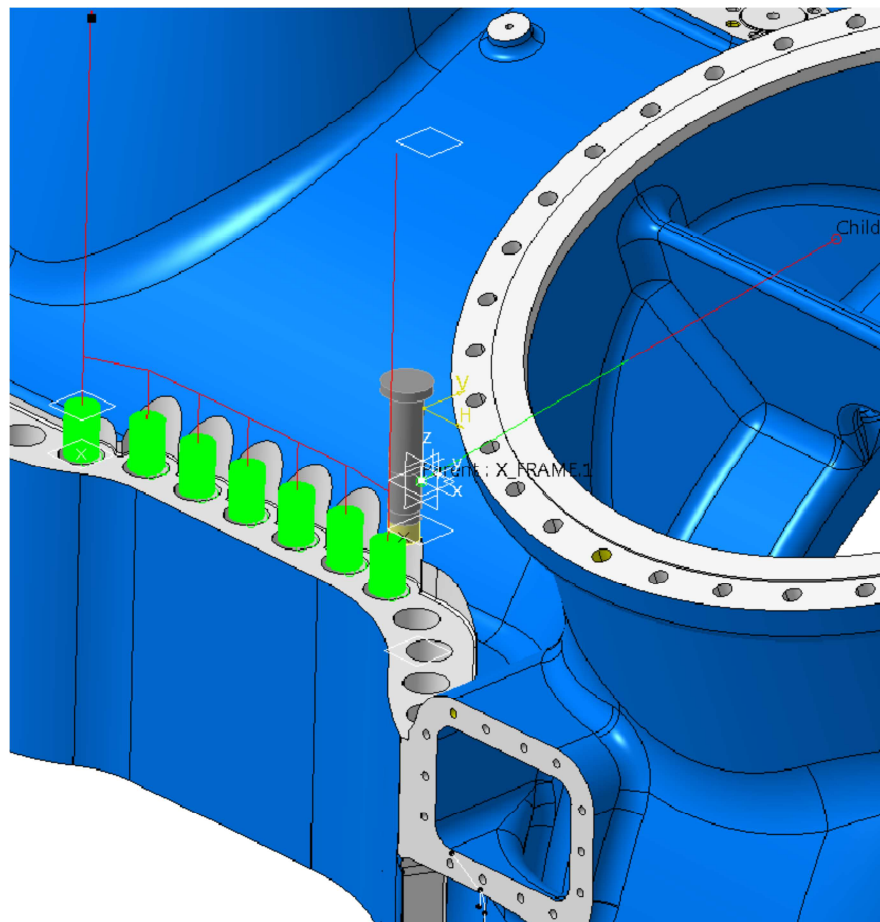
Pro odstranění kolize lze pouze zvětšit délku vyložení nástroje X_s .

3.3.5 Simulace VS300C

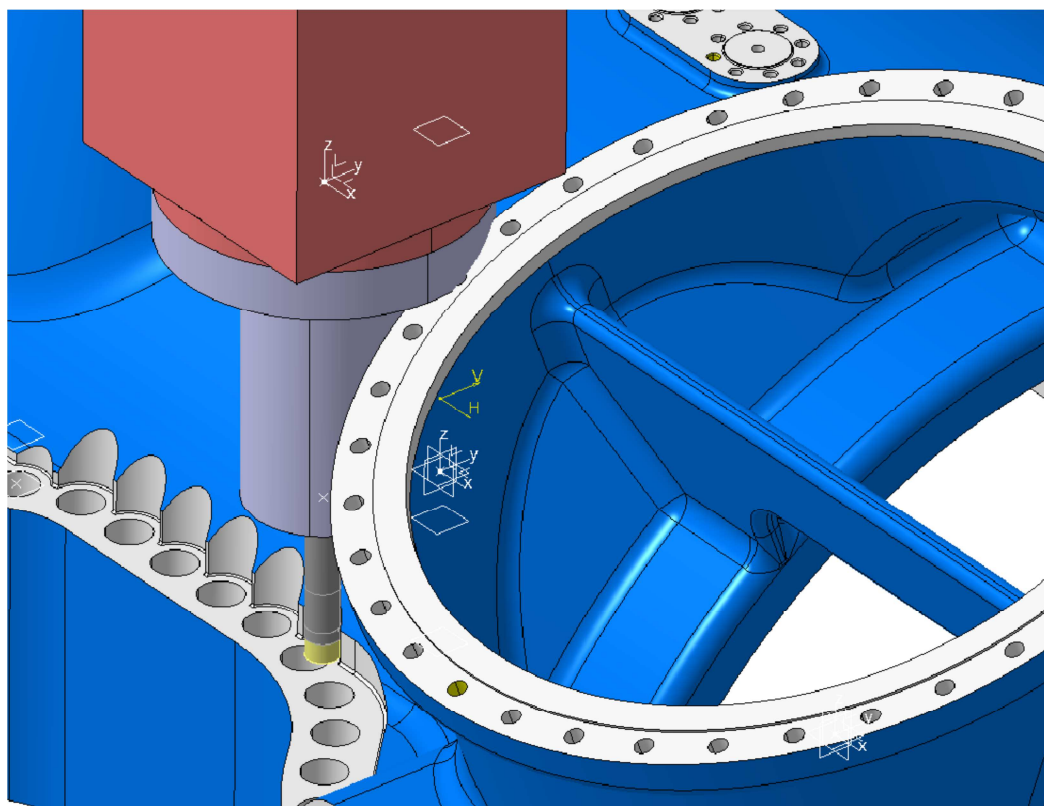
Simulace byla předvedena na hrubovací operaci frézování děr po šroubovici na svršku vnějšího tělesa. Těleso je ustaveno dělicí rovinou směrem dolů.

Nástrojem pro tuto operaci byla zvolena ježková vrtací fréza o řezném průměru $\text{ØD}_c=63\text{mm}$ s délkou vyložení nástroje $X_s = 323\text{mm}$. Pro tuto strategii byla zvolena funkce *Spiral Milling*.

Zde byla předpokládána kolize mezi zařízením a vstupním hrdlem tělesa především v prvním otvoru operace. Na *obrázku 66* jsou předvedeny dráhy nástroje s nástrojem před zahájením operace. V simulaci s přídatným zařízením byla odhalena předpokládaná kolize, viz *obrázek 67*.



Obrázek 66: Simulace bez přídatného zařízení



Obrázek 67: Kolize s VS300C

Jako nápravné opatření je možnost využít nástavku viz kapitola 2.8.1.2 nebo delší vyložení nástroje, je zde ale nebezpečí velkého namáhání na ohyb.

4 Vyhodnocení a zpracování výsledků

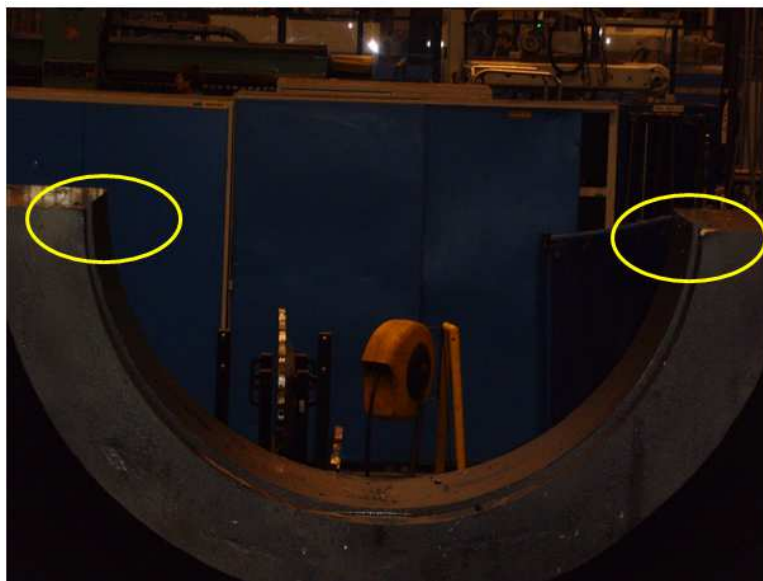
Ve firmě Doosan Škoda Power je zavedena kusová výroba. Nemohou být mezi sebou porovnány a vyhodnocovány dvě a více různých těles při stejných operacích. Sice je zde zavedena určitá dědičnost, ale stále pro výrobu platí, co kus, to originál. Z těchto důvodů bude zaměřeno zhodnocení výsledku na jednu konkrétní reálnou operaci, kde vznikla kolize zařízení s obrobkem. Bude popsán konkrétní případ nastalého problému, jaké následky a časové ztráty byly zjištěny pro přípravu výroby a samotného stroje. Tyto fakta budou porovnána s nově navrženou a realizovanou metodou.

4.1 Popis kolize

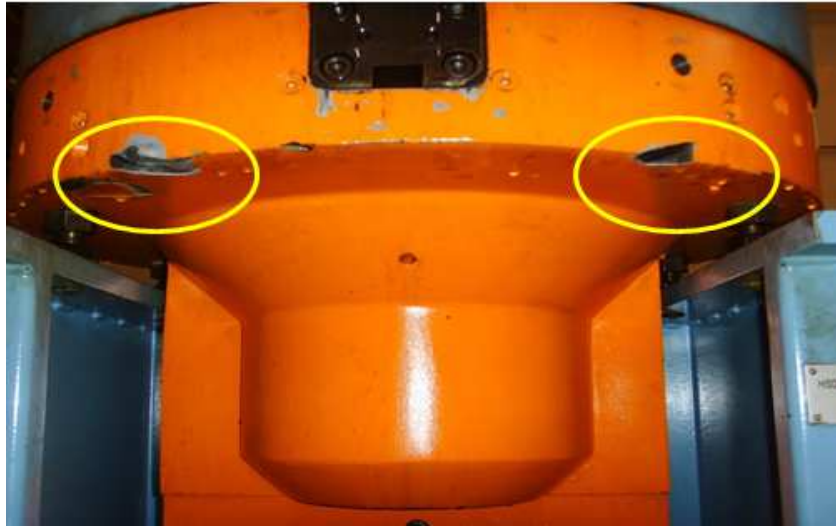
Nastala kolize mezi obrobkem a frézovacím zařízením při frézování drážky kola spodku tělesa, dále popsána v kapitole 3.3.2. včetně použitého nástroje. aj.

Stroj nezaznamenal poruchu, protože při obrábění nedetekoval takový řezný odpor, aby byl automaticky vypnut, to svědčí o vysoké tuhosti stroje, což ale byla v tomto případě nevýhoda. Na obrázku 68 a 69 jsou označeny reálná místa kolizí na frézovacím zařízení HSD350C a zadní ucpávky spodku tělesa.

Na směně byl pouze jeden operátor a těleso bylo upnuto příliš vysoko, takže kolize nemohla být samotným operátorem zaznamenána a na kolize byla zjištěna až při přípravě stroje na další operaci.



Obrázek 68: Poškození zadní ucpávky spodku tělesa[1]



Obrázek 69: Poškození přídavné hlavy [1]

4.2 Řešení kolize

Poté co byl po operaci zaznamenán problém operátorem, byla následně řešena příčina, která byla popsána o kapitolu výše. Po indikaci problému bylo těleso proměřeno kontrolory a bylo naměřeno, že těleso bylo odchýlené v ose X o 0,3 mm. Bylo zjištěno, že těleso s menšími konstrukčními úpravami bude opravitelné. Tato operace byla prováděna 1,5h.

Dále bylo proměřeno externí firmou spolu s interními opraváři kinematika vzájemných os a konstrukce stroje. Tato operace byla prováděna 8,5h.

Tyto ztráty při řešení problému zasahovaly do ztrát výroby. V technické přípravě výroby byl vydán list neshody, který obíhá ve Work Flow a je řešen různými odděleními v týmu. Společně s konstruktéry a technologi bylo nalezeno řešení neshody, které sebou nese časové ztráty přípravy výroby. Toto společné řešení trvalo 8,75h, tyto časy jsou součtem časů řešících pracovníků.

Změna rozměru oproti původnímu návrhu spodku tělesa sebou nese úpravu jak protikusu, tak i další prvky, které jsou svázány s těmito rozměry při konečné kontrole. Tyto konstruktérské změny byly prováděny v součtu 19h a ze strany kontroly technologie z hlediska technologičnosti konstrukce 10,5h.

Postup opravy byl vydán pro novou operaci stroje a kontrolní činnost postupářem. Tato činnost vydání postupu trvala v součtu 3,5h

NC programátorovi změna programu a vygenerování NC programu 0,75h. Z tohoto je vidět, že činnost programátora byla oproti ostatním vícepracím skoro nulová.

4.3 Shrnutí časů a porovnání současnosti s návrhem řešení

Do těchto časů byly zakomponovány ty nejdůležitější časy při řešení neshody, není zde uveden například čas přípravy výroby na stroji před zahájením opravné operace. Hodnoty časů byly zjištěny dle pracovních výkazů pracovníku v rámci listů neshod a výkazů práce časů operátorů.

Hodnoty ztrátových časů jsou sepsány do *tabulky 7* a je vypočítán součtový ztrátový čas na jedné obráběcí operaci.

Oddělení	Jednotlivé činnosti	Časy úkonu [h]	Suma časů výroby a TpV [h]
Výroba	Měření tělesa a zjištění příčiny kolize	1,5	16,5
	Měření stroje	8,5	
	Strojní čas opravné operace	6,5	
TpV	Řešení neshody	8,75	42,5
	Konstruktérské změny prvků	19	
	Technologické změny prvků	10,5	
	NC programátor	0,75	
	Technologický postup opravy	3,5	
Celkový ztrátový čas [h]			59

Tabulka 7: Suma ztrátového času na jedné obráběcí operaci

Ztrátový čas odpovídá součtu časů několika pracovníků. Tento čas měl být věnován jiným projektům v přípravné fázi.

Nyní bude provedeno porovnání obou stávající příprava výroby bez vyšetřování kolizí s novým návrhem vlastního řešení.

Po nasazení frézovacích zařízení do technologické přípravy NC programátora by měla být zpřesněna příprava NC programů a zkrácení ztrát při výrobě kolizemi na stroji.

Vyšetření kolizí s možnostmi softwaru netrvá déle než 0,15h, čas přípravného času bude u nového řešení o tento čas navýšen. Pro přehlednost budou rozepsány přípravné časy jedné operace do *tabulky 8*.

<i>Jednotlivé činnosti</i>	<i>Přípravný čas současnost [h]</i>	<i>Přípravný čas nový návrh[h]</i>
Vygenerovat nástroj z databáze	0,15	0,15
Navržení strategie, volba parametrů	0,4	0,4
Vyšetření kolizí	-	0,15
Vygenerování maker a NC kódu	0,3	0,3
Suma přípravných časů [h]	0,85	1
Rozdíl přípravných časů [h]	-0,15	

Tabulka 8: Suma přípravných časů NC programátora na jednu operaci

S vyšetřením kolizí je navýšen čas přípravy NC program na jedné operaci 0,15 h, ale při nevyšetření kolizí v TpV můžeme v našem případě počítat až s 60 hodinovými ztrátami při výčtu základních operací nápravného opatření při zjištění kolize až na stroji.

Při hlubším zamyšlení nad problémem, který je způsoben ztrátami stroje, nastává problém s plánováním vytížení kapacit strojů ve výrobě. DSPW je v současném stavu výroby v plném vytížení, tudíž ztráty kolizemi přímo na stroji a následném nápravném opatření způsobuje výrobní ztráty na jiných projektech, které jsou dopředu plánovány a mají své termíny. Ztráty v TpV jsou nežádoucí ze stejných důvodů, zde je připravována výroba pro jiné projekty, jejichž dokončení je také omezeno termíny. I když se tato ztráta může zdát jako nepatrná, v konečném důsledku by mohla způsobit velké ztráty.

Pro příklad alespoň části ekonomické ztráty na této operaci je využita výrobní časová ztráta. Při strojní hodinové sazbě portálové frézky **2775 Kč** je výrobní ztráta na jedné operaci **45787,50 Kč**, kde není započítán přípravný čas opravné operace.

5 Závěr

Cílem této práce bylo snížení kolizí nástroje a přídavného zařízení pomocí simulace v CAM a s tím související snížení přípravného času NC programátora. Tato práce byla vypracována v rámci firmy Doosan Škoda Power.

Z dostupných zdrojů firmy a jiných zdrojů uvedených v seznamu použité literatury byl sepsán současný stav. Nejprve z obecného pohledu CAx systémů, nastavení obecných pravidel pro vyvážení součásti od počátečního návrhu až po jeho realizaci. Dále konkrétnější možnosti softwaru Catia, která je používána ve firmě DSPW. Byla zhodnocena dosavadní činnost technologické přípravy výroby se zaměřením na práci NC programátora. Byly sumarizovány veškeré kroky programátora v současném stavu přípravy NC programu, které vedou ke snižování kolizí nástroje. Dále byl popsán a specifikován stroj, portálová frézka a jeho přídavné zařízení, které jsou používány při obrábění statorových částí turbíny.

Při vlastním návrhu řešení ke snížení kolizí a času programování byly v prvním kroku zkonstruovány přídavné zařízení v softwaru Catia V5R21 z pomocných 3D dat ve formátu *stl*. Postup konstrukce je na prvním zařízení HS800C dostatečně a detailně popsána. Dále byla provedena analýza odchylek u všech přídavných zařízení, aby byla zhodnocena vhodnost použití při simulaci obrábění a vyšetřování kolizí. Dále bylo třeba navrhnout kinematiku pro simulaci zařízení, jejich přídavných os a to v lineárních i rotačních osách. Jsou popsány funkce pro tvorbu a postup, kterým byla kinematika tvořena.

Dále bylo předvedeno na praktickém příkladu využití jednotlivých frézovacích zařízení v čárové simulaci obrábění a pomocí obrázků ukázána výhodnost použití zařízení. Bylo odhaleno hned několik kolizních stavů na vnějším tělese ST EMPALME.

V závěrečném hodnocení zpracovaných výsledků byla předmětem hodnocení jedna frézovací operace, u které vznikla kolize na stroji. Po sečtení základních časů, které byly potřeba k nápravnému opatření, jak z hlediska samotných kroků ve výrobě, tak kroků technologické přípravy výroby, byl součet všech ztrátových časů 59h. Z toho bylo 16,5h výrobní ztráty a 42,5 ztráta v TpV. Při porovnání časů přípravy programátora na této operaci vznikla ztráta 0,15h, což je vzhledem ke ztrátovému času zanedbatelná hodnota a simulace s přídavným zařízením je jednoznačně výhodná. Částečná ekonomická výrobní ztráta byla pro příklad vyčíslena na 45787,5 Kč.

Seznam použité literatury

- [1] Materiály z majetku firmy Doosan Škoda Power (katalogy, články, ...)
- [2] ANDERBERG, S, T BENO a L PEJRYD. *Process Planning For CNC Machining of Swedish: A Web Survey* [online]. , 5 [cit. 2016-05-26]. Dostupné z: www.sciencedirect.com
- [3] DUBOVSKA, Rozmarina, Jaroslav JAMBOR a Jozef MAJERIK. *Implementation of CAD/CAM system CATIA V5 in Simulation of: 24th DAAAM International Symposium on Intelligent Manufacturing and Automation* [online]. 2013, 8 [cit. 2016-05-26]. Dostupné z: www.sciencedirect.com
- [4] STANĚK, Vlastimil. CAD/CAM ve strojírenské výrobě: Úvod, historie. *Technický týdeník* [online]. 2011, , 1 [cit. 2016-05-26]. Dostupné z: <https://www.t-support.cz/kat/cad-cam-ve-strojirenske-vyrobe-uvod-1>
- [5] KUČERA, J. *Stručná historie CAD/CAM až po současnost* [online]. 2002, 2 [cit. 2016-05-26]. Dostupné z: <http://www.fi.muni.cz/>
- [6] ŠTULPA, Miroslav, Ing. *CNC obráběcí stroje a jejich programování* [online]. Praha 10: BEN - technická literatura, 2006 [cit. 2016-05-26].
- [7] Programování NC strojů v systému CATIA V5. *MM Spektrum* [online]. 2001, , 1 [cit. 2016-05-26]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/>
- [8] KELLER, Petr, Ph.D. *Programování a řízení CNC strojů* [online]. Liberec, 2005 [cit. 2016-05-26]. Dostupné z: www.kvs.tul.cz. Přednáška. Technická Univerzita v Liberci.
- [9] *5-axis machining* [online]. Japan: Matsuura Machinery Corporation, 2009 [cit. 2016-05-26]. Dostupné z: <http://www5.matsuura.co.jp/english/topics/5ax/tamen1.shtm>

Seznam obrázků

Obrázek 1: Diagram toku výrobku v průběhu přípravy výroby [1]	13
Obrázek 2: Orientace os - a) <i>Pravidlo pravé ruky</i> ; b) <i>Orientace přídatných os</i> [8]	14
Obrázek 3: 3 osé vs. 5 osé obrábění – upínání obrobku [9]	16
Obrázek 4: 3 osé vs. 5 osé obrábění - vyložení nástroje [9]	16
Obrázek 5: Čárová simulace	19
Obrázek 6: Fotorealistická simulace - výměna nástroje.....	20
Obrázek 7: Analýza obrobeného povrchu	20
Obrázek 8: Ideální 3D model a naskenovaná 3D data [1].....	22
Obrázek 9: Parametry nástroje v katalogu CAM [1]	23
Obrázek 10: Simulace nástroje při obrábění drážky kola	24
Obrázek 11: Stroj - WACO PMC 5000AG [1]	26
Obrázek 12: Specifikace zásobníku [1].....	27
Obrázek 13: Upínací systém přídatného zařízení [1]	28
Obrázek 14: Frézovací zařízení HS 800C [1]	29
Obrázek 15: UTRONIC UT5-630S - a) <i>Schéma upnutí do hlavy HS800C</i> ; b) <i>Popis zařízení</i> [1]	31
Obrázek 16:UTRONIC UT5-630S - ukázka použití [1]	32
Obrázek 17: Adaptér SE500C – 60/50 [1]	32
Obrázek 18: Frézovací zařízení HSD 350C [1]	33
Obrázek 19: Frézovací zařízení UFUH 400SZ [1]	34
Obrázek 20: Frézovací zařízení UGF180B [1]	35
Obrázek 21: Frézovací zařízení VS 300C [1]	36
Obrázek 22: Použité modulární systémy.....	37
Obrázek 23: Vstupní data - model stl - HS800C.....	38
Obrázek 24: Vytvoření rovinných ploch - HS800C.....	39
Obrázek 26: <i>Sketch from scan</i> - HS800C.....	40
Obrázek 25: Scan válcové plochy - HS800C	40
Obrázek 27: Funkce <i>Extrude</i> - HS800C.....	40
Obrázek 28: Proložení rovin modelem - HS800C	41
Obrázek 29: Konečný model proložený stl modelem - HS800C	41

Obrázek 30: Analýza odchylek – HS800C	41
Obrázek 33: Konečný model proložen stl modelem – UGF180B	42
Obrázek 32: Konečný model proložen stl modelem – UGF180B	42
Obrázek 31: Vstupní data - model stl - UGF180B.....	42
Obrázek 34: Analýza odchylek – UGF180B	42
Obrázek 36: : Konečný model proložen stl modelem – HSD350C	43
Obrázek 35: Vstupní data - model stl - HSD350C.....	43
Obrázek 38: Analýza odchylek HSD350C	43
Obrázek 37: Konečný model proložen stl modelem – HSD350C	43
Obrázek 40: Konečný model proložen stl modelem - UFUH400SZ	44
Obrázek 39: Vstupní data - model stl - UFUH400SZ.....	44
Obrázek 41: Analýza odchylek – pevná část	45
Obrázek 42: Analýza odchylek – otočná část	45
Obrázek 44: Proložení rovin modelem - VS300C	45
Obrázek 43: Vstupní data - model stl - VS300C.....	45
Obrázek 46: Analýza odchylek - VS300.....	46
Obrázek 45: Konečný model proložen stl modelem - VS300C	46
Obrázek 47: Popis kinematických členů, C = 0°	47
Obrázek 48: Poloha natočení osy C = -90°	48
Obrázek 49: Poloha natočení osy C = 90°	48
Obrázek 50: Funkce Jog.....	48
Obrázek 51: Poloha natočení osy C = 45°	49
Obrázek 52: Poloha natočení osy C = -45°	49
Obrázek 53: Poloha natočení osy C = 0°	49
Obrázek 54: Kinematické polohy rotačních os UGF180B	50
Obrázek 55: Kinematické polohy rotačních os UFUH400SZ.....	51
Obrázek 56: Kinematické polohy rotačních os	52
Obrázek 57: Popis obráběných ploch ST vnějšího tělesa	53
Obrázek 58: Simulace bez přídatného zařízení	54
Obrázek 59: Ukázka kolize HS800C	55
Obrázek 60: Simulace bez přídatného zařízení	56
Obrázek 61: Ukázka kolice HSD350C + detail	56
Obrázek 62: Simulace bez zařízení	57

Obrázek 63: Simulace s UGF180B	58
Obrázek 64: Simulace bez zařízení	59
Obrázek 65: Kolize s UFUH400SZ	59
Obrázek 66: Simulace bez přídavného zařízení	60
Obrázek 67: Kolize s VS300C	61
Obrázek 68: Poškození zadní ucpávky spodku tělesa[1]	62
Obrázek 69: Poškození přídavné hlavy [1]	63

Seznam tabulek

Tabulka 1: Parametry stroje	27
Tabulka 2: Parametry frézovacího zařízení HS800C	30
Tabulka 3: Parametry frézovacího zařízení HSD 350C	33
Tabulka 4: Parametry frézovacího zařízení UFUH 400SZ	34
Tabulka 5: Parametry frézovacího zařízení UGF 180B	35
Tabulka 6: Parametry frézovacího zařízení VS300 C	36
Tabulka 8: Suma přípravných časů NC programátora na jednu operaci	65