



ZADÁNÍ

ZADÁNÍ

## **Prohlášení o autorství**

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

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

V Plzni dne:

.....  
podpis autora

# ANOTAČNÍ LIST DIPLOMOVÉ PRÁCE

<b>AUTOR</b>	Příjmení Pejchar	Jméno Jiří	
<b>STUDIJNÍ OBOR</b>	2303T004 „Strojírenská technologie - technologie obrábění“		
<b>VEDOUcí PRÁCE</b>	Příjmení (včetně titulů) Ing. Hnátík, Ph.D.	Jméno Jan	
<b>PRACOVISŤE</b>	ZČU - FST - KTO		
<b>DRUH PRÁCE</b>	<b>DIPLOMOVÁ</b>	<del>BAKALÁŘSKÁ</del>	Nehodící se škrtněte
<b>NÁZEV PRÁCE</b>	Simulace NC programu v CAM systému a porovnání se skutečností		

<b>FAKULTA</b>	strojní	<b>KATEDRA</b>	KTO	<b>ROK ODEVZD.</b>	2013
----------------	---------	----------------	-----	--------------------	------

## POČET STRAN (A4 a ekvivalentů A4)

<b>CELKEM</b>	85	<b>TEXTOVÁ ČÁST</b>	55	<b>GRAFICKÁ ČÁST</b>	30
---------------	----	---------------------	----	----------------------	----

<p style="text-align: center;"><b>STRUČNÝ POPIS (MAX 10 ŘÁDEK)</b></p> <p><b>ZAMĚŘENÍ, TÉMA, CÍL POZNATKY A PŘÍNOSY</b></p>	<p>Diplomová práce se zabývá vytvořením virtuálního obráběcího stroje a následnou simulací. V teoretické části práce je popsáno několik CAM systémů, jejich principy, výhody a nevýhody. Vysvětleny jsou pojmy jako reverzní inženýrství, NC simulace nebo Leica. V praktické části DP byla provedena rekonstrukce pěti frézovacích hlav pomocí skenovacího zařízení. Byla řešena kinematika frézovacích hlav a obráběcího stroje. Po vytvoření virtuálního stroje byl model použit pro simulaci obrábění nerotačního tělesa.</p>
<p style="text-align: center;"><b>KLÍČOVÁ SLOVA</b></p> <p style="text-align: center;"><b>ZPRAVIDLA JEDNOSLOVNÉ POJMY, KTERÉ VYSTIHUJÍ PODSTATU PRÁCE</b></p>	<p>CAM systém, simulace, kinematika, programování, frézovací zařízení, reverzní inženýrství, Leica Laser Tracker, CATIA V5R20</p>

## SUMMARY OF DIPLOMA SHEET

<b>AUTHOR</b>	Surname Pejchar	Name Jiří	
<b>FIELD OF STUDY</b>	2303T004 „Manufacturing Processes – Technology of Metal Cutting”		
<b>SUPERVISOR</b>	Surname (Inclusive of Degrees) Ing. Hnátík, Ph.D.	Name Jan	
<b>INSTITUTION</b>	ZČU - FST - KTO		
<b>TYPE OF WORK</b>	<b>DIPLOMA</b>	<b>BACHELOR</b>	Delete when not applicable
<b>TITLE OF THE WORK</b>	Simulation of NC program in the CAM systém and compared with reality		

<b>FACULTY</b>	Mechanical Engineering	<b>DEPARTMENT</b>	Department of Machining Technology	<b>SUBMITTED IN</b>	2013
----------------	------------------------	-------------------	------------------------------------	---------------------	------

### NUMBER OF PAGES (A4 and eq. A4)

<b>TOTALLY</b>	85	<b>TEXT PART</b>	55	<b>GRAPHICAL PART</b>	30
----------------	----	------------------	----	-----------------------	----

<b>BRIEF DESCRIPTION TOPIC, GOAL, RESULTS AND CONTRIBUTIONS</b>	<p>This thesis deals with creating virtual machine and subsequent simulations. In the theoretical part describes several CAM systems, their principles, advantages and disadvantages. Describes the concepts: reverse engineering, NC simulation or Leica. In the practical part of work was reconstructed five milling heads using a scanning device. Was resolved kinematics milling heads and machine. After creating a virtual machine, model was used machine simulation on unrotating model.</p>
<b>KEY WORDS</b>	<p>CAM system, simulation, kinematics, programming, milling head, reverse engineering, Leica Laser Tracker, CATIA V5R20</p>

## **Poděkování**

Touto cestou bych rád poděkoval všem lidem, kteří mi pomohli při zpracování diplomové práce. Můj dík patří především vedoucímu mé práce Ing. Janu Hnátíkovi Ph.D za cenné rady a připomínky. Dále bych chtěl poděkovat společnosti Doosan Škoda Power s.r.o., která mi poskytla mnoho materiálů a praktických ukázek, které mi pomohly k vypracování této diplomové práce. Jmenovitě panu Ing. Ondřeji Kuklíkovi, panu Radku Černému a panu Miroslavu Matisovi, Dis.

V neposlední řadě děkuji celé rodině, přátelům a partnerce za psychickou podporu při celém studiu.

## OBSAH

<b>1</b>	<b>ÚVOD.....</b>	<b>7</b>
1.1	Seznámení se společností Doosan Škoda Power.....	7
<b>2</b>	<b>Cíle .....</b>	<b>8</b>
<b>3</b>	<b>Teoretická část – popis CAM systému, simulace v CAM .....</b>	<b>9</b>
3.1	CAM systém.....	9
3.2	Simulace.....	10
3.3	Catia V5.....	10
3.3.1	Simulace CATIA V5.....	11
3.3.2	Oblasti použití CATIA .....	13
3.3.3	CATIA – Modulární systémy.....	14
3.3.4	CATIA – Machining: NC obrábění .....	15
3.4	Reverzní inženýrství.....	16
3.4.1	Dotykové snímání .....	17
3.4.2	Optické snímání .....	17
3.4.3	Laserové snímání .....	17
3.5	Leica Laser Tracker (LLT).....	17
3.5.1	Laserový Tracker .....	18
3.5.2	ATController .....	20
3.5.3	T – Cam .....	20
3.5.4	T – Probe.....	21
3.5.5	T – Scan.....	21
3.5.6	Reflektor .....	24
3.6	Popis frézovacích zařízení.....	25
3.6.1	Frézovací zařízení IFVW 207 E .....	25
3.6.2	Frézovací zařízení IFVW 103 E/60.....	28
3.6.3	Frézovací zařízení IFVW 112 E .....	31
3.6.4	Frézovací zařízení PiboMulti .....	34
<b>4</b>	<b>Návrh řešení – model, technologie, tvorba makety stroje.....</b>	<b>34</b>
4.1	Postup rekonstrukce frézovacích zařízení .....	34
4.1.1	PiboMulti .....	34
4.1.2	Frézovací zařízení IFVW 207 .....	39
4.1.3	Frézovací zařízení IFVW 112 (1000).....	40



4.1.4	Frézovací zařízení IFVW 112 (500).....	41
4.1.5	Frézovací zařízení IFVW 103 .....	42
4.2	Vodorovný frézovací a vyvrtávací stroj Škoda HCW 3 -200 NC .....	43
4.2.1	Technické parametry stroje Škoda HCW3 .....	44
4.2.2	Maketa stroje HCW 3.....	44
4.2.3	Zjednodušení makety stroje .....	45
4.3	Kinematika zařízení.....	46
4.3.1	Frézovací zařízení IFVW 207 .....	46
4.3.2	Frézovací zařízení IFVW 112 – 1000 .....	48
4.3.3	Frézovací zařízení IFVW 112 – 500 .....	49
4.3.4	Frézovací zařízení PiboMulti .....	50
4.3.5	Frézovací zařízení IFVW 103 .....	51
4.3.6	Vodorovný frézovací a vyvrtávací stroj HCW 3 – 200 NC .....	51
4.3.7	Postup vytvoření virtuálního stroje .....	53
4.4	Simulace.....	54
<b>5</b>	<b>Technicko-ekonomické hodnocení .....</b>	<b>57</b>
5.1	Časová náročnost .....	57
5.1.1	Leica Laser Tracker vs. rýsovači .....	57
5.1.2	Reverzní inženýrství vs. nákup modelu od výrobce.....	58
5.2	Finanční náročnost .....	59
5.2.1	Leica Laser Tracker vs. rýsovači .....	59
5.2.2	Reverzní inženýrství vs. nákup modelu od výrobce.....	59
5.3	Zhodnocení technicko-ekonomického hodnocení .....	60
<b>6</b>	<b>ZÁVĚR .....</b>	<b>61</b>
	<b>POUŽITÉ ZDROJE .....</b>	<b>63</b>
<b>1</b>	<b><i>KNIŽNÍ PUBLIKACE</i>.....</b>	<b>63</b>
<b>2</b>	<b><i>PUBLIKACE NA INTERNETU</i> .....</b>	<b>63</b>
<b>3</b>	<b><i>SEZNAM POUŽITÉHO SOFTWARE</i>.....</b>	<b>65</b>
	<b>SEZNAM PŘÍLOH: .....</b>	<b>I</b>

## SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 Čárová simulace – ukázka	11
Obr. 2 Fotorealistická simulace – ukázka	12
Obr. 3 Analýza obrobku – ukázka	12
Obr. 4 Letadlo [9]	13
Obr. 5 Automobil [9]	13
Obr. 6 Prsten [9]	13
Obr. 7 Robot [9]	13
Obr. 8 Znak 1 [9]	14
Obr. 9 Znak 2 [9]	14
Obr. 10 Znak 3 [9]	14
Obr. 11 Znak 4 [9]	14
Obr. 12 Znak 5 [9]	14
Obr. 13 Znak 6 [9]	14
Obr. 14 Znak 7 [9]	14
Obr. 15 Měřicí doteky [42]	17
Obr. 16 Optická sonda [42]	17
Obr. 17 Měřicí systém LLT [8]	18
Obr. 18 Laser Tracker [7]	19
Obr. 19 T – Cam [7]	20
Obr. 20 T – Probe [7]	21
Obr. 21 T – Scan [7]	21
Obr. 22 T – Scan, popis měření [7]	22
Obr. 23 Princip činnosti T – Scan [7]	23
Obr. 24 Vpravo – nevhodná orientace k povrchu, Vlevo – optimální orientace k povrchu [7]	23
Obr. 25 Překážka odraženého paprsku [7]	24
Obr. 26 Úplný odraz [7]	24
Obr. 27 Reflektor [7]	24
Obr. 28 Frézovací zařízení IFVW 207 – Popis	25
Obr. 29 Natáčení frézovací hlavy (207) – Osa A1 [6]	26
Obr. 30 Natáčení frézovací hlavy (207) – Osa C1 [6]	27
Obr. 31 Frézovací zařízení IFVW 207 – Řez [6]	28
Obr. 32 Frézovací zařízení IFVW 103 – Popis	29
Obr. 33 Natáčení frézovací hlavy (103) – Osa C1 [6]	30
Obr. 34 Frézovací zařízení IFVW 103 – Řez [6]	31
Obr. 35 Frézovací zařízení IFVW 103 – Popis	32
Obr. 36 Frézovací zařízení IFVW 112 – základní rozměry [6]	33
Obr. 37 Natáčení frézovací hlavy (112) – Osa C1 [6]	33
Obr. 38 Frézovací zařízení PiboMulti – Popis	34
Obr. 39 PolyWorks – Postup skenování	35
Obr. 40 Otáčení skenovaného modelu	35
Obr. 41 PolyWorks – výsledný model	36

Obr. 42 STL model – PiboMulti	36
Obr. 43 Trojúhelníková síť	36
Obr. 44 Prokládání ploch – PiboMulti	37
Obr. 45 Vizuální kontrola modelu – PiboMulti	38
Obr. 46 Analýza – PiboMulti	38
Obr. 47 Plošný model – PiboMulti	38
Obr. 48 Kompletní model PiboMulti – CATIA V5	39
Obr. 49 Fotografie – PiboMulti	39
Obr. 50 STL model – IFVW 207	39
Obr. 51 Prokládání ploch – IFVW 207	39
Obr. 52 Plošný model – IFVW 207	40
Obr. 53 Kompletní model IFVW 207 – CATIA V5	40
Obr. 54 STL model – IFVW 112 (1000)	40
Obr. 55 Prokládání ploch – IFVW 112 (1000)	40
Obr. 56 Plošný model – IFVW 112 (1000)	41
Obr. 57 Kompletní model IFVW 112 (1000) – CATIA V5	41
Obr. 58 STL model – IFVW 112 (500)	41
Obr. 59 Prokládání ploch – IFVW 112 (500)	41
Obr. 60 Plošný model – IFVW 112 (500)	42
Obr. 61 Kompletní model IFVW 112 (500) – CATIA V5	42
Obr. 62 STL model – IFVW 103	42
Obr. 63 Prokládání ploch – IFVW 103	42
Obr. 64 Plošný model – IFVW 103	43
Obr. 65 Kompletní model – IFVW 103	43
Obr. 66 Kompletní maketa stroje HCW 3	45
Obr. 67 Zjednodušená maketa stroje HCW 3	46
Obr. 68 IFVW 207 – Poloha1	47
Obr. 69 IFVW 207 – Poloha2	47
Obr. 70 IFVW 207 – Poloha3	47
Obr. 71 IFVW 112 (1000) – Poloha1	48
Obr. 72 IFVW 112 (1000) – Poloha1	48
Obr. 73 IFVW 112 (500) – Poloha1	49
Obr. 74 IFVW 112 (500) – Poloha2	49
Obr. 75 PiboMulti – Poloha1	50
Obr. 76 PiboMulti – Poloha2	50
Obr. 77 IFVW 103 – Poloha1	50
Obr. 78 IFVW 103 – Poloha2	51
Obr. 79 Stroj HCW 3 – v základní poloze	51
Obr. 80 Stroj HCW 3 – posunutí vřeteníku v ose „y“	52
Obr. 81 Stroj HCW 3 – posunutí sloupu v ose „x“	52
Obr. 82 Stroj HCW 3 – vysunutí pinoly v ose „z“	52
Obr. 83 Stroj HCW 3 – posunutí stolu v ose „v“	52
Obr. 84 Stroj HCW 3 – otočení stolu	53
Obr. 85 Kolizní stav – Hlava vs. Obrobek	54

Obr. 86 Ukázka programu – IFVW 207, najetí	55
Obr. 87 Ukázka programu – IFVW 207, možnost kolize	55
Obr. 88 Ukázka programu - PiboMulti	55
Obr. 89 Ukázka programu – IFVW 112 (500)	56
Obr. 90 Ukázka programu – IFVW 112 (1000)	56
Obr. 91 Ukázka programu – IFVW 103	56
Obr. 92 FeatureCAM – ukázka [40]	II
Obr. 93 CamBam – Ukázka [11]	III
Obr. 94 G-SIMPLE – Ukázka [12]	IV
Obr. 95 Ukázka MasterCAM1 [14]	V
Obr. 96 Ukázka MaterCAM 2 [15][16]	V
Obr. 97 Ukázka SURFACE [18][19][20]	VII
Obr. 98 Ukázka Kovoprog [22][23]	VIII
Obr. 99 CimatronE – Ukázka [24][25]	IX
Obr. 100 NCG – Ukázka [26]	X
Obr. 101 InventorCAM – ukázka [27]	XI
Obr. 102 EdgeCAM – Ukázka [25][30][31][32]	XII
Obr. 103 Pětiosé vertikální obráběcí centrum MCU 63V – 5X [25]	XII
Obr. 104 SolidCAM – Ukázka [28]	XIII
Obr. 105 HSMWORKS – Ukázka [35]	XIV
Obr. 106 Tebis – Ukázka [37]	XV
Obr. 107 GibbsCAM – Ukázka [38][39]	XVI
Obr. 108 Ukázka – Facing	XVIII
Obr. 109 Ukázka – Pocketing	XVIII
Obr. 110 Ukázka – Profile contouring	XIX
Obr. 111 Ukázka –Plunge milling	XX

## SEZNAM TABULEK

Tabulka 1 – Technické parametry – Frézovací zařízení IFVW 207[6]	26
Tabulka 2 – Technické parametry – Frézovací zařízení IFVW 103 [6]	29
Tabulka 3 - Technické parametry – Frézovací zařízení IFVW 112 [6]	32
Tabulka 4 – Technické parametry – Frézovací zařízení PiboMulti [6]	34
Tabulka 5 – Naměřené hodnoty – skenování	43
Tabulka 6 – Technické parametry: základní údaje – HCW 3	44
Tabulka 7 – Technické parametry: posuvy a rychloposuvy – HCW 3	44
Tabulka 8 – Technické parametry: momenty a posuvové síly – HCW 3	44
Tabulka 9 – Časová hodnota LLT	57
Tabulka 10 – Časová náročnost orýsování	57
Tabulka 11 – Porovnání reverzní inženýrství vs. hotový model	58

## PŘEHLED POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

KTO	Katedra technologie obrábění
FST	Fakulta strojní
ZČU	Západočeská univerzita
6DOF	šest stupňů volnosti
LED	Light – Emitting Diode – dioda emitující světlo
CMOS	doplňující se kov – oxid – polovodič
ADM	absolutní vzdálenost
IFM	laserový interferometr
AIFM	absolutní interferometr
IR	infračervený
LLT	Leica Laser Tracker
CAD	Computer-aided design - Počítačem podporované projektování
CAM	Computer-aided manufacturing - Počítačová podpora obrábění
HSM	High speed machining – Vysokorychlostní obrábění
PSD	dvouosý fotosenzor
CMM	souřadnicové měřicí stroje
ČNB	Česká Národní banka
3D	třírozměrné
STEP	Standard for Exchange of Product model data

# 1 ÚVOD

Vliv konkurence určuje směr dnešní doby. Neustále zvyšování požadavků na kvalitu, časovou náročnost nebo cenu v oblasti strojírenství přispívá k zdokonalování a posouvání možností stále dopředu. Programování a simulace v CAM systémech se stávají neodmyslitelnou součástí každého obráběcího procesu. Jejich užívání pomáhá k lepšímu využití možností obrábění dané součásti. Tato práce ukazuje výhody a možnosti uplatnění CAM systémů ve strojním průmyslu.

V úvodu diplomové práce je seznámení se zadavatelem diplomové práce firmou Doosan Škoda Power. Následuje popis cíle diplomové práce, její přínosy a požadované výsledky.

Ve třetí části práce jsou popsány principy a použití CAM systému. Ukázány jsou možnosti simulace. Dále je zpracována rešerše několika dostupných CAM systémů se zaměřením na Catia V5R20. Popis CAM systému je obsahem přílohy diplomové práce. Zde jsou popsány CAM systémy, jakou jsou například: Tebis, GibbsCAM, SolidCAM, atd. V příloze jsou také uvedeny jednotlivé výhody a nevýhody použití vybraných CAM systémů. Součástí obsahu je popis a princip Leica Laser Tracker, který je důležitý pro pochopení následné rekonstrukce frézovacích zařízení pomocí reverzního inženýrství. Teoretická část práce vysvětluje pojmy, jako reverzní inženýrství nebo mrak bodů. Obsahem této kapitoly je popis frézovacích zařízení, vodorovného frézovacího a vyvrtávacího stroje Škoda HCW3.

Čtvrtá kapitola podrobně popisuje celkovou rekonstrukci frézovacích zařízení od skenování na měřicím stroji, až po vytvoření 3D modelu v programu CATIA. Postupně jsou popsány a vizualizovány všechny vytvořené modely frézovacích zařízení. Je zde popis obráběcího stroje, který byl použit pro simulaci procesu. Uvedeny jsou technické parametry a zjednodušená maketa stroje. Řešeny jsou kinematické možnosti frézovacích hlav a obráběcího stroje. Kapitulu uzavírá simulace obráběcího procesu s virtuálním strojem. Je zde podrobný postup vytvoření virtuálního stroje a závěrečné simulace.

Nepostradatelnou součástí každého projektu je jeho ekonomické zhodnocení. Poslední kapitola diplomové práce se zaměřuje na časovou a finanční náročnost projektu. Porovnává možnosti vytvoření modelů dvěma způsoby. Výstupem této kapitoly je zhodnocení reverzního inženýrství po finanční stránce a časové náročnosti.

## 1.1 Seznámení se společností Doosan Škoda Power

Doosan Škoda Power patří mezi významné dodavatele zařízení pro energetiku. Historie parních turbín Škoda se datuje od roku 1904, kdy byla vyrobena první parní turbína ve Škodových závodech. Od roku 1911 až do současnosti je používán vlastní design turbín Škoda bez využití jakékoliv licence či know-how ostatních výrobců. Již několikrát v minulosti, Škoda poskytla licenci na výrobu turbín do Číny a do Indie. Od roku 2009 je Škoda Power součástí korejské skupiny Doosan. [6]

Důležitá data:

- 1859 – Hrabě Valdštejn založil původní strojírenské závody
- 1869 – závody koupil Emil Škoda

- 1904 – vyrobena první turbína systém Rateau o výkonu 420 kW
- 1932 – 1992 – vývoj a výroba turbín od 23 MW až po 1000 MW pro jadernou elektrárnu
- 1993 – privatizace, vytvoření dceřiných společností v rámci ŠKODA, a.s.
- 1998 – vytvoření společnosti ŠKODA ENERGO s.r.o. (sloučením ŠKODA CONTROLS, s.r.o., ŠKODA ELEKTRICKÉ STROJE, s.r.o., ŠKODA ETD, s.r.o., ŠKODA TURBÍNY, s.r.o.)
- 2006 – změna právní normy na ŠKODA POWER, a.s.
- 2009 – Firma Doosan Heavy Industries & Construction dokončila akvizici ŠKODA POWER a.s. a založila ŠKODA POWER s.r.o., a Doosan company
- 2012 – změna názvu společnosti na Doosan ŠKODA POWER, společnost rozšiřuje svoji působnost do Střední a Jižní Ameriky [6]

## 2 Cíle

Cílem diplomové práce je vytvoření nových a kvalitativně vyšších možností, jak efektivně využít moderní výrobní zařízení ve firmě Doosan Škoda Power. Konkrétně se práce zaměří na horizontální frézovací stroje Škoda, zejména na jejich přídatná zařízení. Kvalitní technologická příprava výroby začíná optimalizací technologičnosti konstrukce, kde již mohou být prvně využity přesné 3D modely výrobních zařízení, pro zajištění možností prostorové dosažitelnosti jednotlivých detailů zvoleným výrobním zařízením. Dalším krokem v technologické předvýrobní etapě, je zpracování výrobních podkladů, jako např. typy postupů, přípravků, časových norem a zejména CNC programů, kde budou vytvořené kinematické modely stroje a jeho přídatných zařízení použity jak, pro optimální návrh použitých výrobních zařízení, tak i pro simulaci vypočítaných drah nástroje v CAM systému a následné vyloučení kolizních stavů mezi jednotlivými členy soustavy S – N – O.

Kvalitní a produktivní technologická příprava výroby je do značné míry závislá na rychlé dostupnosti kvalitních výstupních dat, podle kterých je pak možno v časovém předstihu nastavit efektivní výrobní proces. Přesné 3D modely výrobních zařízení, které je možno snadným a rychlým způsobem bezprostředně použít při nasazení jednotlivých CAM obráběcích strategií, se pak stávají vysoce účinným nástrojem CNC programátora. Pro zajištění 3D modelů výrobních zařízení použitelných v CAM systému pro simulaci drah nástroje je nutné realizovat několik postupných kroků, které jsou popsány v jednotlivých kapitolách diplomové práce. Dále je možno pro řešení jednotlivých kroků tvorby 3D kinematicky aktivních modelů výrobních zařízení použít odlišné metody, které jsou vzájemně srovnávány zejména v kapitole technicko-ekonomické hodnocení.

Hlavním přínosem diplomové práce, bude rozšíření stávajících možností v technologické přípravě výroby ve společnosti Doosan Škoda Power o nový strategický nástroj, který se bude používat zejména v oddělení CNC programování rozměrově náročných nerotačních dílů parních turbín. Přímý dopad aplikace zpracovaných aktivních 3D modelů výrobních strojů lze očekávat i ve zvýšení efektivity využití finančně nákladných obráběcích strojů, přídatných zařízení, řezných a upínacích nástrojů v podmínkách kusového charakteru výroby.

## 3 Teoretická část – popis CAM systému, simulace v CAM

### 3.1 CAM systém

CAM systém tj. zkratka anglických slov Computer Aided Manufacturing, v překladu počítačová podpora výroby, je nejčastěji využíván pro vytvoření NC programu obráběcího stroje. CAM systémy do značné míry nahrazují svého předchůdce, a to ruční programování, kterým lze NC program vytvářet mimo stroj, nebo přímo na CNC stroji. NC program je následně ovládán řídicími systémy obráběcích strojů například: Fanuc, Heidenhain, Haas, Hurco, MillPlus, Okuma, Siemens nebo Yasnac. Hlavním úkolem CAM systému je efektivní vytvoření NC programu, pomocí výkonného výpočetního jádra a jsou určeny především pro počítačovou podporu výroby. První používání CAM systému se objevilo v leteckém a automobilovém průmyslu. Obráběcí NC programy vycházejí z konstrukčního řešení součástky, která je nejčastěji vytvořena v CAD systému.

Nasazení CAM systému za účelem zpracování programu je opodstatněné, od relativně jednoduchých součástí, až po tvarově složité, vysoce přesné součásti mnohdy z těžkoobrobitelných materiálů. Jako typické zástupce obrobků, kde je využití možností CAM systémů vysoce efektivní, v mnoha případech až nepostradatelné s ohledem na výslednou cenu produktu, je možno uvést např. lopatky energetických strojů, formy a zápustky pro vstříkovací a kovací lis, kloubní a kostní implantáty nebo zubní náhrady.

Rozdělení obráběcího procesu z hlediska počtu současně řízených os charakterizuje jeho základní operace, 1 – osé pro CNC vrtačky, 2 – osé pro CNC soustruhy, 2,5 – osé pro CNC frézky, pro které jsou k dispozici jednodušší CAM systémy. Operace, ve kterých je potřeba řídit dráhu nástroje současným pohybem 3 – 5 os obráběcího stroje, je nutné použít složitější a technicky vyspělejší CAM systémy. V případě víceosého obrábění, je nutné dále rozlišovat souvislé a indexové obrábění. U indexového způsobu řízení dráhy nástroje, má vektor nástroje konstantní směr v rámci uceleného úseku NC programu například: vrtání obecně prostorově orientovaného otvoru. U souvislého 4 – osého nebo 5 – osého řízení dráhy nástroje, je plynulá změna směru vektoru osy nástroje umožněno současným řízením lineárních a rotačních os. Některé systémy umožňují další technologické operace, a to například: řezání drátem, vodním paprskem, plasmou a laserem nebo elektroerozivním obráběním.

Některé CAM systémy nižších tříd mají vlastní CAD jádro, které však nemusí vždy vyhovět náročným požadavkům uživatele. Jednoduchá CAD jádra lze najít například u systémů FeatureCAM, Kovoprog nebo GibbsCAM. Jednotlivé CAM systémy jsou popsány v příloze diplomové práce. Nedostatek méně výkonného CAD jádra lze odstranit kombinací s výkonnými CAD systémy, prostřednictvím univerzálních datových formátů jako DXF, STEP, IGES. Převodem dat CAD systému do obecného výměnného formátu, však dojde ke ztrátě historie vzniku modelu a možností parametrické změny jednotlivých vlastností objektu. Změna zaoblení, zkosení či dalších jednoduchých prvků se stává obtížnější. Nejpočetnější skupinu CAM tvoří CAMy bez vlastního CAD jádra (HSMWorks nebo SolidCAM). Jejich vývoj se zaměřuje jen na proces obrábění. Integrují se do již funkčních CAD systémů. Tím odpadá potřeba vkládání modelů z jiných programů a ztráta historie tvorby modelu. Velké systémy (CATIA, ProEngineer, NX) obsahují plnohodnotné CAD i CAM moduly.



## 3.2 Simulace

Simulace je vyhledávanou funkcí moderních CAM systémů. Umožňuje zobrazení zvoleného procesu obrábění, včetně například polotovaru, obrobku, nástrojové sestavy či upínacích elementů. U složitějších obráběcích procesů je simulace nepostradatelnou součástí navrhované strategie obrábění. Nejčastěji jsou využívány fotorealistická a čárová simulace. Fotorealistická simulace zobrazuje na počátku polotovar a postupně odhaluje odebrání materiálu obráběcím nástrojem. Čárová simulace zobrazuje dráhy nástroje pomocí barevně označených čar. Další možností je kompletní simulace stroj-nástroj-obrobek. Tato simulace nabízí celkový pohled na proces obrábění i s obráběcím strojem. Jedná se však o složitější postup při programování.

Počítačová simulace slouží také jako optimalizace dráhy nástroje. Během simulace se zobrazuje obrobek a pohyby vykonávající nástroj. Lze takto odhalit kolize řezného nástroje a upínače s obrobkem, případně se strojem. Po ukončení simulace je možno odhalit podříznutí nebo nedoříznutí obráběných ploch obrobku. Pomocí výsledku simulace lze porovnat obrobený tvar s požadovaným tvarem obrobku. Verifikací se rozumí srovnání obrobeného a dosaženého tvaru. Verifikace za pomoci několika druhů barev zobrazuje odchylky jednotlivých ploch obrobeného modelu od ploch modelu obrobku.

CAM systémy nabízí několik úrovní simulací. Nejjednodušší simulaci představuje řezný nástroj a obrobek. Dále lze k řeznému nástroji připojit držák a k obrobku upínky. Nejobsáhlejší simulace se zaměřuje na simulaci celého stroje. Takto lze kontrolovat kolize mezi strojem a obrobkem. S vyššími nároky na simulaci je obtížnější nastavení veškerých parametrů potřebných k obrábění. Zároveň stoupají požadavky na CAM systémy. Pro přesnější informace ohledně výrobních časů lze nastavit limitní rychlosti posuvů, zejména pro přejezdy nástroje mimo vlastní řezný proces.

Simulace kontroluje veškeré obráběcí operace před vygenerováním NC programu a jeho spuštěním na obráběcím stroji. Hlavním úkolem simulace je kontrola a vylepšení naprogramované obráběcí technologie, čímž se předejde dalším problémům v samotné výrobě. Modul simulace řeší kolizní stavy dříve, než je program spuštěn na stroji, to snižuje případné náklady vzniklé řešením kolizních stavů přímo na stroji ve výrobě.

## 3.3 Catia V5

Program CATIA patří mezi světovou špičkou v oblasti CAD/CAM/CAE technologií. Program byl vyvinut francouzskou firmou Dassault Systemes. Je používán prakticky v každém průmyslovém odvětví. Pomocí odborných a kvalifikovaných informací CATIA splní veškeré cíle ve virtuálním modelování, obrábění, pevnostních výpočtech a dalších operacích. Velikou výhodou je možnost rychlé aplikace změny a opravy modelu podle vygenerovaných výsledků. Lze vytvořit několik variant nebo měnit finální design, což zapříčiní efektivnost výroby daného výrobku. CATIA se mimo jiné vyznačuje jednoduchým a přehledným uživatelským prostředím. Velkou výhodou současné konstrukční činnosti a tvorby výrobní technologie v CAD/CAM systému je nejen možnost parametrického modelování v CAD oblasti, ale i možnost několika způsobů návazného parametrického CAM programování. V nezávislosti na použité způsoby parametrizace CAD modelu a CAM programu, lze dosáhnout velmi vysoké produktivity práce konstruktéra a technologa. Nedílnou součástí je modelování, tvorba sestav, generování výkresů, volné modelování ploch, které můžeme následně vyhlazovat a rendrovat. Analýza namáhání slouží spíše pro konstrukční řešení modelu. Program přináší propojení návrhu, modelování a následného

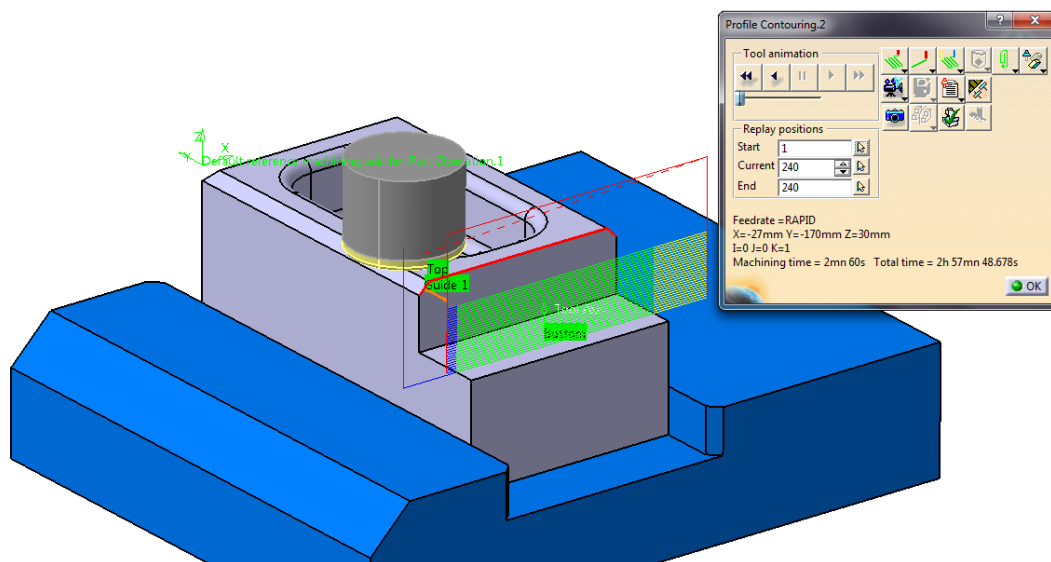
digitálního modelu. Nabízí také hybridní modelář, který spojuje plošné a objemové části v jeden model.

CATIA má vysoké využití v oblasti CAM, kde prokazatelně dosahuje výborných výsledků simulací NC obrábění. Program umožňuje obrábění 2,5 – osé až po multi-axis. Při simulaci procesu obrábění je zde jako nadstavba základní simulace možnost použít předem vytvořené 3D modely virtuálního CNC stroje.

### 3.3.1 Simulace CATIA V5

#### 3.3.1.1 Čárová simulace

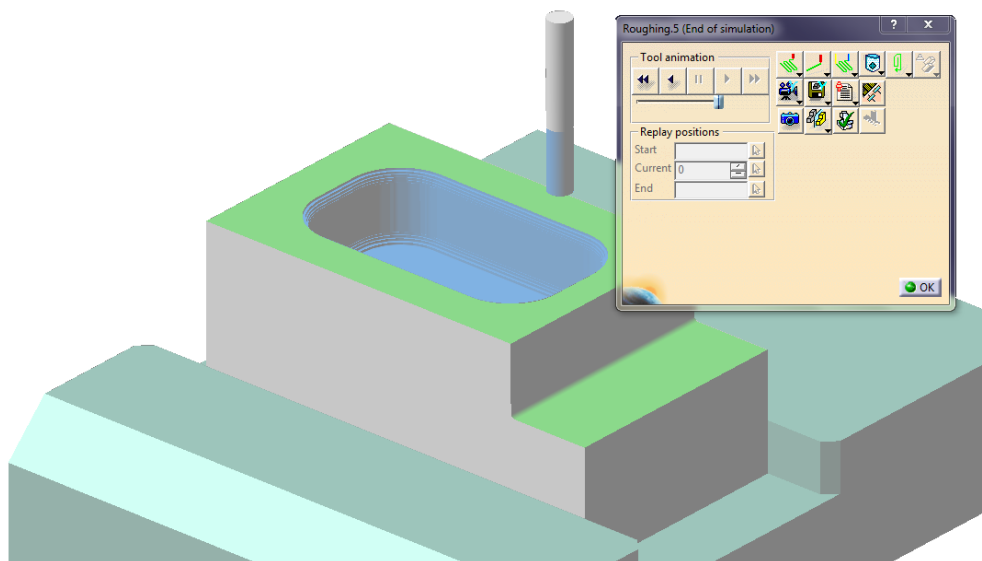
Čárová simulace zobrazuje dráhy nástroje pomocí barevně označených čar. Každá barva má vlastní specifikum. Žlutá barva označuje nájezd nástroje do řezu (Approach). Modrou je označen odjezd nástroje od materiálu (Retract). Rychloposuvy značí barva červená. Samotné obrábění obrobku nástrojem je značeno barvou zelenou. Simulaci lze spustit plynule nebo krokově. Machining time udává čas řezného procesu obrábění. Total time zobrazuje celkový čas obrábění včetně časů nájezdů.



Obr. 1 Čárová simulace – ukázka

#### 3.3.1.2 Fotorealistická simulace

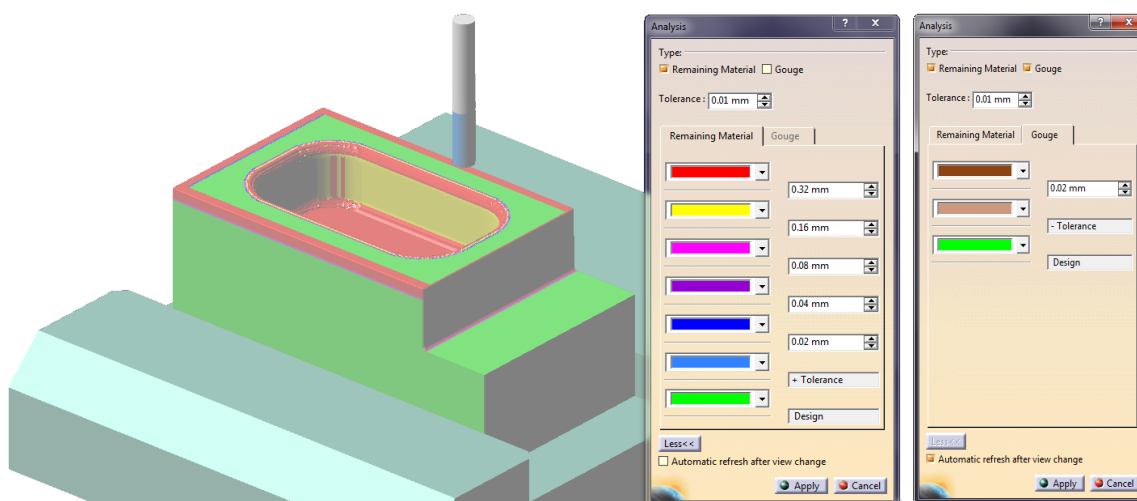
Během fotorealistické simulace lze odhalit kolizní stavy nástroje s dalšími členy simulace. Vlivem použití různých druhů řezných nástrojů jsou obrobené plochy odděleny odlišnými barvami.



Obr. 2 Fotorealistická simulace – ukázka

### 3.3.1.3 Verifikace obrobených ploch

Pro vyhodnocení obrobených ploch se využívá verifikace. Výsledek nastaveného procesu odebrání materiálu je zobrazen pomocí barev, které značí odchylky obrobených ploch od ploch původního modelu obrobku. Lze zhodnotit, jak odchylky kladné, tak i záporné (podřezání nástrojem). Podřezání je pod textem zobrazeno v pravé tabulce, zatímco levá tabulka zobrazuje kladné hodnoty. Zelená barva značí shodu mezi odebraným materiálem a plochou výchozího modelu.



Obr. 3 Analýza obrobku – ukázka

Další možností simulace v programu CATIA je využití modulárního systému Machining, s jeho podsystémy NC Machine Tool Simulation a NC Machine Tool Builder. Pomocí obou modulů lze vytvořit kinematický model obráběcího stroje s pohyby ve všech osách, který následně slouží k detekci kolizních stavů mezi všemi prvky simulace (stroj-nástroj-obrodek).

### 3.3.2 Oblasti použití CATIA

Lze s jistotou říci, že oblast použití systému CATIA je velice rozsáhlá a využívá se téměř ve veškerých průmyslových odvětvích.

#### Letecký průmysl



Obr. 4 Letadlo [9]

CATIA je prakticky využívána ve většině světových leteckých společnostech, jak civilního, tak i vojenského letectva a dále i v kosmickém odvětví, kam řadíme například satelity a družice.

*Boeing, Airbus, Bombardier, Cesna, Antonov a Embraer*

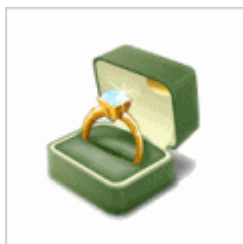
#### Automobilový průmysl



Obr. 5 Automobil [9]

CAD/CAM systém francouzské společnosti Dassault Systemes se stal strategickým nástrojem automobilových výrobců z celého světa, kteří se zabývají produkcí užitkových, nákladních a závodních vozů, autobusů i motocyklů. *Toyota, BMW, VW, Škoda Auto, Mercedes, Scania, Iveco, Toyota, Ford, Renault, Volvo a další.*

#### Průmysl spotřebního zboží a elektronika



Obr. 6 Prsten [9]

Digitální mockup, virtuální prototypy a správa výrobních dat ve společnosti, to jsou jen některé způsoby, jak mohou výrobci spotřebního zboží těžit výhody z širokého spektra produktů, které řešení PLM nabízí.[9] *Electrolux, Husqvarna, Black & Decker, Philips a další.*

#### Ostatní použití



Obr. 7 Robot [9]

Další použití systému CATIA je v mnoha odvětvích strojí výroby těžké i lehké, stavebnictví, zemědělství a mnoha dalších aplikovaných oblastech. Své uplatnění najde také v energetice, ať už v modelování nebo simulaci procesů. Stejný způsob, jako je v automobilovém průmyslu najdeme i v lodním. Můžeme vidět využití v komerčních i vojenských plavidlech. Představitelé tohoto využití jsou *Škoda Power a Škoda Transportation.*

### 3.3.3 CATIA – modulární systémy

Je nabízeno několik modulů, které se mohou postupně doplňovat. Lze takto sestavit kombinace jednotlivých modulů, které se budou nadále využívat v konkrétním typu výrobního podniku. Skládáním jednotlivých modulů přesně podle potřeb dané společnosti, lze dosáhnout efektivity v implementovaném řešení a ušetřit finanční prostředky.



Obr. 8 Znak 1 [9]

#### **Mechanical Design – Mechanická konstrukce**

Slouží především pro 3D objemové modelování, které se nachází pod názvem Part Design. Dále je zde několik modulů pro běžnou práci konstruktéra. Například: Sestava (Assembly Design), Skicář (Sketcher), Práce s plechy (Sheet Metal Design), Tvorba výkresů (Drafting) a další.



Obr. 9 Znak 2 [9]

#### **Shape Design & Styling Solution – Tvarování a styling**

Využívá se pro vytvoření obalových ploch. Shape postačí i pro složité plochy a jejich následující modifikace. Tento modul najde uplatnění především v automobilovém průmyslu, například pro návrh karoserie.



Obr. 10 Znak 3 [9]

#### **Product Synthesis – Syntéza produktu**

Nástroje Znalostní Sada (Knowledgeware) mění předpokládané metody výpočtu do jednoznačné znalosti za účelem získání optimálního designu, zatímco nástroje DMU (Digital Mock-Up) podporují komplexní přezkoumání a simulace pro rychlé a účinné inženýrské a procesní rozhodnutí.[41]



Obr. 11 Znak 4 [9]

#### **Equipment and System Engineering Solution– Vnitřní zařízení a systémy**

Zde uživatel nalezne pomůcky pro elektrické zařízení, kabelových svazků a kabelových rozvodů. Může se zde také provádět analýza kapalných a elektrických systémů.



Obr. 12 Znak 5 [9]

#### **Analysis Solution – Inženýrské analýzy**

Pro konstruktéry určený produkt, který metodou konečných prvků provádí pevnostní analýzy. Může se aplikovat, jak na jednotlivé modely, tak i na sestavy. Pomocí těchto analýz lze vyhodnocovat napětí, vibrace nebo tepelné zatížení na modelu.



Obr. 13 Znak 6 [9]

#### **Machining – NC obrábění**

Je odborný CAM pro vytvoření numerických řídicích dat pro počítačově řízené výrobní technologie. K tomu dojde na základě geometrie CAD modelů.



Obr. 14 Znak 7 [9]

#### **Infrastructure Solution– Infrastruktura systému**

Slouží jako převodník mezi CATIA a dalšími formáty. Nabízí také výměnu dat mezi verzemi CATIA.

### 3.3.4 CATIA – Machining: NC obrábění

Pomocí CATIA Machining lze snadno simulovat, optimalizovat a plánovat obráběcí procesy před zahájením skutečné výroby. To je hlavním důvodem jejího použití. Je řízen špičkovými technologiemi a postupně vylepšováno zpětnou vazbou zákazníka.

Optimalizované pojezdy nástroje a redukovaný čas obrábění - Produkty CATIA V5 NC nabízejí širokou sadu flexibilních vysokorychlostních obráběcích operací, například koncentrické obrábění, Z-úrovňové frézování, frézování šroubových drážek a 5ti-osé tvarové obrábění a zároveň minimalizuje čas běhu stroje.[41]



Lathe Machining – Soustružení



Prismatic Machining – Frézování 2 a 2,5 - osé



Surface Machining – Frézování 3 - osé



Advanced Machining – Frézování více osé (5 – osé)



NC Manufacturing Review



STL Rapid Prototyping



NC Machine Tool Simulation – Simulace obráběcích strojů

Simulace pohybu NC stroje dle zadaných strategií obrábění a zároveň provádí detekci kolizních stavů strojů mezi nástrojem a obrobkem.



NC Machine Tool Builder - Nástroj na tvorbu virtuálních strojů

Tvorba kinematického modelu NC stroje se všemi druhy pohybů ve všech osách.

### 3.3.4.1 CATIA – Soustružení

CAM systémy podporují několik zmíněných druhů obrábění. Jednou z nejčastějších obráběcích operací je soustružení. Soustružení je využíváno převážně pro obrábění rotačních součástí. Při klasickém soustružení se nástroj pohybuje ve dvou osách. V ose X, která je kolmá na osu Z, ta koná nástroj přísv. Osa Z je ve směru obrobku. Pohyb v této ose je znám jako posuv nástroje. Nejčastěji prováděné operace při soustružení jsou hrubování, dokončovací operace, zapichování, vrtání v ose obrobku, závitování nebo upichování.

Po zhotovení obrobku a polotovaru je nutné zvolit vhodnou strategii obrábění. Následuje definice nástroje a k tomu vhodné řezné podmínky. Nastavuje se řezná rychlost, rychlost posuvu, hloubka řezu, typy odjezdů a nájezdů nástroje nebo přídatky na obrábění a další.

### 3.3.4.2 CATIA – Frézování

Frézovací operace jsou vytvářeny od 2,5 až po 5 – osé obrábění. V následující kapitole jsou popsány některé druhy frézovacích operací. U všech operací je nutné nastavit tloušťku obráběné vrstvy, řezné podmínky, strategii obrábění, nájezdy a odjezdy nástroje, druh nástroje a další. Před vytvořením obráběcího programu je nezbytné nastavit tzv. Part Operation. Ukázka nastavení s popisem je pod odstavcem.

## 3.4 Reverzní inženýrství

Reverzní inženýrství je zpětné vymodelování součástí bez dostupné technické dokumentace. Lze ho tudíž nazývat zpětným inženýrstvím. Jedná se o proces zkoumání hmotného tělesa s cílem odhalení principu funkčnosti hodnoceného modelu. Cílem je vytvořit velice podobnou součást. Využívá se nejen ve strojním průmyslu, ale i v architektuře či vojenském průmyslu.

### *Běžný postup výroby součásti*



### *Reverzní inženýrství*



### 3.4.1 Dotykové snímání

Principem je kontakt mezi snímacím zařízením (měřicí sonda) a měřeným povrchem. Kontaktní snímání je velice přesné a dosahuje přesnosti 0,01 – 0,001 mm. Snímací zařízení (doteky) se liší dle materiálu, oblasti použití a tvaru (kulička, půlkulový, válcový atd.). Snímání je prováděno na měřicích strojích nebo je vedeno ručně (méně přesné). Měření se provádí na souřadnicovém měřicím stroji.

### 3.4.2 Optické snímání

Součást je snímána objektivem, který má pevnou ohniskovou vzdálenost. Objektiv vykonává pohyb směrem k měřené součásti a v každém kroku zaznamenává její tvar. Snímání je bezdotykové.



Obr. 15 Měřicí doteky [42]

Obr. 16 Optická sonda [42]

### 3.4.3 Laserové snímání

Je 3D skenování za pomoci laser paprsku. Výstup z 3D skeneru je mrak bodů nebo STL polygonová síť. Je zde dosaženo vysoké přesnosti a rychlosti snímání bodů, což se liší vlastnostmi použitých měřicích zařízení (až 19 000 bodů/sekundu).

Další metody snímání jsou méně používané. Pomocí triangulace je počítána poloha dotyku u ultrazvukového snímání. Destruktivní digitalizace slouží pro destruktivní měření vnitřní struktury tělesa. Těleso se postupně odfrézovává a je nenávratně poškozeno. Po každém přejetí tělesa je těleso snímáno a měřeno. Lze využít také rentgenové snímání. Tímto způsobem je měřena vnitřní struktura tělesa. Oproti destruktivní digitalizaci nedochází k poškození součásti.

## 3.5 Leica Laser Tracker (LLT)

Leica Absolute Tracker je mobilní optický CMM (“přenosný (Walk – Around) CMM”), který vypočítává 3D – polohu reflektoru z horizontálního úhlu, vertikálního úhlu a provádí měření vzdálenosti. Úhlová snímání se dělají s použitím kódovacích zařízení s vysokým rozlišením, zatímco vzdálenosti jsou určovány s použitím buď laserového interferometru nebo nejpřesnějšího měřidla absolutní vzdálenosti na světě (absolute distance meter – ADM). Absolute Tracker od



Leica Geosystems využívá laserový paprsek k tomu, aby přesně měřil a prováděl inspekci ve sférickém rozsahu do 50 m (160 m). Absolute Tracker dokáže shromažďovat 3D souřadnice třemi typy měření: Leica T – Probe (ruční, bezdrátový, kontaktní snímač), Laica T – Scan (bezdotykový, vysokorychlostní skener) a Reflektor (sledování malé zrcadlové koule). Volba použité metody měření záleží na daném typu měřicí operace.[7]

LLT má vlastní příslušenství. Pohledovou kameru, reflektor, meteostanici pro měření teploty, tlaku a vlhkosti. Pro měření sklonu laserového trackeru slouží digitální vodováha.

Výhody měřicího přístroje Leica:

- + možnost měření nadměrných těles (až 80 m)
- + flexibilita zařízení (lze přenášet)
- + rychlost měření až 2 500 bodů /s
- + malý vliv teplotních změn
- + nízký vliv vibrací
- + nejsou zapotřebí žádné stavební úpravy
- + měření lze provádět ze přímého slunečního světla, v blízkosti svařování nebo při prudce měnícím se okolním světle

Nevýhody měřicího přístroje Leica:

- cena měření a přístroje
- nutná práce dvou pracovníků, aby byla zachována vysoká přesnost měření
- ruční měření
- přímá viditelnost (hmotné a velké kusy jsou často nepřístupné ze všech stran)
- klesající přesnost měření od 3m měřené délky



Obr. 17 Měřicí systém LLT [8]

### 3.5.1 Laserový Tracker

Senzorová jednotka čte prvotní úhly a vzdálenosti. Obsahuje laserový interferometr (IFM) a absolutní délkoměr (ADM), které jsou integrovány do společného modulu s názvem absolutní interferometr (AIFM). Laserový svazek paprsků je odchýlený sklopným zrcadlem do cíle reflektoru. Odražený svazek je snímán přijímačem a dvouosým fotosenzorem (PSD). Rozdíly PSD hodnot umožňují sledovací schopnost laserového trackeru Leica. [7]

Absolute Tracker umožňuje snadnou obsluhu jednou osobou. Jeho váha je 22 kg a výška 62 cm. Rychlý uvolňovací mechanismus bezpečně připojuje snímač na robustní a těžký tripod. Tím je získána spolehlivá stabilita, která je potřebná pro přesná měření. Celé zařízení lze naložit a přepravovat ve středně velkém vozíku. [7]



Obr. 18 Laser Tracker [7]

## Princip činnosti

V ideálním prostředí by laserový tracker spojil schopnost okamžitě obnovit přerušeny laserový paprsek a hned začít sledovat cíl. Zároveň by měřil absolutní vzdálenosti s nejvyšší přesností a byl by libovolně rychlý. Udržování integrační doby (čas potřebný k provedení matematických operací k určení polohy cíle) na minimum je základem při sledování pohyblivých cílů. [7]

Většina laserových trackerů k provedení úkolu používá měřidla absolutní vzdálenosti (ADM) nebo interferometry (IFM). ADM i IFM mají své silné i slabé stránky.

### A) IFM

IFM dokáže určit relativní vzdálenosti (např. změnu ve vzdálenosti od bodu k bodu) s přesností na úrovni nanometru s okamžitou aktualizací, která je limitována pouze rychlostí, kterou je pohybováno reflektorem. Je průmyslovým standardem více než 30 let a zůstává nejpřesnějším systémem k dispozici pro měření velkých vzdáleností. Avšak IFM dokáže měřit pouze relativní vzdálenosti a není schopen určit absolutní polohu ve 3D prostoru bez toho, aby měl známý počáteční bod. [7]

### B) ADM

ADM měří absolutní vzdálenosti (např. vzdálenosti k známému bodu ve 3D souřadnicovém systému) s mimořádnou přesností, ale dokonce ani nejrychlejší nemohlo nikdy dosáhnout přesnosti nebo rychlosti IFM pro dynamická měření. Přesnost ADM má konstantní hodnotu v celém měřicím rozsahu, dokonce i u vnější hranice měřicího rozsahu. [7]

### 3.5.2 ATController

ATController je řídicí jednotka Laserového Trackeru. Obsahuje systémy pro ovládání trackeru stejně jako potřebnou elektroniku k dekodování signálu z trackeru a jejich číselnou interpretaci. Obsahuje vlastní operační systém a firmware, který tvoří rozhraní mezi trackerem a měřícím softwarem. EmScon je systém, který běží v ATControlleru a pomocí vhodného rozhraní dokáže ovládat všechny základní funkce trackeru. [7]

### 3.5.3 T – Cam

Leica T – Cam je CMOS digitální kamerový systém pracující s viditelným světlem a blízko infračervené (IR) radiace s optickým vario zoomem a motorem pro vertikální, úhlový pohyb. Nasazený na Leica Absolute Tracker, Leica T – Cam průběžně sleduje cílové zařízení a zachycuje obrazy IR LED diod umístěných na nich. T – Cam přírůstkové úhlové kódovací zařízení se používá k zabezpečení vertikálního, úhlového pohybu T – Cam podle naváděcích úhlů trackeru. [7]

Reflektor integrovaný v cílovém zařízení spolu se souborem desíti IR LED diod vsazených na povrchu cílového zařízení reprezentují měřící cíle systému. Šest měřících parametrů kompletně popisuje cílové zařízení ve spojení s laserovým sledovacím systémem. Jsou to tři parametry polohy („x“, „y“ a „z“) a tři parametry orientace (délka, šířka a výška). Spolu tvoří princip šesti stupňů volnosti (Six Degrees of Freedom - 6DOF). Tyto parametry jsou určovány Leica Absolute Tracker-em (poloha) a Leica T – Cam-em (orientace). [7]

Vario zoom pro Leica T – Cam udržuje velikost cílového zařízení jako viditelnou konstantu CMOS snímače, řešící takto největší problém, kterému předtím čelily fotogrammetrické systémy. Systémy nebyly schopny sledovat cíle kvůli měnící se velikosti sledovaného objektu vnímané kamerou. [7]

Cílová zařízení vysílají pulzující infračervené světlo známé vlnové délky a CMOS kamera využívá clonu, která zajišťuje stejnou frekvenci, jako je ta, ve které pulzuje cílové zařízení. Tímto způsobem může efektivně “ignorovat” všechny další zdroje světla kromě samotného cílového zařízení. [7]



Obr. 19 T – Cam [7]

### 3.5.4 T – Probe

Bezdrátový dotykový snímač je efektivní a vysoce flexibilní mobilní řešení pro bodové snímání skrytých nebo těžko dostupných míst s minimálním časem na přípravu a bezkonkurenční přesností. Dotykový snímač obsahuje jeden reflektor a 10 infračervených diod. Reflektor slouží na přesné odměření polohy snímače v prostoru. Na rozdíl od kulového reflektoru jsou však v tomto případě pomocí kamery snímány i infračervené diody, pomocí kterých je systém schopen určit také přesné natočení snímače v prostoru. Tento princip dává obsluze tzv. 6 stupňů volnosti (6DOF), které umožňují velmi snadné navádění snímače na potřebné místo a flexibilní a rychlé měření. [7]



Obr. 20 T – Probe [7]

### 3.5.5 T – Scan

T – Scan senzor je triangulační laser s přidaným optickým skenerem, který způsobuje laterální odchylky laserového paprsku. Skener rozšiřuje jednorozměrný lineární měřicí rozsah do dvojdimenzionálního. T – Scan senzor má měřicí rozsah přibližně  $\pm 39$  mm. Použitelná šířka laserové čáry je přibližně 90mm. [7]

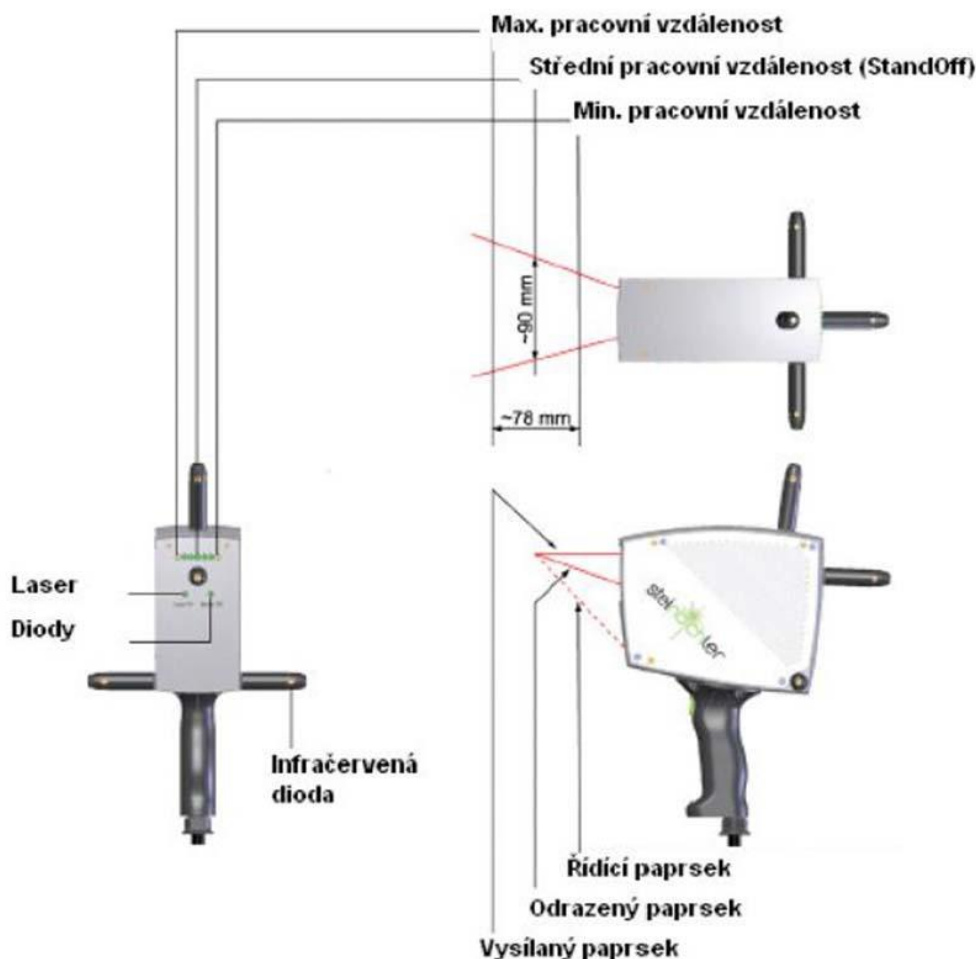


Obr. 21 T – Scan [7]

Sběr dat se začíná pomocí spouště na rukojeti senzoru. Senzor má tzv. řídicí laserový paprsek jako pomoc při polohování skeneru. Řídicí paprsek protíná laserovou čáru ve střední pracovní vzdálenosti. (Střední vzdálenost je 80 mm od krytu skeneru.) Pokud je řídicí paprsek pod čarou, měřicí vzdálenost je moc malá, pokud je paprsek nad čarou, vzdálenost je moc velká. Senzor je také opatřen LED diodami, které indikují vzdálenost senzoru od měřeného objektu, a také stav laseru a infračervených diod. [7]

K zjištění polohy senzoru v prostoru je senzor vybaven sadou infračervených diod, které jsou sledovány pomocí kamer v optotraku. [7]

T-Scan senzor je schopen měřit 2D data (vzdálenost a polohu) s rychle se pohybujícím rozmítaným bodem, který pro lidské oko utváří laserovou čáru. V kombinaci s 6D daty ze sledovacího systému optotraku poskytuje 3D informaci o skenovaném objektu v prostoru. [7]

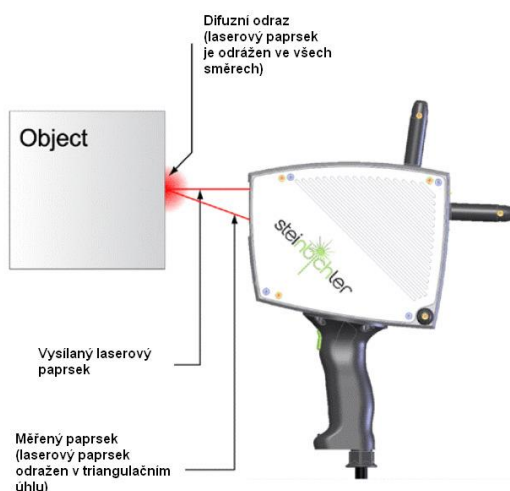


Obr. 22 T – Scan, popis měření [7]

## Princip činnosti

Princip T – Scan senzoru je založen na triangulaci. Skener vysílá laserový paprsek ve formě rozmítaného laserového bodu (laserové čáry), který se odráží do všech směrů od skenovaného povrchu. Odražený paprsek, který vnikne zpět do skeneru pod triangulačním úhlem, je pomocí optických čoček nasměrován do optického detektoru, pomocí kterého je stanovena vzdálenost. [7]

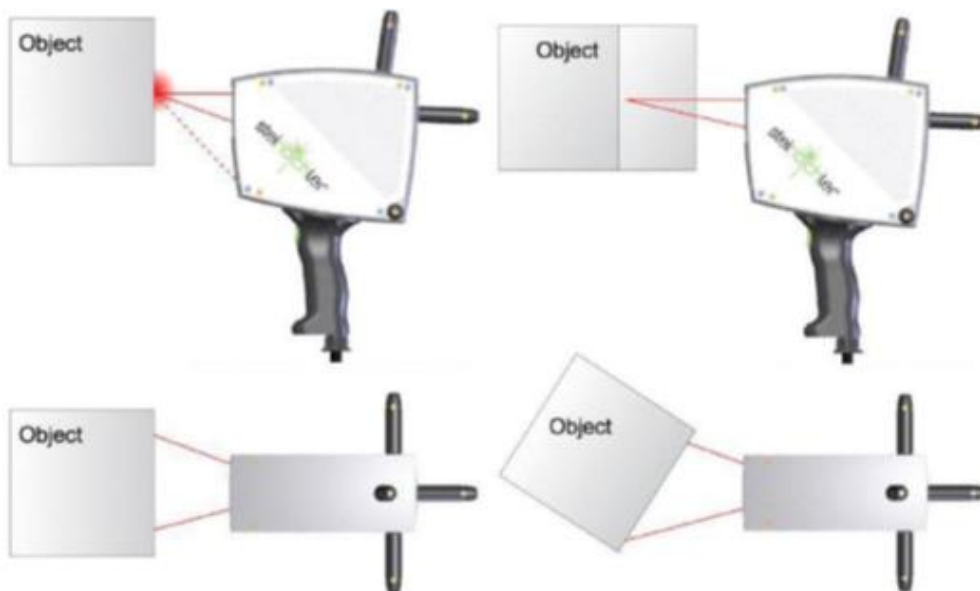
Nejlepší povrch pro skenování je difúzně odrazivý povrch, kterým neprochází světlo. Méně vhodné jsou reflexní povrchy, kde laserový paprsek není odražen difúzně nebo povrchy, kterými prochází světlo. Díky jedinečné technologii rozmítaného laserového paprsku je T – Scan senzor schopný automaticky nastavit výkon laseru v každém bodě laserové čáry a zabezpečit tak co nejhodnější odražený paprsek v optickém detektoru senzoru. Proto je T – Scan senzor schopný měřit také méně vhodné optické povrchy bez jakéhokoliv zmatňování. [7]



Obr. 23 Princip činnosti T – Scan [7]

## Orientace k povrchu

Pro správné měření s T – Scan senzorem by měl být laserový paprsek namířen kolmo na měřený objekt. Při tomto nastavení je laserový paprsek optimálně odrazen zpět do senzoru a T – Scan poskytuje maximální přesnost. [7]



Obr. 24 Vpravo – nevhodná orientace k povrchu, Vlevo – optimální orientace k povrchu [7]

### A) Překážka odraženého paprsku

Překážka odraženého paprsku znamená přerušení odraženého paprsku na cestě zpět do senzoru. Tento jev vzniká hlavně na hranách objektu. Zamezit přerušení paprsku je možné rotací senzoru. [7]



Obr. 25 Překážka odraženého paprsku [7]

### ***B) Úplný odraz***

Za určitých podmínek může odrazivý povrch odrazit laserový paprsek úplně. Když úhel odrazu je stejný, jako úhel dopadu, může tzv. úplný odraz ovlivnit výsledky měření. Optický přijímač je tehdy ozářen a nemůže přesně detekovat správnou pozici bodu. Vhodným polohováním senzoru je možné předejít úplnému odrazu. [7]



Obr. 26 Úplný odraz [7]

### **3.5.6 Reflektor**

Reflektor je zařízení nejčastěji kulovitěho tvaru přesných rozměrů, které v sobě obsahuje systém zrcadel nebo jiných odrazových ploch k odrazení přijatého laserového paprsku zpět do trackeru. Existuje několik druhů reflektorů, které se liší velikostí (1,5“;0,5“) nebo použitým materiálem (CCR, TBR). [7]



Obr. 27 Reflektor [7]



## 3.6 Popis frézovacích zařízení

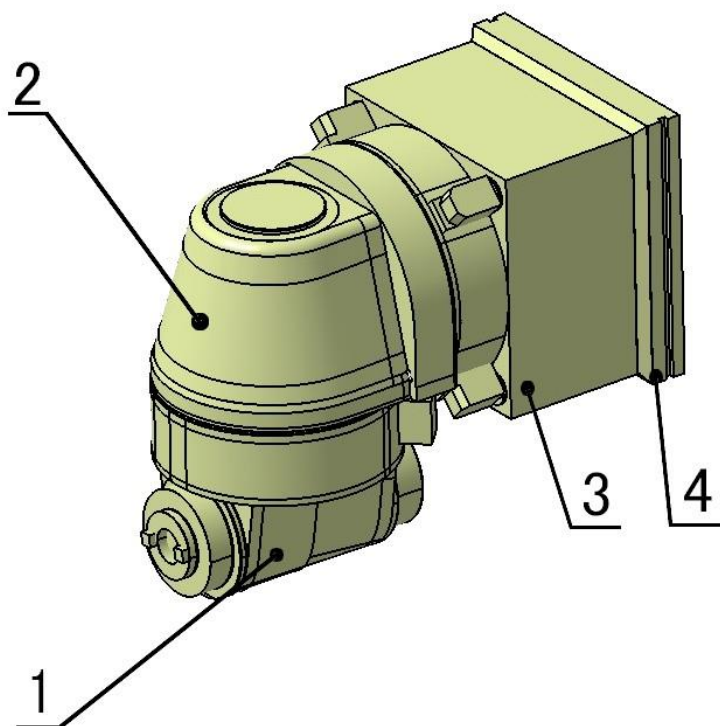
### 3.6.1 Frézovací zařízení IFVW 207 E

Frézovací zařízení je určeno pro frézovací a vrtací operace na vodorovných vyvrtávacích a frézovacích strojích. Skládá se z tělesa vřetene, skříň, nástavku a příruby. Těleso vřetene se natáčí po  $1^\circ$  v 360 úhlových polohách kolem osy kolmé na osu vřetene stroje v rozsahu  $0-360^\circ$ . Skříň se natáčí i s tělesem vřetene do 360 úhlových poloh po  $1^\circ$  kolem osy vřetene stroje. Příruba zajišťuje spolehlivé spojení zařízení se strojem. Frézovací zařízení se upíná na čelo pinoly stroje automaticky. [6]

Natáčení v obou osách je umožněno pomocí Hirthovo spojky. Uvolnění spojky mezi nástavkem a skříň je zajištěno výsuvem vrtacího vřetene stroje a spojky mezi skříň a tělesem vřetene hydraulicky. Pro zpevnění spojky slouží hydraulika se svazky talířových pružin. [6]

Vřeteno je opatřeno kuželovou dutinou 7:24 velikosti ISO 50. Uvolňování nástroje se provádí automaticky za pomoci hydrauliky. Upínání zajišťuje svazek talířových pružin. Vřeteno je poháněno vrtacím vřetenem stroje přes unášec a dva kuželové převody. Ve vřeteně je zabudován přívod chladicí kapaliny pro ochlazení nástroje při obrábění. Kuželová dutina je ofukována tlakovým vzduchem. [6]

Zařízení je vybaveno vnitřním rozvodem ochranného tlakového vzduchu, který zabraňuje vniknutí prachu, nečistot a chladicí kapaliny dovnitř zařízení. Ložiska, převody, těsnění, labyrinty a mechanismy jsou mazány tukem. [6]



#### Popis:

- 1 – těleso vřetene
- 2 – skříň
- 3 – nástavek
- 4 – příruba

Obr. 28 Frézovací zařízení IFVW 207 – Popis



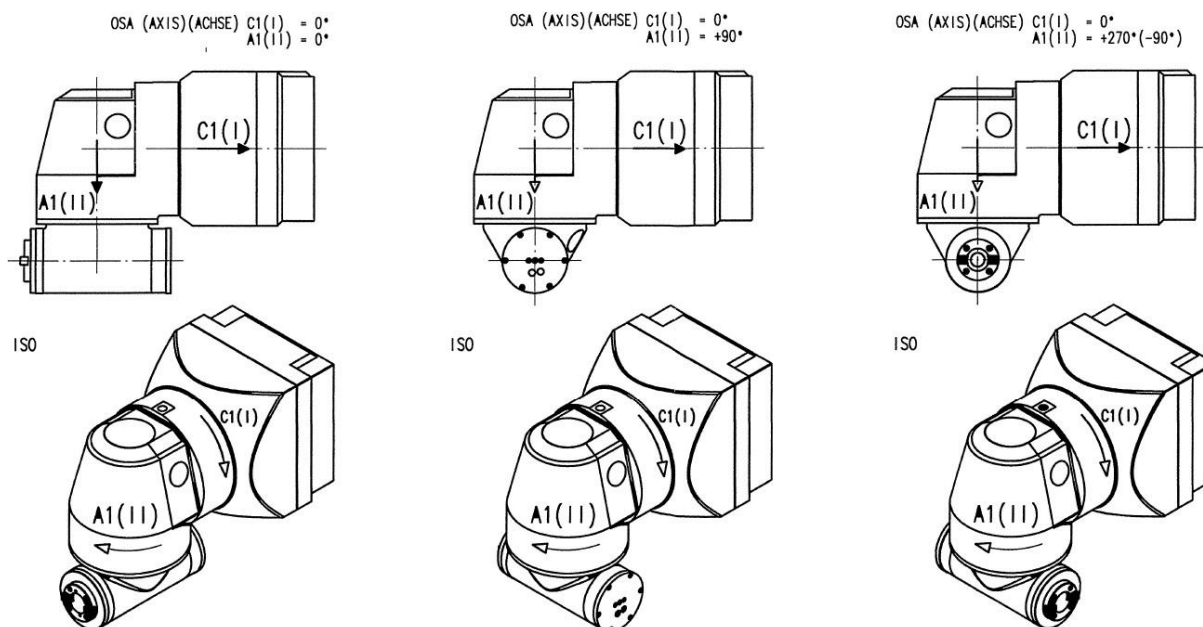
### 3.6.1.1 Technické parametry zařízení

Maximální výkon od 200 ot.min <sup>-1</sup>	55 kW
Maximální krouticí moment do 200 ot.min <sup>-1</sup>	2 600 Nm
Maximální otáčky vřetene zařízení	2 500 ot.min <sup>-1</sup>
Převod otáček mezi vřetenem stroje a vřetenem zařízení	1:1 i
Velikost kuželové dutiny ve vřetenu zařízení	ISO 50
Stopka nástroje	DIN 69871
Rozsah natočení obou os zařízení	0-360°
Počet poloh natočení obou os zařízení 360	360x1°
Hmotnost zařízení	±1250 kg
Automatické upínání nástroje	ANO
Chlazení nástroje osou i vnější	ANO
Rozvod ochranného vzduchu	ANO
Ofukování kuželové dutiny tlakovým vzduchem	ANO
Automatické upínání na stroje HCW	ANO

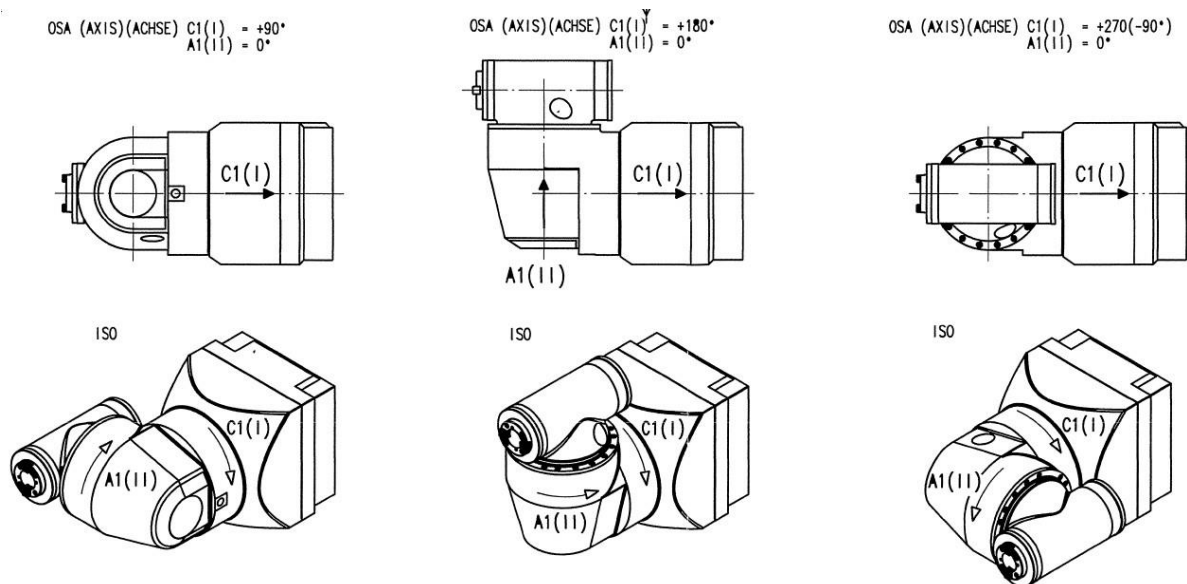
Tabulka 1 – Technické parametry – Frézovací zařízení IFVW 207[6]

### 3.6.1.2 Natáčení frézovací hlavy

Frézovací zařízení IFVW 207 E se může natáčet kolem osy vřetene stroje I (C1) a kolem osy II (A1), která je na ni kolmá. Nelze provádět současné natáčení obou os. Ovládání obou spojkek a natáčení zařízení do příslušných poloh je prováděno v automatickém cyklu. Natáčení obou os je prováděno pouze v jednom směru otáčení dle pravidla pravé ruky (viz. obrázky pod textem). [6]



Obr. 29 Natáčení frézovací hlavy (207) – Osa A1 [6]



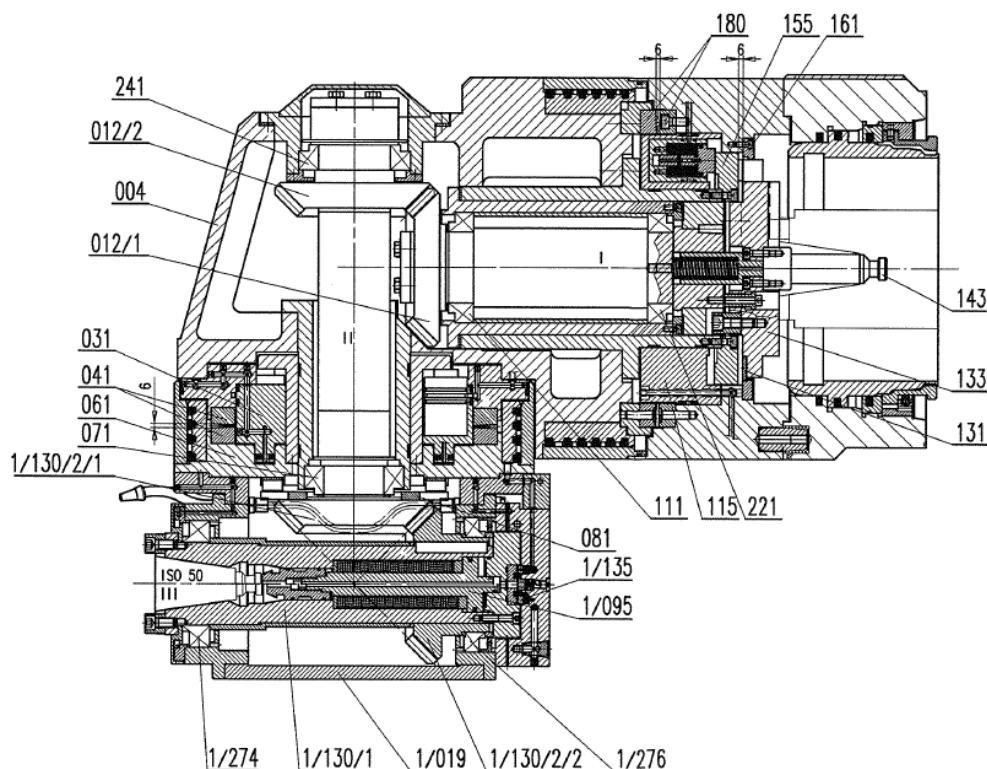
Obr. 30 Natáčení frézovací hlavy (207) – Osa C1 [6]

### Natáčení kolem osy I (C1)

Skříň (004) se může natáčet spolu s tělesem vřetene (1/019) do 360 úhlových poloh po 1° kolem osy I (C1). Natáčení je realizováno pomocí Hirthovy spojky (180), která je zpevňována v nastavené poloze hydraulickým tlakem a svazky talířových pružin. Rozpojení Hirthovy spojky je prováděno výsuvem vrtacího vřetene stroje. Před rozpojením musí být unášec (133) natočen do správné úhlové polohy vůči kamenům v kotouči (155) a hydraulický okruh pro zpevňování spojky uvolněn. Pro rozpojení spojky se výsuvem vrtacího vřetene o 6 mm z pracovní polohy zasunou drážky unášeče (133) do kamenů kotouče (155), dalším výsuvem o 6 mm dojde k rozpojení spojky. Po té lze zařízení natočit vrtacím vřetenem stroje do jedné z 360 úhlových poloh. Ke zpevnění spojky dojde po zasunutí vrtacího vřetene zpět do pracovní polohy a natlakováním okruhu pro zpevnění spojky. [6]

### Natáčení kolem osy II (A1)

Samotné těleso vřetene (1/019) se může natáčet do 360 úhlových poloh po 1° kolem osy II (A1). Natáčení je realizováno pomocí Hirthovy spojky (041), která je zpevňována v nastavené poloze hydraulickým tlakem a svazky talířových pružin. Rozpojení Hirthovy spojky je prováděno hydraulickým tlakem. Před rozpojením musí být unášec (081) natočen do správné úhlové polohy vůči kamenům v tělese (061) a hydraulický okruh pro zpevňování spojky uvolněn. Při rozpojování spojky se zasunou kameny v tělese (061) do drážky unášeče (081). Po té lze zařízení natočit vrtacím vřetenem stroje do jedné z 360 úhlových poloh. Ke zpevnění spojky dojde po uvolnění tlaku v okruhu pro uvolnění a natlakování okruhu pro zpevnění. [6]



Obr. 31 Frézovací zařízení IFVW 207 – Řez [6]

### Hirtova spojka

Je pevná spojka pro spojení převážně dutých hřídelů. Na obou čelech spojovaných částí je ozubení. To klade vysoké nároky na přesnost výroby. V mnoho případech jsou k sobě hřídele osově stlačovány šroubem. Tyto spojky vynikají snadnou montáží a demontáží, jsou vhodné pro přenos ohybových momentů.

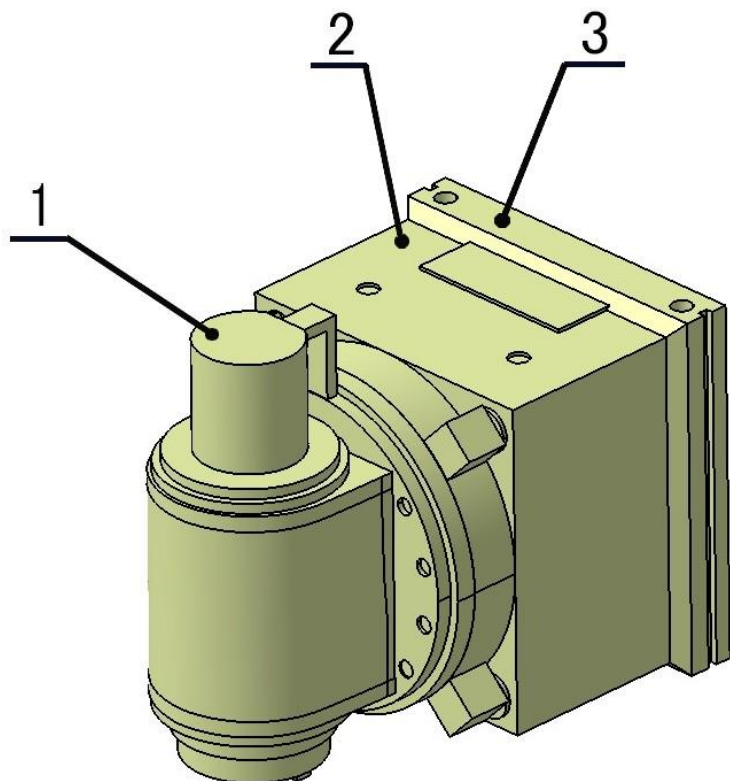
### 3.6.2 Frézovací zařízení IFVW 103 E/60

Tato frézovací hlava je určena pro frézovací a vrtací operace na vodorovných vyvrtávacích a frézovacích strojích. Skládá se z tělesa vřetene, nástavku a příruby. Těleso vřetene se natáčí do 360 úhlových poloh po 1° kolem osy vřetene stroje v rozsahu 0 - 360°. Příruba zajišťuje spojení zařízení se strojem. [6]

Natáčení tělesa vřetene je provedeno pomocí Hirthovy spojky. Uvolnění spojky mezi nástavkem a tělesem vřetene je zajištěno výsuvem vrtacího vřetene stroje. Zpevnění spojky je hydraulické v kombinaci se svazky talířových pružin. [6]

Vřeteno je opatřeno kuželovou dutinou 7 : 24 velikosti ISO 60 pro nástroj dle DIN 69871. Upínání a uvolňování nástroje se provádí automaticky. Upínání zajišťuje svazek talířových pružin, uvolňování je provedeno hydraulicky. Vřeteno je poháněno vrtacím vřetenem stroje přes unášče a jeden kuželový převod. Je vybaveno přívodem chladicí kapaliny pro chlazení nástroje osou vřetena a vnějším chlazením nástroje pomocí ohebných hadic. Kuželová dutina je ofukována tlakovým vzduchem. [6]

Zařízení je vybaveno vnitřním rozvodem ochranného tlakového vzduchu, který zabraňuje vniknutí prachu, nečistot a chladicí kapaliny dovnitř zařízení. Ložiska, převody, těsnění, labyrinty a mechanismy jsou mazány tukem. Frézovací zařízení se upíná na čelo pinoly stroje automaticky. [6]



**Popis:**

- 1 – těleso vřetene
- 2 – nástavek
- 3 – příruba

Obr. 32 Frézovací zařízení IFVW 103 – Popis

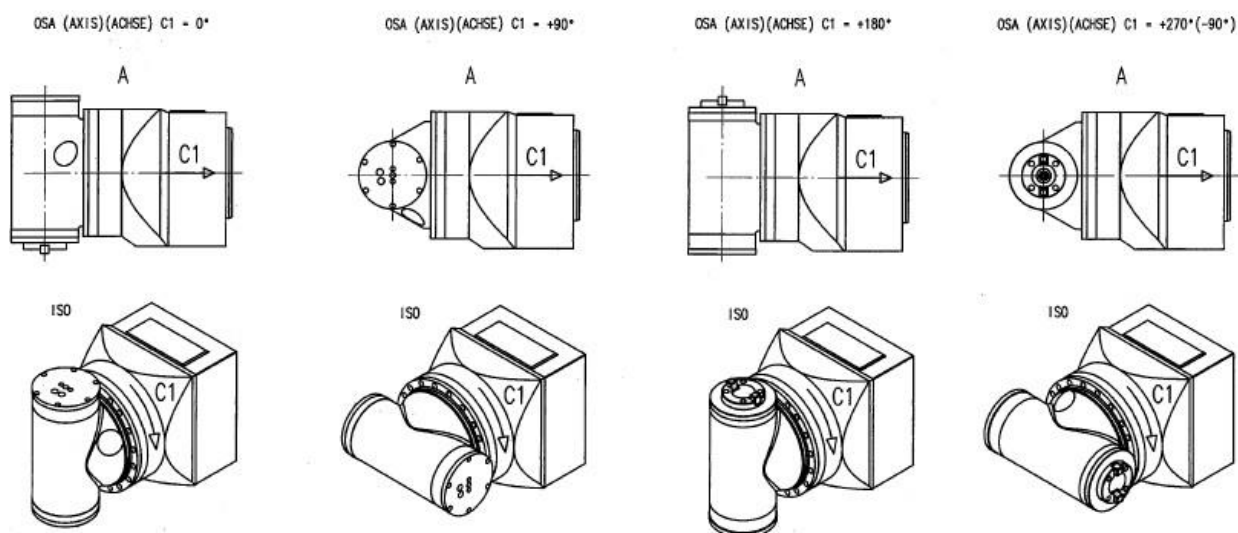
**3.6.2.1 Technické parametry zařízení**

Maximální výkon od 160 ot.min <sup>-1</sup>	67 kW
Maximální krouticí moment do 160 ot.min <sup>-1</sup>	4 000 Nm
Maximální otáčky vřetene zařízení	2 500 ot.min <sup>-1</sup>
Převod otáček mezi vřetenem stroje a vřetenem zařízení	1:1 i
Velikost kuželové dutiny ve vřetenu zařízení	ISO 60
Stopka nástroje	DIN 69871
Rozsah natočení osy zařízení	0-360°
Počet poloh natočení osy zařízení	360x1°
Hmotnost zařízení	864 kg
Automatické upínání nástroje	ANO
Chlazení nástroje osou i vnější	ANO
Rozvod ochranného vzduchu	ANO
Ofukování kuželové dutiny tlakovým vzduchem	ANO
Automatické upínání na stroje HCW	ANO

Tabulka 2 - Technické parametry – Frézovací zařízení IFVW 103 [6]

### 3.6.2.2 Natáčení frézovací hlavy

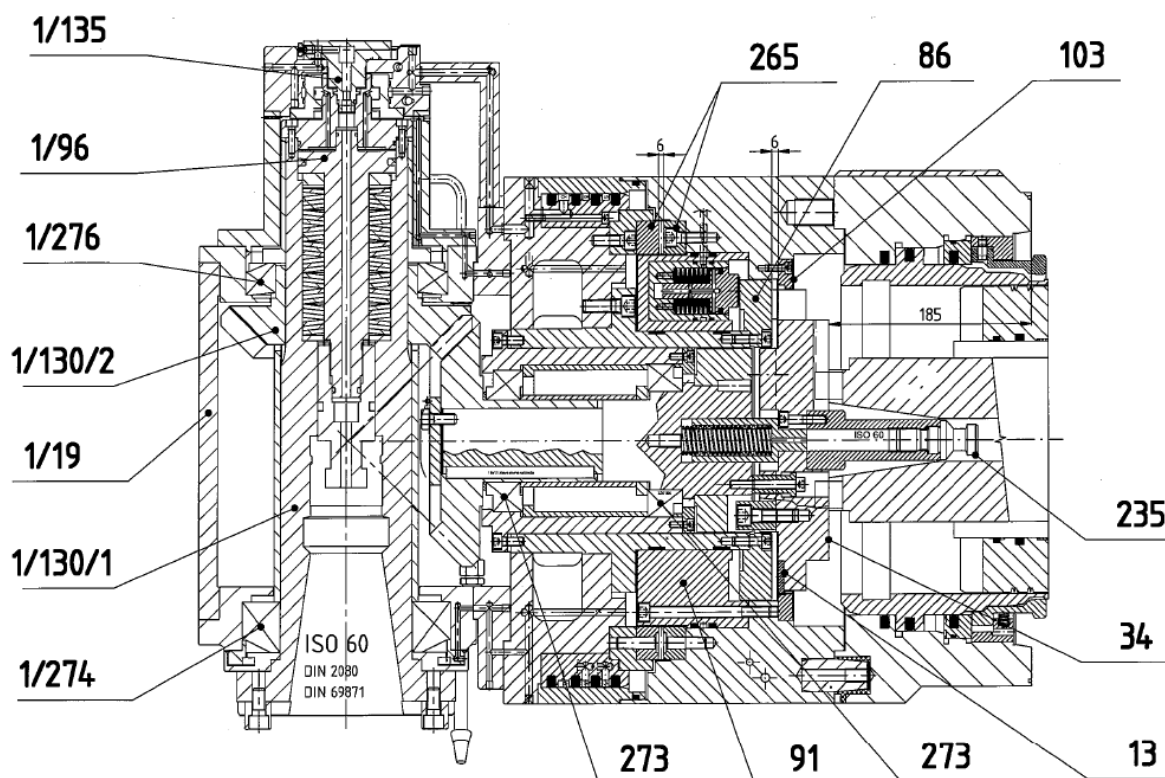
Frézovací zařízení IFVW 103 E/60 se natáčí kolem osy vřetene stroje (I, C1). Ovládání spojky a natáčení zařízení do příslušných poloh je prováděno v automatickém cyklu. Natáčení hlavy je prováděno pouze v jednom směru otáčení dle pravidla pravé ruky, jak ukazují šipky na ose I (C1). Viz obr [6]



Obr. 33 Natáčení frézovací hlavy (103) – Osa C1 [6]

#### Natáčení kolem osy I (C1)

Těleso vřetene (1/019) se natáčí do 360 úhlových poloh po 1° kolem osy I (C1). Natáčení je realizováno pomocí Hirthovy spojky (265), která je zpevněna v nastavené poloze hydraulickým tlakem a svazky talířových pružin. Rozpojení Hirthovy spojky je prováděno výsuvem vrtacího vřetene stroje. Před rozpojením musí být unášeč (034) natočen do správné úhlové polohy vůči kamenům v kotouči (086) a hydraulický okruh pro zpevnění spojky uvolněn. Pro rozpojení spojky se výsuvem vrtacího vřetene o 6 mm z pracovní polohy zasunou drážky unášeče (034) do kamenů kotouče (086), dalším výsuvem o 6 mm dojde k rozpojení spojky. Poté lze zařízení natočit vrtacím vřetenem stroje do jedné z 360 úhlových poloh. Ke zpevnění spojky dojde po zasunutí vrtacího vřetene zpět do pracovní polohy a natlakování okruhu pro zpevnění spojky. [6]



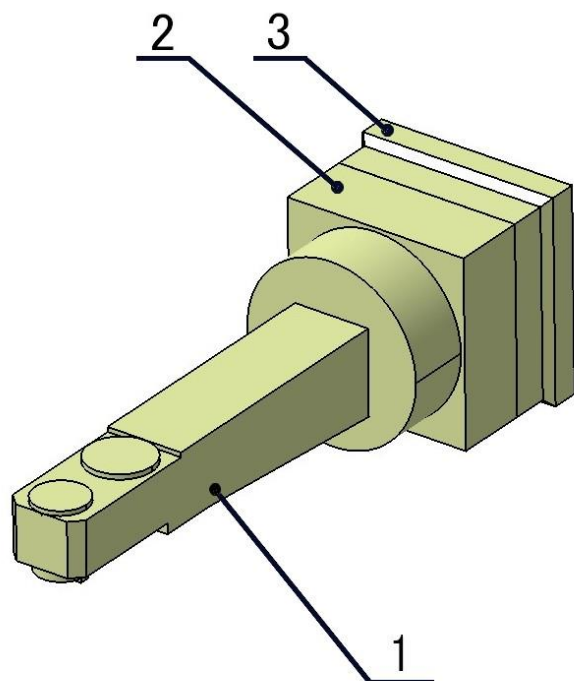
Obr. 34 Frézovací zařízení IFVW 103 – Řez [6]

### 3.6.3 Frézovací zařízení IFVW 112 E

Zařízení je určeno pro frézovací a vrtací operace na vodorovných vyvrtávacích a frézovacích strojích. Skládá se z tělesa vřetene, nástavku a příruby. Těleso vřetene se natáčí do 360 úhlových poloh po 1° kolem osy vřetene stroje v rozsahu 0 - 360°. Příruba zajišťuje spojení zařízení se strojem. [6]

Natáčení je provedeno pomocí Hirthovy spojky. Uvolnění spojky je zajištěno výsuvem vrtacího vřetene. Zpevnění spojky je hydraulické v kombinaci se svazky talířových pružin. [6]

Vřeteno je opatřeno kuželovou dutinou 7 : 24 velikosti ISO 50. Upínání a uvolňování nástroje se provádí ručně. Vřeteno je poháněno vrtacím vřetenem stroje přes unašeč, ozubené převody a kuželový převod. Frézovací hlava je vybavena přívodem chladicí kapaliny pro chlazení nástroje vně zařízení. Také je vybaveno vnitřním rozvodem ochranného tlakového vzduchu, který zabraňuje vniknutí prachu, nečistot a chladicí kapaliny dovnitř zařízení. Ložiska, převody, těsnění, labyrinty a mechanismy jsou mazány tukem. Frézovací zařízení se upíná na čelo pinoly stroje automaticky. [6]



**Popis:**

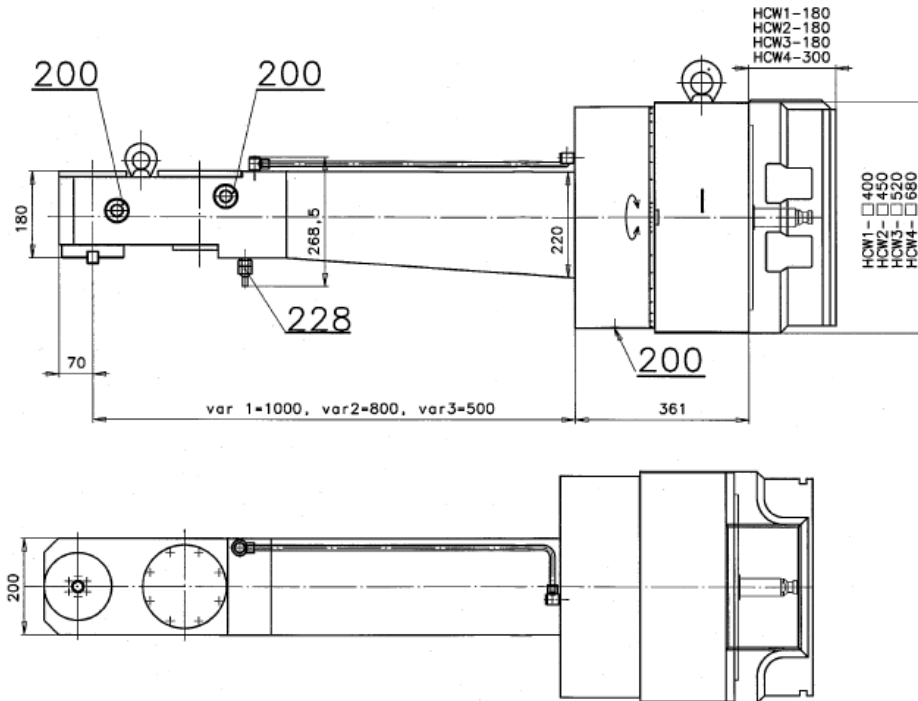
- 1 – těleso vřetene
- 2 – nástavek
- 3 – příruba

Obr. 35 Frézovací zařízení IFVW 103 – Popis

**3.6.3.1 Technické parametry zařízení**

Maximální výkon od 400 ot.min <sup>-1</sup>	25 kW
Maximální krouticí moment do 400 ot.min <sup>-1</sup>	600 Nm
Maximální otáčky vřetene zařízení	3 000 ot.min <sup>-1</sup>
Převod otáček mezi vřetenem stroje a vřetenem zařízení	1:2 i
Velikost kuželové dutiny ve vřetenu zařízení	ISO 50
Stopka nástroje	DIN 69871
Rozsah natočení osy zařízení	0-360°
Počet poloh natočení osy zařízení	360x1°
Hmotnost zařízení	625 - 1310 kg
Automatické upínání nástroje	NE
Chlazení nástroje osou	NE
Rozvod ochranného vzduchu	ANO
Ofukování kuželové dutiny tlakovým vzduchem	NE
Automatické upínání na stroje HCW	ANO

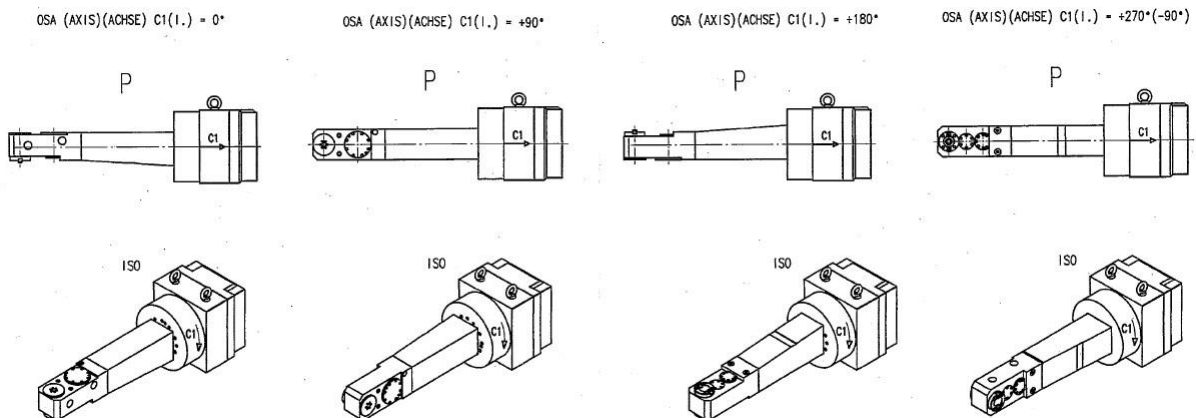
Tabulka 3 - Technické parametry – Frézovací zařízení IFVW 112 [6]



Obr. 36 Frézovací zařízení IFVW 112 – základní rozměry [6]

### 3.6.3.2 Natáčení frézovací hlavy

Frézovací zařízení IFVW 112 E se natáčí kolem osy vřetene stroje I (C1). Ovládání spojky a natáčení zařízení do příslušných poloh je prováděno v automatickém cyklu. Natáčení osy je prováděno pouze v jednom směru otáčení dle pravidla pravé ruky, jak ukazuje šipka na ose I (C1). [6]



Obr. 37 Natáčení frézovací hlavy (112) – Osa C1 [6]

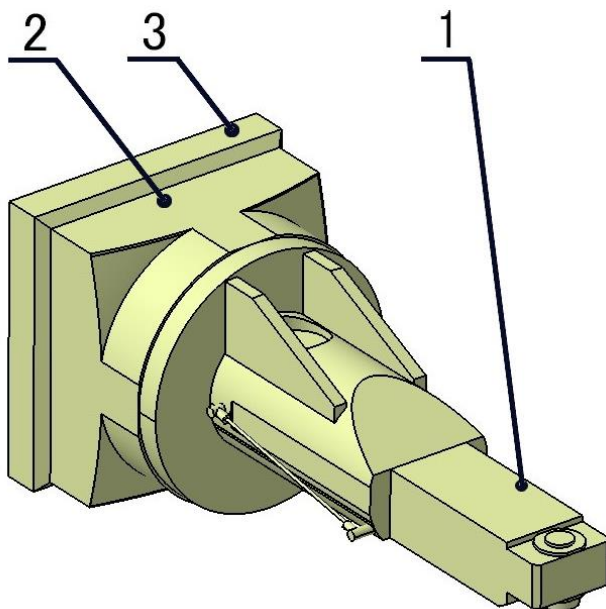
### Natáčení kolem osy I (C1)

Těleso vřetene se může natáčet do 360 úhlových poloh po 1° kolem osy I (C1). Natáčení je realizováno pomocí Hirthovy spojky, která je zpevnována v nastavené poloze hydraulickým tlakem a svazky talířových pružin. [6]



### 3.6.4 Frézovací zařízení PiboMulti

Jedná se o úhlovou frézovací hlavu. Hlavní části: vřetenové těleso, nástavek a příruba. Nastavení úhlové hlavy se provádí ručně, uvolněním T matice, pomocí imbusového klíče. Připojení k frézovacímu stroji je za pomoci příruby. Chlazení nástroje je zajištěno vnitřním i vnějším přívodem chladicí kapaliny.



#### Popis:

- 1 – těleso vřetene
- 2 – nástavek
- 3 – příruba

Obr. 38 Frézovací zařízení PiboMulti – Popis

Výstupní vřeteno	1xØ66 (ISO30)
Maximální výstupní otáčky	2 000 T/min
Maximální vstupní otáčky pro nepřetržitý provoz	1400 ot/min
Velikost kuželové dutiny ve vřetenu zařízení	ISO 50
Stopka nástroje	DIN 69871
Rozsah natočení osy zařízení	0-360°
Počet poloh natočení osy zařízení	360x1°

Tabulka 4 – Technické parametry – Frézovací zařízení PiboMulti [6]

## 4 Návrh řešení – model, technologie, tvorba makety stroje

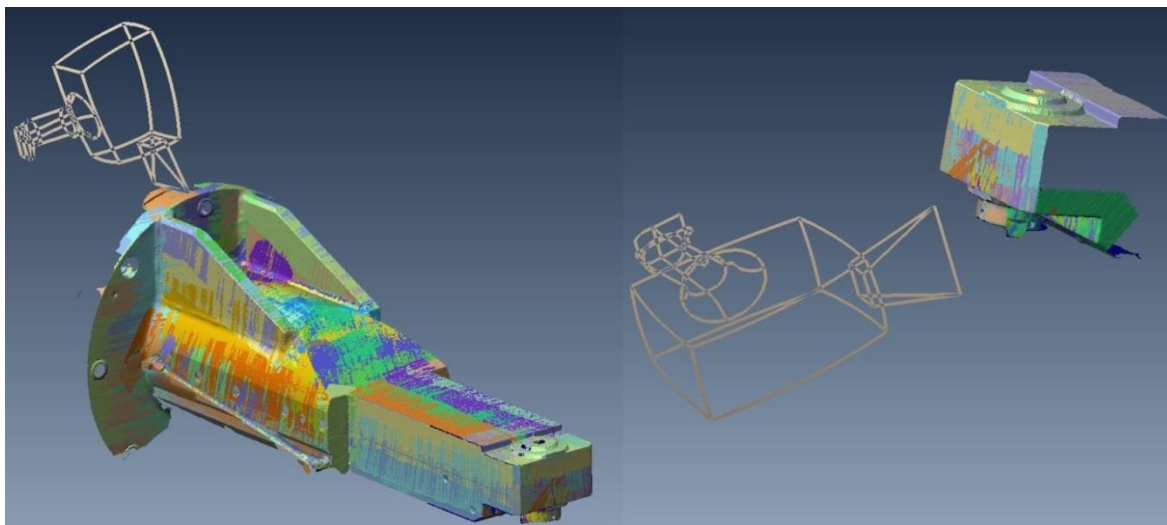
### 4.1 Postup rekonstrukce frézovacích zařízení

#### 4.1.1 PiboMulti

##### 4.1.1.1 Snímání zařízení – měření

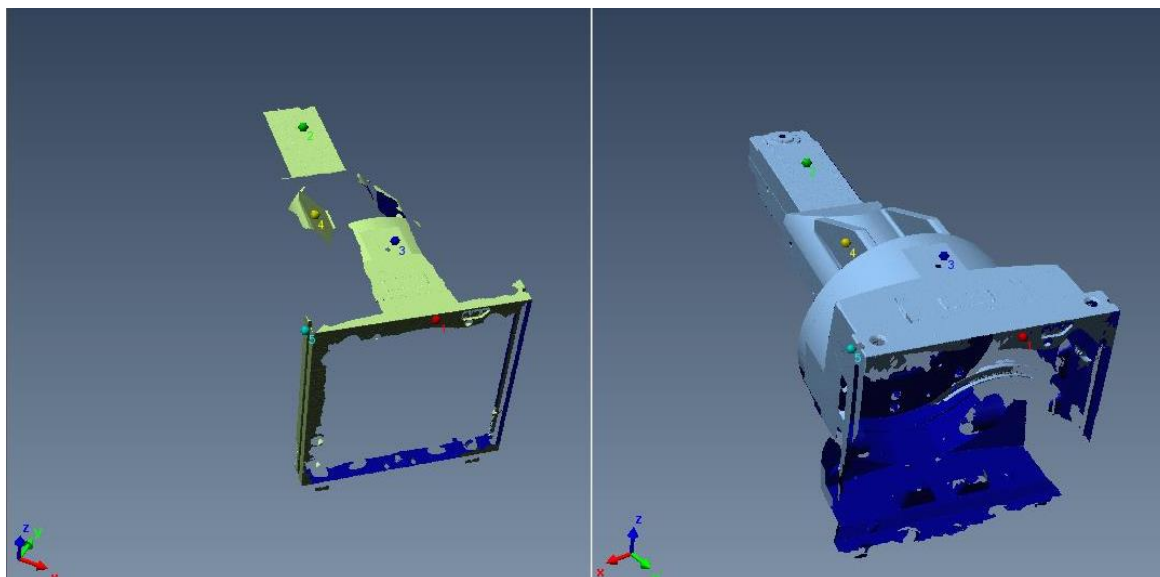
Postup rekonstrukce je popsána na frézovacím zařízením PiboMulti. Celkem bylo rekonstruováno pět frézovacích hlav. Jejich technické parametry jsou uvedeny v kapitole 3.6 (Popis frézovacích zařízení) diplomové práce. K rekonstrukci bylo použito skenovací zařízení

Leica Laser Tracker, popis a princip zařízení viz kapitola 3.5, pro získání mraku bodů a následné vytvoření STL modelu. Na obrázku 39 je ukázáno prostředí PolyWorks, které slouží ke skenování měřených těles.



Obr. 39 PolyWorks – Postup skenování

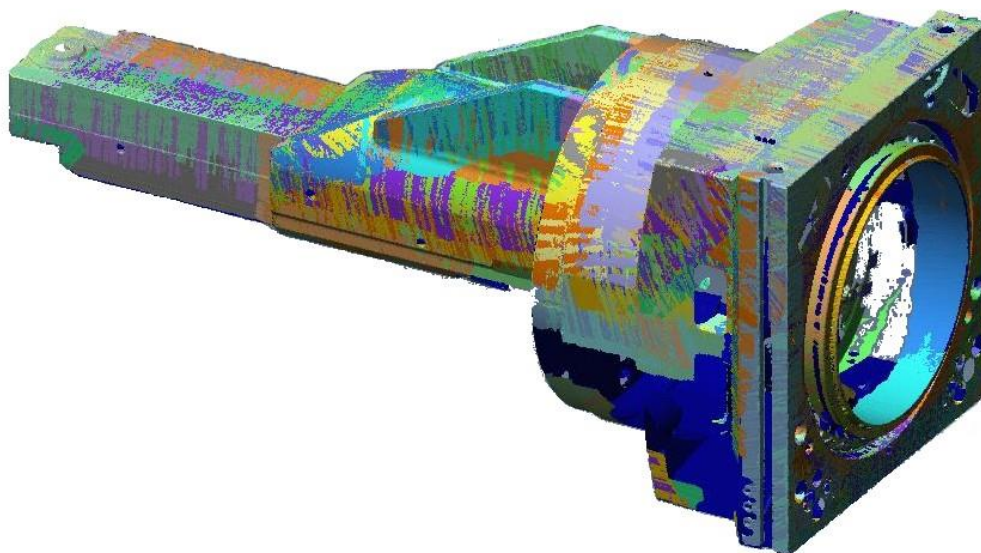
Pro získání kompletního modelu bylo nutno skenovat přední i zadní stranu frézovacího zařízení. Před začátkem skenování druhé strany otočeného kusu se nejprve skenovaly totožné plochy zařízení, aby došlo k vyrovnání modelu (mraku bodů). Na obrázku 40 jsou dva částečné modely. Vpravo je první strana skenovaného modelu, vlevo je sken určený pro vyrovnání modelu. Pět bodů byly označeny regulující plochy pro vyrovnání skenů. Program PolyWorks si po označení regulujících ploch provedl automatický přepočítání a našel totožné body obou skenů. Tím došlo k vyrovnání. Dále mohl začít sken druhé strany zařízení.



Obr. 40 Otáčení skenovaného modelu

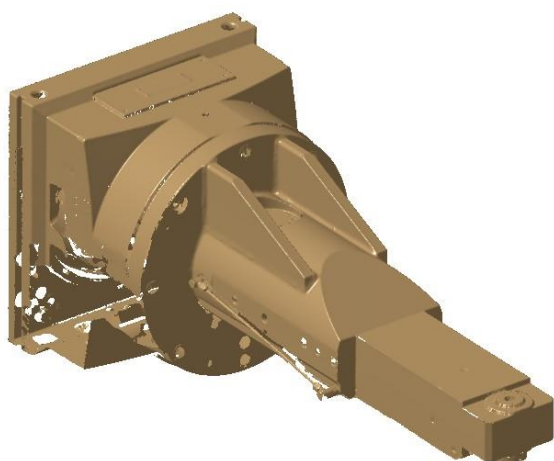
Výsledný model je složen z mnoha skenů. Skeny jsou na obrázku odlišené barevně a v některých místech se překrývají. Takto vznikne plná plocha složená z mraků bodů. Po snímání následuje vytvoření STL sítě. Přepočítání se provádí v programu PolyWorks. Výsledkem je

polygonální model složený z prostorových skenů pokrytých trojúhelníkovou sítí. Tím je získán plošný model součásti. Takto vytvořený model ve formátu STL je kompatibilní s programem CATIA V5R20.

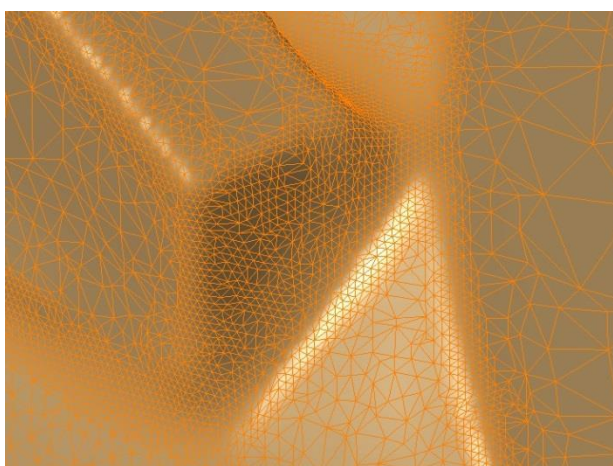


Obr. 41 PolyWorks – výsledný model

STL model byl dále otevřen v CAD/CAM systému CATIA V5R20. Na počátku byla vytvořena nová součást a následovalo přepnutí do modulárního systému Shape. V Shape byly postupně použity tři podsystémy. K přečtení a zpracování výstupního formátu (digitalizovaná data) po skenování slouží Digitized Shape Editor, který pracuje s formátem STL. Na levém obrázku 42 je výsledný model připravený k rekonstrukci. Na obrázku 42 je k vidění trojúhelníková síť, která pokrývá celé naměřené těleso. Hustota sítě se liší dle složitosti povrchu. Na rovné a rozsáhlé ploše jsou trojúhelníky sítě podstatně větší, než na nerovných plochách. V rozích modelu a u složitějších tvarových ploch je hustota sítě několikrát větší. K tomuto dochází z důvodů zachování přesnosti sítě.



Obr. 42 STL model – PiboMulti

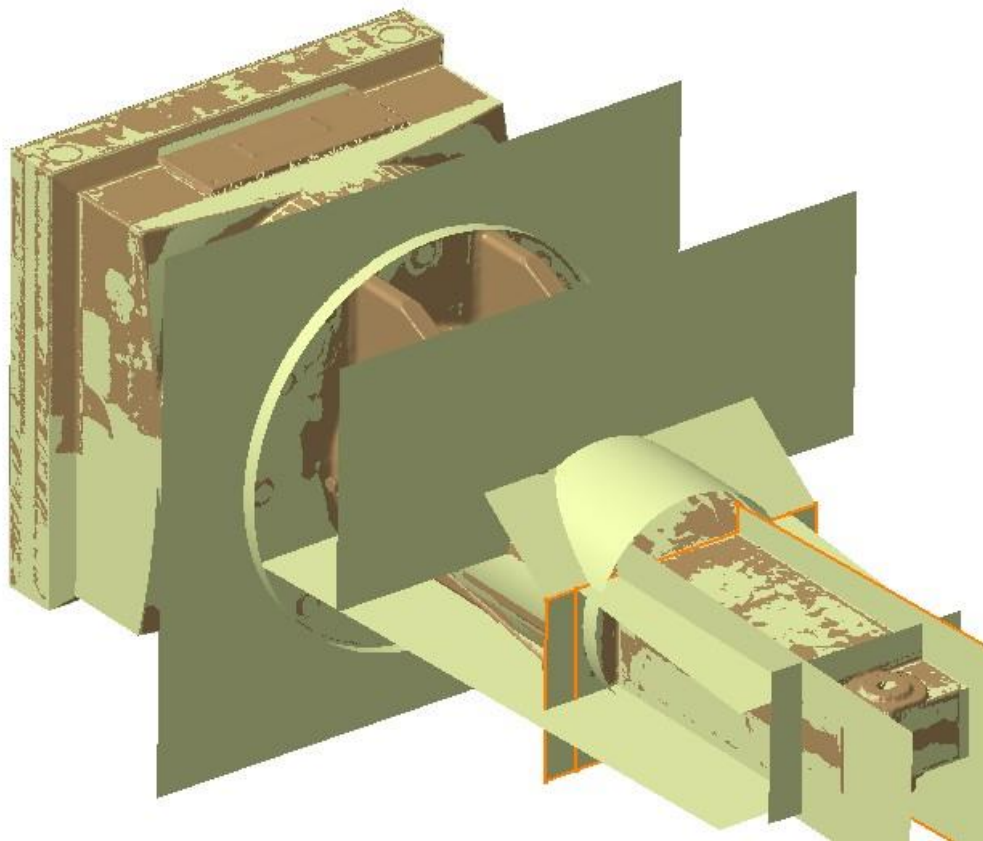


Obr. 43 Trojúhelníková síť

#### 4.1.1.2 Rekonstrukce ploch modelu

Takto připravená data byla použita k rekonstrukci ploch. Samotná rekonstrukce frézovacího zařízení byla provedena v Quick Surface Reconstruction a Generative Shape Design. Před začátkem rekonstrukce modelu bylo nutné promyslet její postup. Zde bylo důležité brát ohledy na to, z kolika součástí se model skládá, jaké části jsou pohyblivé a jaké jsou pevné. V rámci diplomové práce bylo skenováno několik frézovacích zařízení a vždy se jednalo o poměrně jednoduché tvary. To umožnilo použití základních prvků pro vytvoření ploch, jako jsou rovinná plocha, kulová plocha, válcová plocha nebo kuželová plocha v modulu Quick Surface Reconstruction.

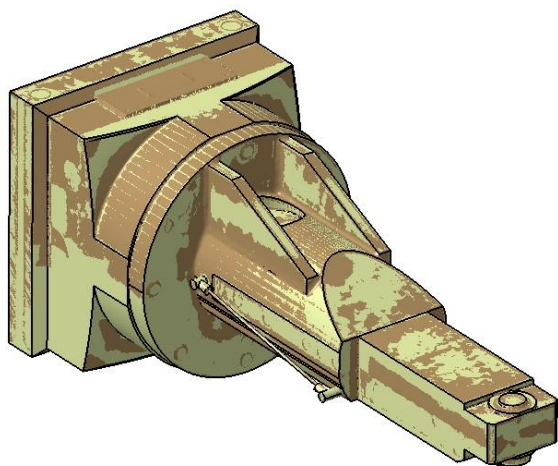
K výběru dat slouží nástroj Activate. Tímto nástrojem byla vždy vybrána jen určitá část oblasti, která byla následně nahrazena automatickou plochou. Při každém vybrání plochy byla snaha aktivovat co nejvíce dat, a to z důvodu snahy přiblížit se co nejvíce ke skutečné ploše. Když takto byly vymodelované dvě plochy, které se vzájemně protínaly, byly dále ořezány. K této operaci slouží nástroj Split nebo Trim. Celý plošný model byl vytvořen prokládáním rovin a jejich ořezáním. Po ořezání ploch byly plochy pomocí příkazu Join spojeny v jedno těleso.



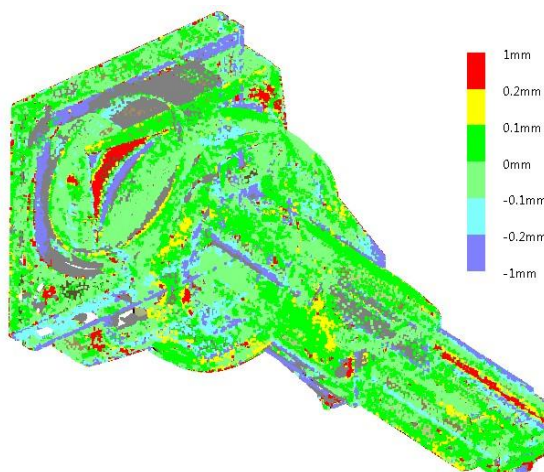
Obr. 44 Prokládání ploch – PiboMulti

Pro jednoduchou vizuální kontrolu slouží pouze prolínání ploch vytvořených v Catia a naskenovaného STL modelu viz obrázek 45. Pro podrobnější kontrolu odchýlení modelovaných ploch od naskenovaného modelu slouží analýza viz obrázek 46. U analýzy lze nastavit toleranční pole, které je členěno rozdílnými barvami. Na obrázku je vidět odchylka +1mm (značeno červeně). Odchylka je na rozích nástavku, kde pro celkovou simulaci nemá patřičnou vážnost. Tato analýza slouží spíše jako orientační a nelze z ní vyvozovat konečná rozhodnutí.

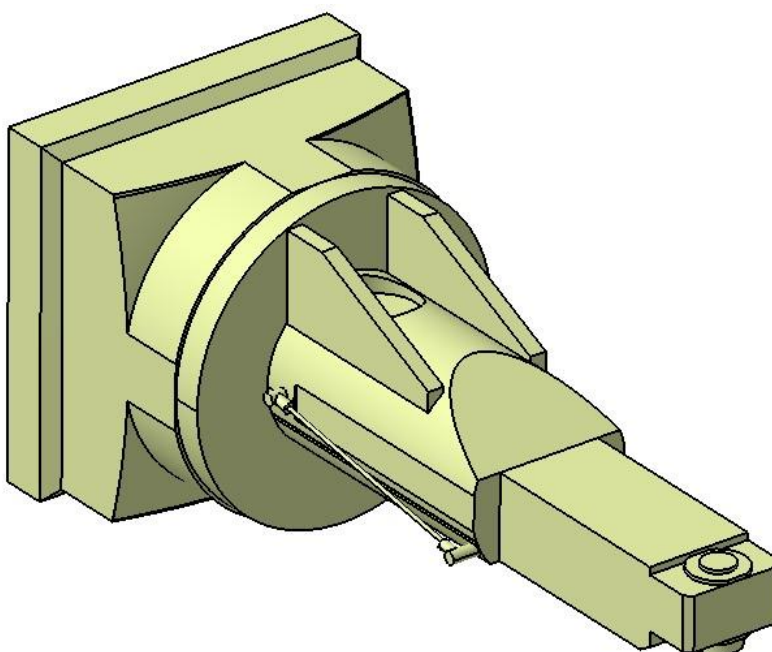




Obr. 45 Vizuální kontrola modelu – PiboMulti



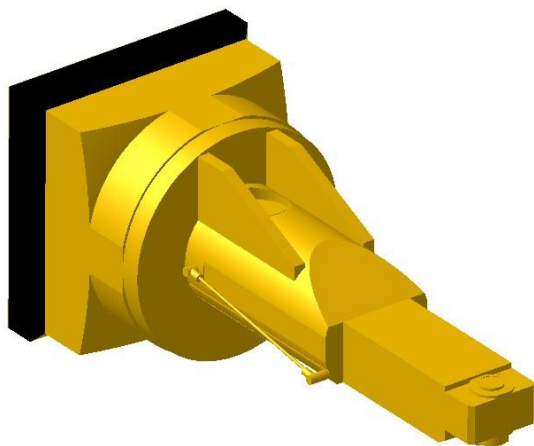
Obr. 46 Analýza – PiboMulti



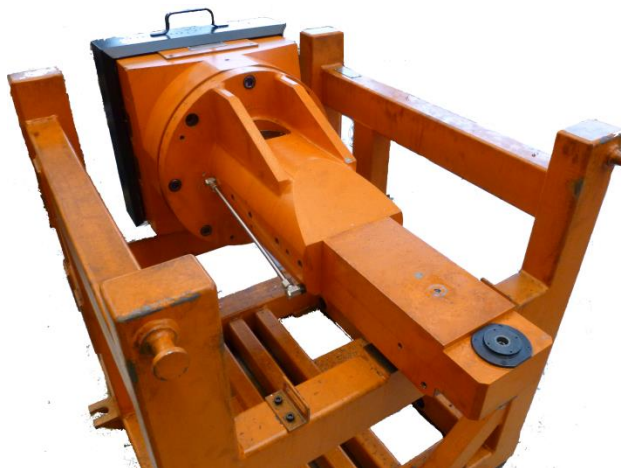
Obr. 47 Plošný model – PiboMulti

Na obrázku 48 pod textem je hotový plošný model. Model je vytvořen bez malých zkosení a zaoblení. Přehlíženy byly veškeré nepotřebné části hlav, které nemají vliv na konečnou simulaci obráběcího procesu. Jedná se například o viditelné šrouby, některé nerovnosti ploch nebo plastové chladicí hadičky.

Na obrázku 49 je pro srovnání fotografie frézovacího zařízení PiboMulti. Je zde vidět paleta, ve které byly hlavy uloženy během skenování, a které omezovaly prostorovou přístupnost skenovacích senzorů. T – Scan pak neměl přístup ke spodní části hlavy a z tohoto důvodu byly STL modely ve spodní části ve velké míře nekompletní.



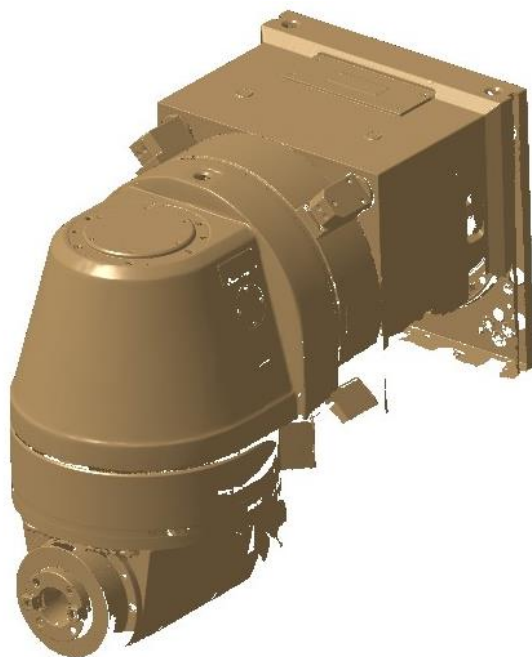
Obr. 48 Kompletní model PiboMulti – CATIA V5



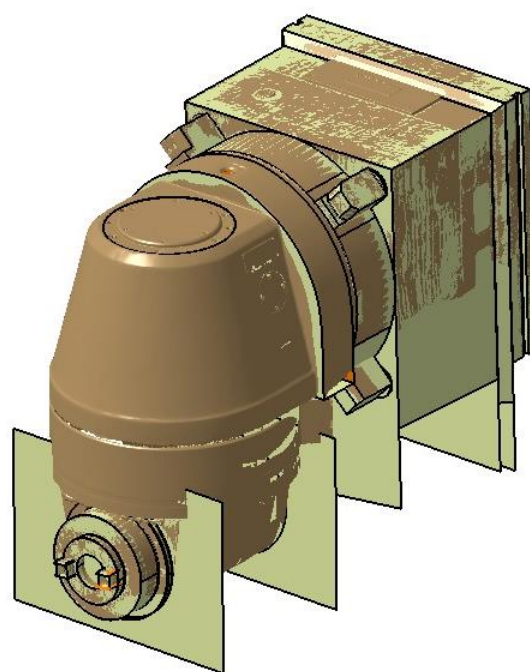
Obr. 49 Fotografie – PiboMulti

#### 4.1.2 Frézovací zařízení IFVW 207

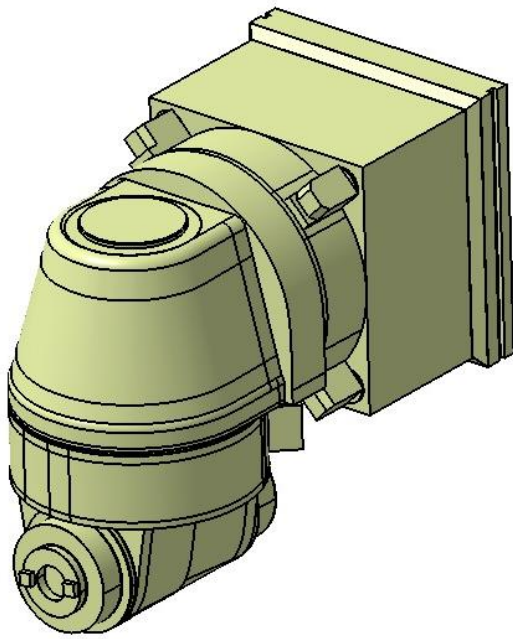
Stejný postup skenování a rekonstrukce frézovacího zařízení byl použit u všech dalších modelů zpracovaných v rámci diplomové práce. Následující čtyři obrázky znázorňují postup při rekonstrukci hlavy IFVW 207. Na obrázku 50 „STL model“ je vidět značně potrháná síť na spodní části modelu. To bylo způsobeno nedostatečným prostorem při skenování. Všechny hlavy byly uloženy v paletách, což zabraňovalo možnosti skenování spodní části hlav. Toto je v praxi jen obtížně odstranitelné a realizovatelné, protože pro lepší přístupnost při skenování, přichází v úvahu dvě možnosti. První je nasazení hlavy na pinolu stroje a odjetí do vhodné polohy. Druhá možnost je vyjmutí hlavy z palety jeřábem a její umístění na předem připravené vyvýšené místo, sestavené jako upínací přípravek. Obě varianty jsou časově a prostorově náročné a znamenaly by neúměrné finanční zatížení, s ohledem na postačující skenování hlav v paletách. Obrázek 51 znázorňuje prokládání rovin při konstrukci modelu.



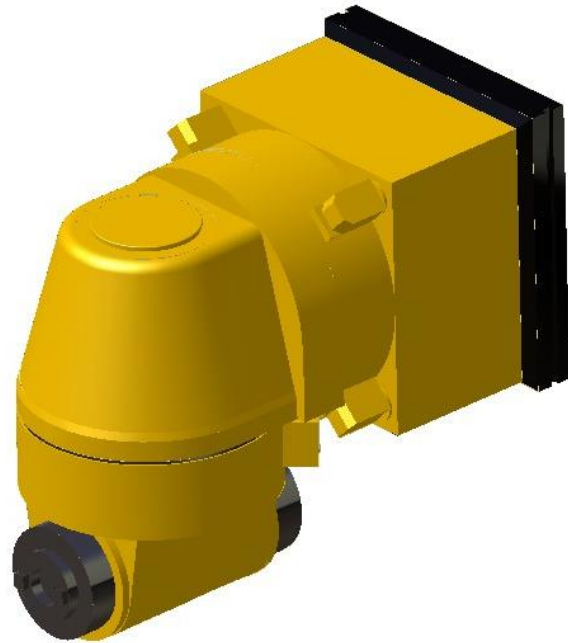
Obr. 50 STL model – IFVW 207



Obr. 51 Prokládání ploch – IFVW 207



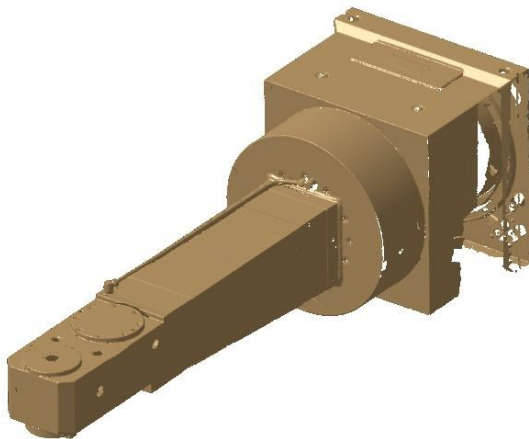
Obr. 52 Plošný model – IFVW 207



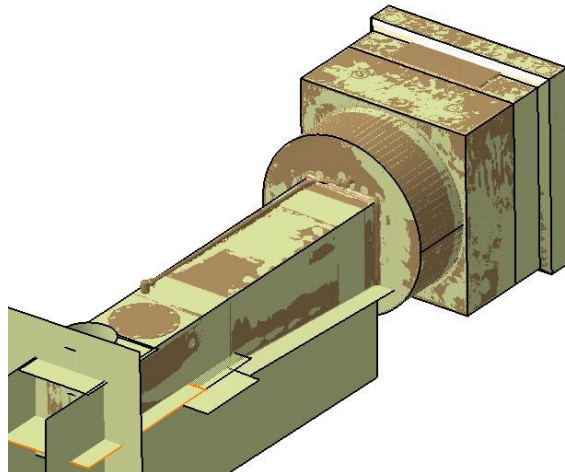
Obr. 53 Kompletní model IFVW 207 – CATIA V5

#### 4.1.3 Frézovací zařízení IFVW 112 (1000)

Třetím rekonstruovaným modelem v diplomové práci bylo zařízení IFVW 112 (1000). Jeho zjednodušený postup je vidět na obrázcích 54 a 55.

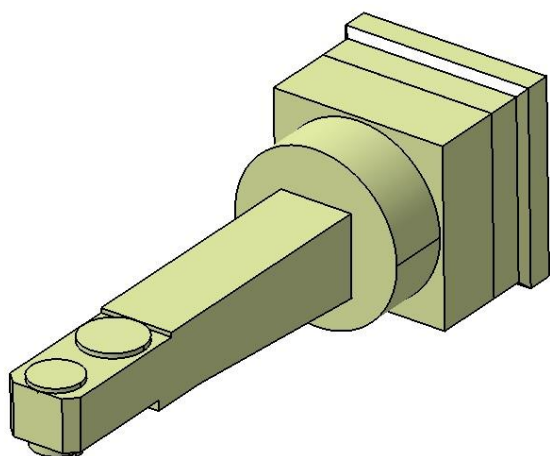


Obr. 54 STL model – IFVW 112 (1000)

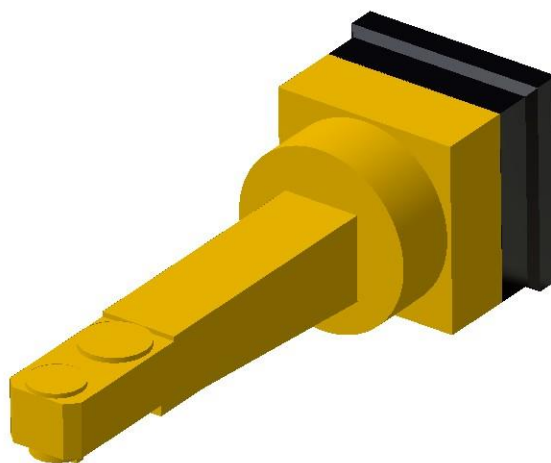


Obr. 55 Prokládání ploch – IFVW 112 (1000)





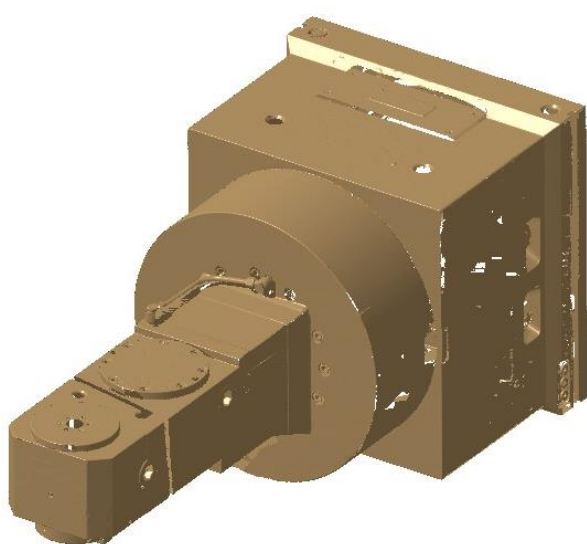
Obr. 56 Plošný model – IFVW 112 (1000)



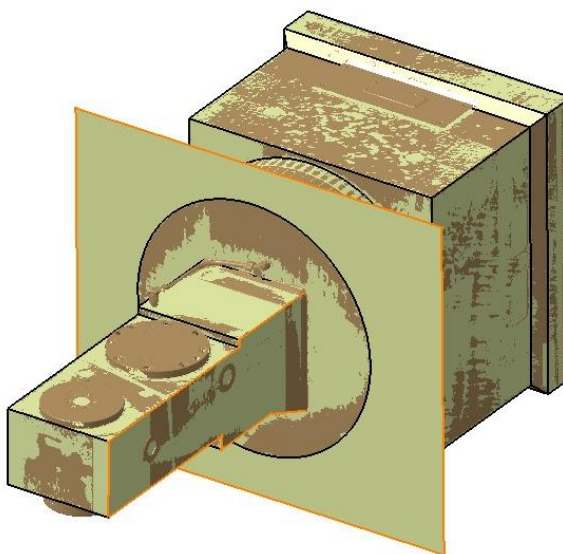
Obr. 57 Kompletní model IFVW 112 (1000) – CATIA V5

#### 4.1.4 Frézovací zařízení IFVW 112 (500)

Čtyři kroky rekonstrukce frézovacího zařízení IFVW 112 (500) jsou znázorněny na obrázcích 58 a 59. Postupně jsou řazeny od STL modelu získané skenováním, následuje modelování prokládáním rovin, dále objemový model IFVW 112 (500) a na závěr vzhled hotového modelu.

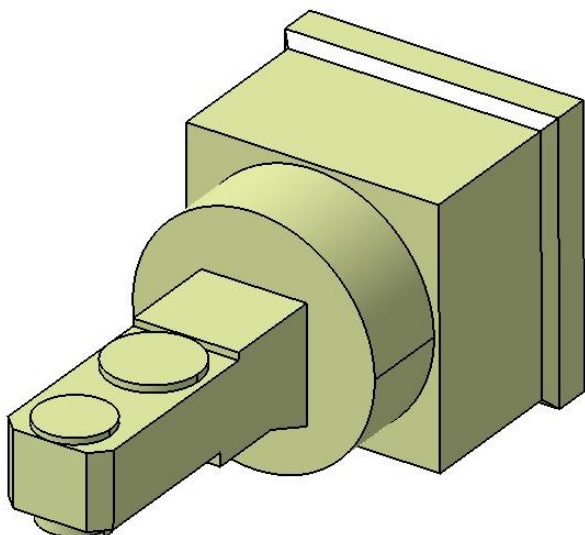


Obr. 58 STL model – IFVW 112 (500)

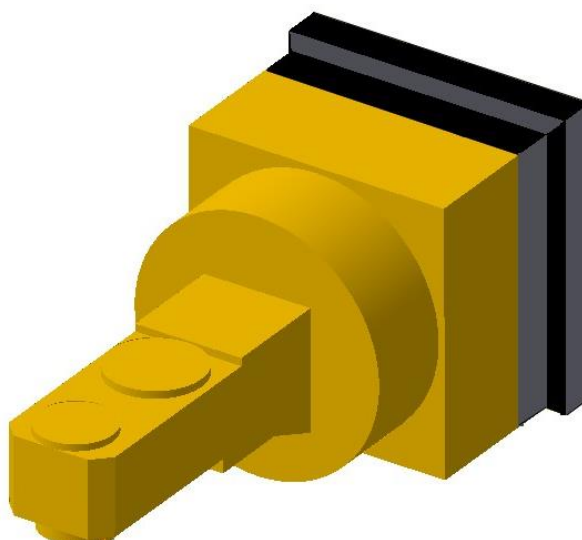


Obr. 59 Prokládání ploch – IFVW 112 (500)





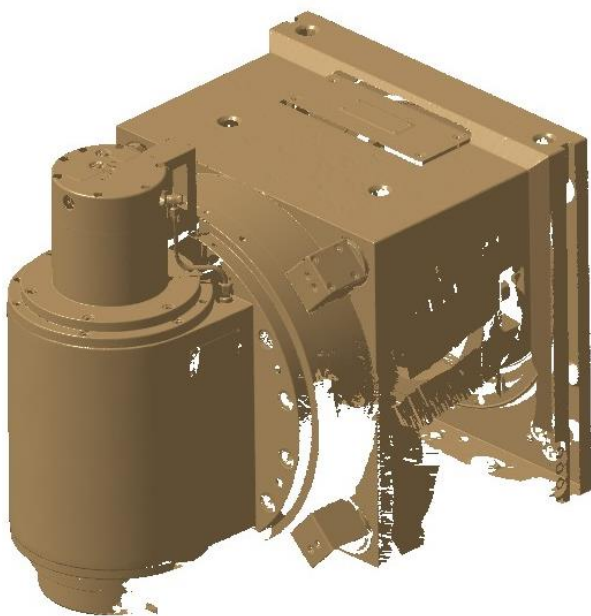
Obr. 60 Plošný model – IFVW 112 (500)



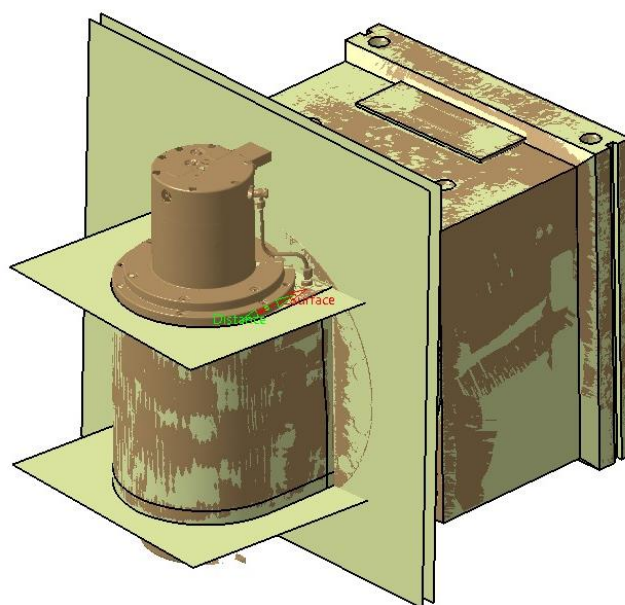
Obr. 61 Kompletní model IFVW 112 (500) – CATIA V5

#### 4.1.5 Frézovací zařízení IFVW 103

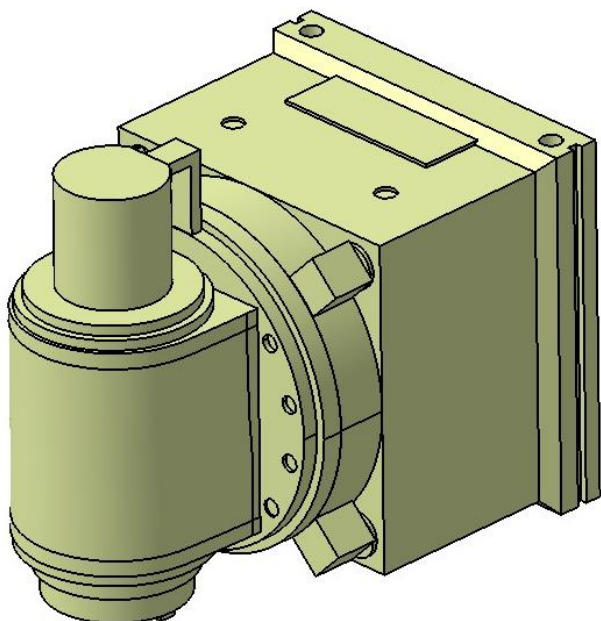
Poslední rekonstruované frézovací zařízení bylo IFVW 103. Na obrázcích 62 až 64 je zobrazen postup rekonstrukce. Rekonstrukce probíhala stejným způsobem jako u předchozích modelů. STL model je oproti předchozím modelům více nekompletní, a to zejména ve spodní části. To bylo zapříčiněno uložením hlavy v paletě, která byla pro měření obtížně přístupná.



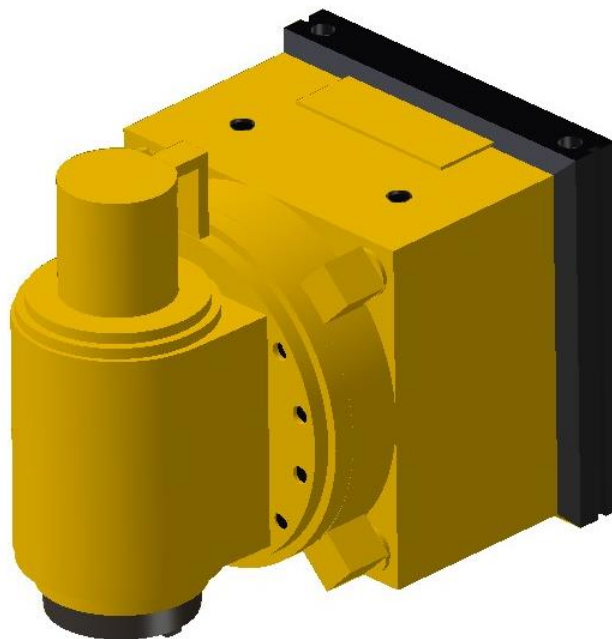
Obr. 62 STL model – IFVW 103



Obr. 63 Prokládání ploch – IFVW 103



Obr. 64 Plošný model – IFVW 103



Obr. 65 Kompletní model – IFVW 103

V tabulce 5 jsou uvedeny hodnoty získané během skenování. Byly zaznamenány počty skenů a počty bodů. Tyto hodnoty odpovídají složitosti skenovaného modelu. Nejvíce skenů a největšího počtu naskenovaných bodů bylo dosaženo u frézovacího zařízení IFVW 207. To odpovídá větší složitosti této hlavy oproti dalším frézovacím zařízením. Další sledovanou hodnotou byl čas skenování. Časově nejnáročnější hlava byla IFVW 207. To odpovídá její větší náročnosti.

Typ zařízení:		IFVW 207 E	IFVW 112E - 1000	PiboMulti	IFVW 112E - 500	IFVW 103
Počet bodů:	1. strana	4 627 773	2 348 224	2 651 438	1 711 023	2 102 311
	2. strana	762 392	689 762	900 000	565 125	602 239
	<b>Celkem:</b>	5 390 165	3 037 986	3 551 438	2 276 148	2 704 550
Počet skenů:	1. strana	483	289	223	272	252
	2. strana	59	61	81	55	142
	<b>Celkem:</b>	542	350	304	327	394
Čas měření [min]:		230	180	125	120	110

Tabulka 5 – Naměřené hodnoty – skenování

## 4.2 Vodorovný frézovací a vyvrtávací stroj Škoda HCW 3-200 NC

Jedná se o vodorovný frézovací a vyvrtávací stroj určený zejména pro procesy frézování, vrtání, vyvrtávání nebo řezání závitů. Slouží pro opracování rozměrných strojních součástí, které se upínají na upínací desku nebo otočný stůl. Stroj je řízen CNC systémem. Další hlavní části stroje jsou lože, stojan, vřeteník, pinola a vřeteno. Obráběcí stroj HCW 3 je dodáván s širokým příslušenstvím, které zvyšuje technologické možnosti a produktivitu celého stroje, jako jsou například: frézovací a vrtací zařízení, zařízení pro výměnu nástrojů, dopravník třísek, chlazení nástrojů, seřizovací zařízení, měřicí sondy atd.

#### 4.2.1 Technické parametry stroje Škoda HCW3:

##### Základní údaje:

Průměr vřetena	200 mm
Upínací kužel 7:24 – nástroj dle DIN 69871	ISO 60
Příčný rozměr pinoly	520 x 520 mm
Středící průměr na čele frézovacího vřetene	335 mm
Posuv vřetena (W)	1400 mm
Posuv pinoly (Z)	1600 mm
Součtový posuv (W+Z)	3000 mm
Posuv vřeteníku základní (Y)	3000 mm
Posuv stojanu základní (X)	3500 mm
Šířka vedení lože	2400 mm
Šířka vedení stojanu	1350 mm
Celková hmotnost v základním provedení	115 000 kg

Tabulka 6 – Technické parametry: základní údaje – HCW 3

##### Posuvy a rychloposuvy

Rozsah pracovních posuvů – vřetena a pinoly (W, Z)	1 ÷ 1000 mm/min
Rozsah pracovních posuvů – vřeteníku a stojanu (Y, X)	1 ÷ 1500 mm/min
Rychloposuv - vřetena a pinoly (W, Z)	10 000 mm/min
Rychloposuv - vřeteníku a stojanu (Y, X)	15 000 mm/min

Tabulka 7 – Technické parametry: posuvy a rychloposuvy – HCW 3

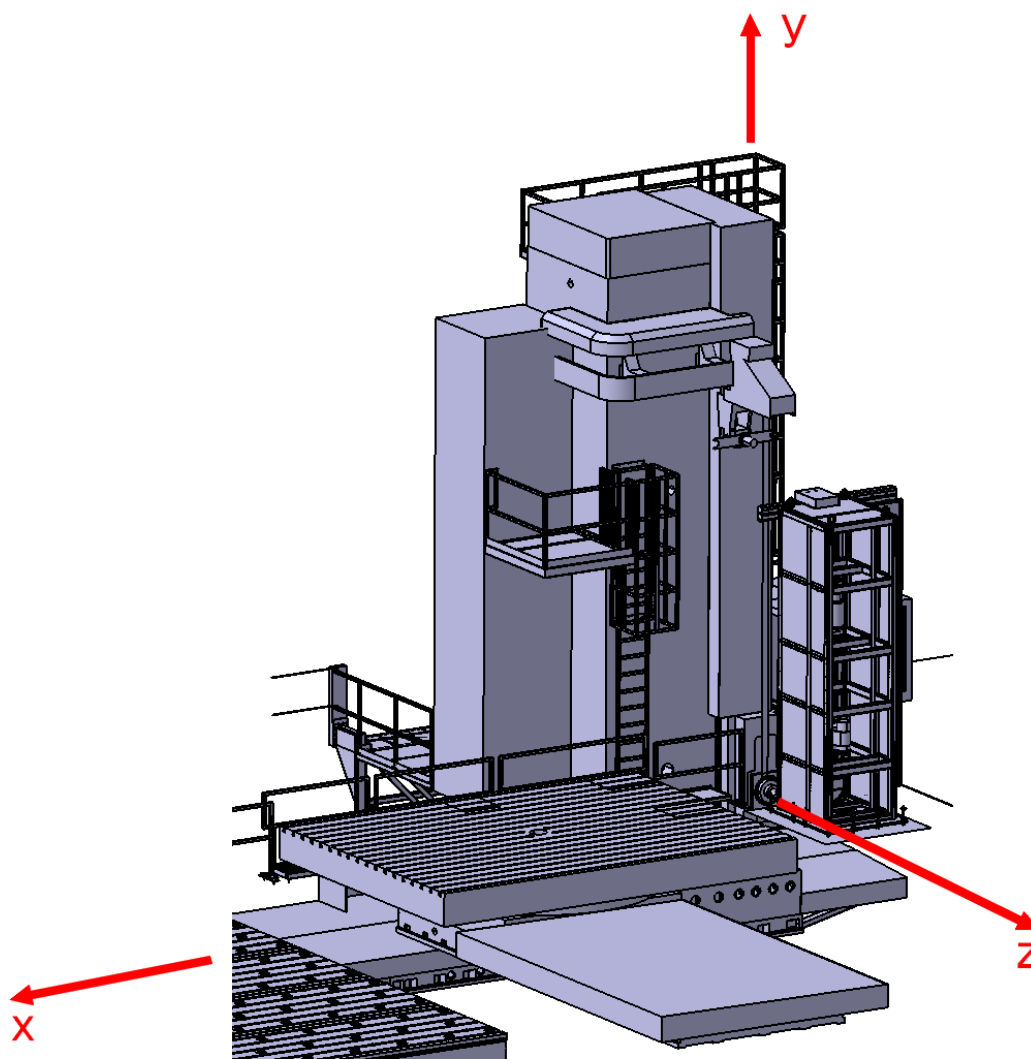
##### Momenty a posuvové síly

Max. kroutící moment – na vrtacím vřetenu	16 000 Nm
Max. kroutící moment – na frézovacím vřetenu	16 000 Nm
Posuvová síla – v ose X, Y, Z	60 kN
Posuvová síla - v ose W	50 kN

Tabulka 8 – Technické parametry: momenty a posuvové síly – HCW 3

#### 4.2.2 Maketa stroje HCW 3

Maketa stroje byla vytvořena v programu CATIA V5R20. Kompletní 3D sestava byla získána od výrobce stroje. Obsahovala přibližně cca 1500 dílů. Jedná se o tříosý obráběcí stroj. Na obrázku 66 jsou znázorněny hlavní osy pohybu stroje, osy „x,y,z“. V ose „x“ se po loži posouvá stojan stroje. Maximální rozjezd osy „x“ je 24 500 mm. V ose „y“ se pohybuje vřeteník do maximální délky 6000 mm. V ose „z“ se vysouvá pinola. Maximální délka výsuvu pinoly je 1600 mm.

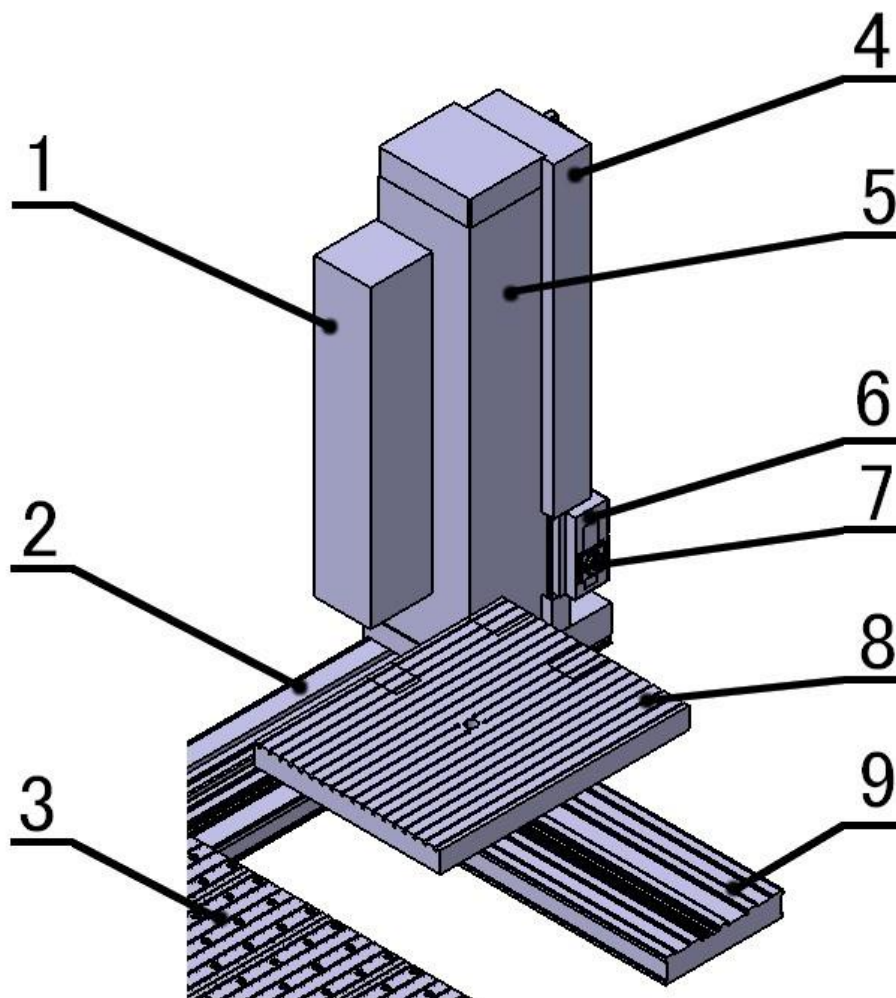


Obr. 66 Kompletní maketa stroje HCW 3

### 4.2.3 Zjednodušení makety stroje

Maketa stroje byla zjednodušena s ohledem na závěrečnou simulaci. Původní sestava se skládala celkem asi z 1500 součástí. Obsahovala mnoho pro simulaci nepotřebných částí, které by neúměrně zatěžovaly výpočet a vizualizaci simulace, která by se pak stala časově náročnou a nestabilní. Byly tedy odstraněny nepotřebné kryty, schodiště, kabina obsluhy, zábradlí, zásobníky hlav, měnič nástrojů, okolní příslušenství, šrouby, matice a nýty. Vytvořená maketa se skládá z nezbytně nutných částí stroje, které byly následně dále zjednodušeny. Byly odebrány například žebra stojanu, a také veškeré odlehčení komponentů, díry a zahlabení pro šourby a další. Složité tvary některých součástí byly nahrazeny zjednodušeným a celistvým tvarem.

Výsledný model makety stroje pro simulaci je složen z 30 dílů. Jedná se o jednoduché prvky vytvořené CAD funkcí „pad“. Hlavní částmi stroje jsou stojan, lože, pevný a otočný stůl, pinola, vřeteník a další. Takto vytvořený zjednodušený model byl dostatečný a efektivně využitelný pro konečnou simulaci obráběcího procesu.



Obr. 67 Zjednodušená maketa stroje HCW 3

Popis obrázku: 1 – zásobník pro nástroje; 2 – hlavní lóže; 3 – pevný stůl; 4 – teleskopický kryt na kabely; 5 – stojan; 6 – vřeteník; 7 – pinola; 8 – otočný stůl; 9 – vedlejší lóže

### 4.3 Kinematika zařízení

V následující kapitole jsou popsány pohybové možnosti frézovacích zařízení a obráběcího stroje Škoda HCW3. Modely byly vytvořeny v programu CATIA V5R20. V prvním kroku byly vytvořeny modely zařízení a stroje. Následné možnosti polohování jednotlivých částí stroje a přídatných hlav byly definovány a nastaveny v modulu Machining Simulation a v jeho části NC Machine Tool Builder.

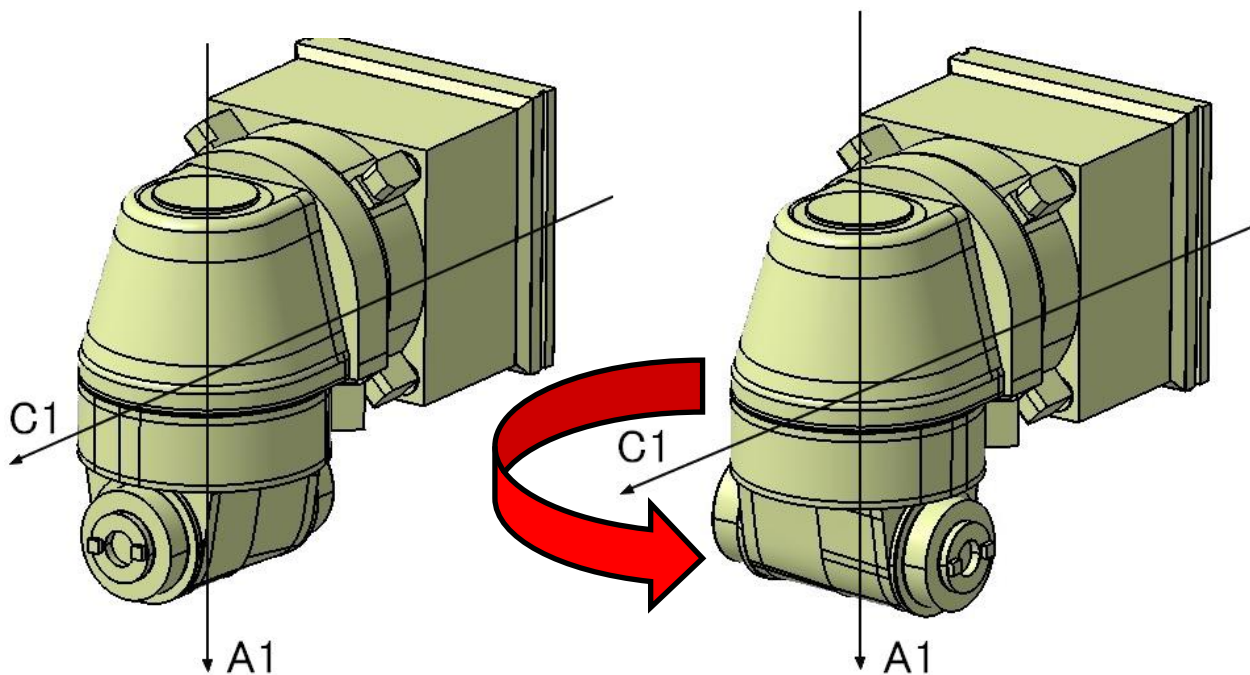
### Polohování frézovacích zařízení

#### 4.3.1 Frézovací zařízení IFVW 207

Hlava 207 se natáčí ve dvou osách. Jedná se o jediné rekonstruované a programované frézovací zařízení, které se polohuje ve dvou rotačních osách. Na obrázku 68 „Poloha1“ jsou osy C1 a A1 rovny 0°. Obrázek 69 „Poloha2“ znázorňuje rotaci ve směru šipky v ose A1, která je

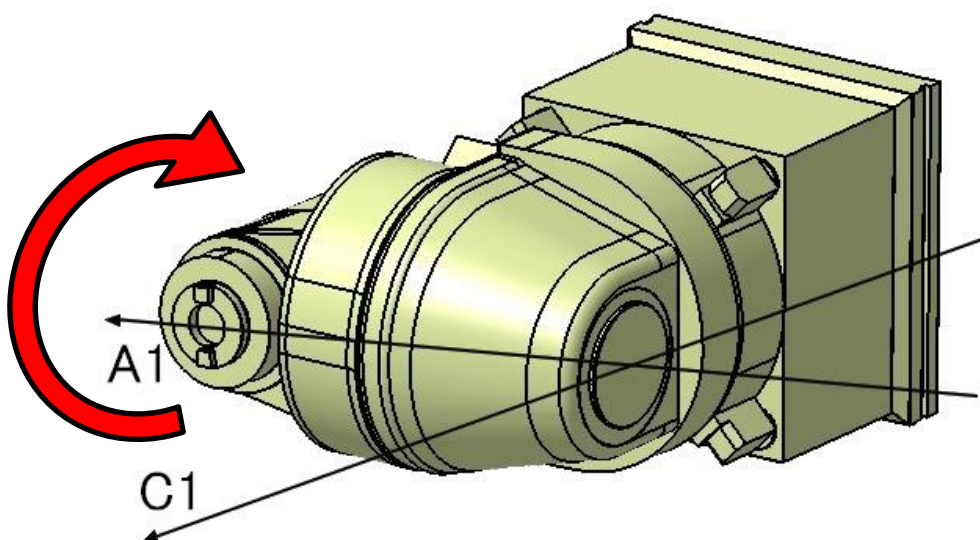


otočena do 270°(-90). Osa C1 je nulová. Natočení v ose C1 je znázorněné na obrázku 70 „Poloha3“. Skříň frézovacího zařízení je otočena v ose C1 na hodnotu 90°. Osa A1, kolem které se natáčí těleso vřetene je rovna 0°.



Obr. 68 IFVW 207 – Poloha1

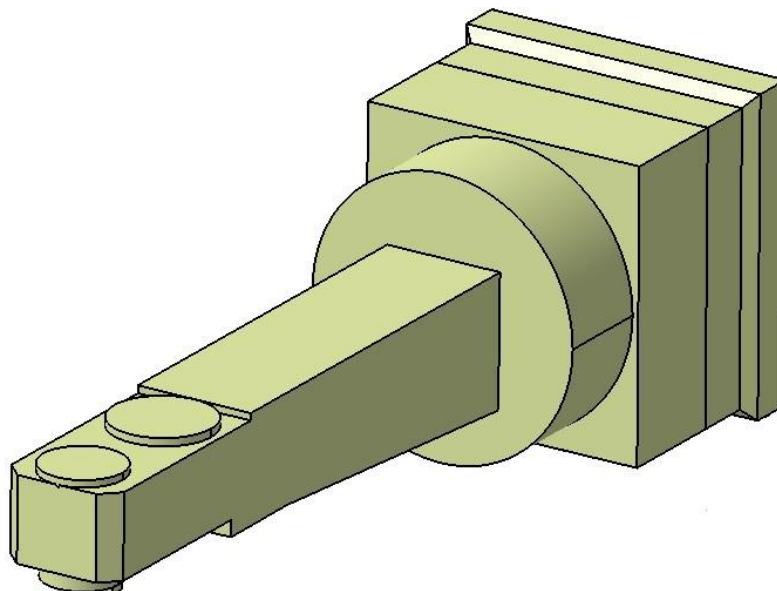
Obr. 69 IFVW 207 – Poloha2



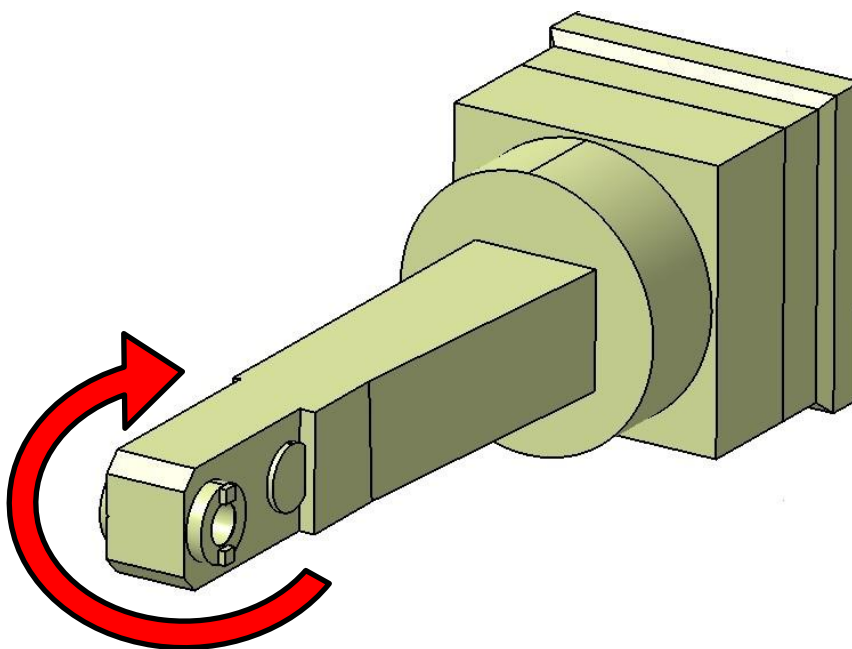
Obr. 70 IFVW 207 – Poloha3

### 4.3.2 Frézovací zařízení IFVW 112 – 1000

Druhé naprogramované zařízení bylo IFVW 112. Toto zařízení je standardně vyráběno ve třech délkách 1000, 800 a 500 mm. V diplomové práci byly zpracovány dvě délky 1000 a 500 mm. Frézovací hlava IFVW 112 má pohyb umožněn pouze v jedné rotační ose C1. Obrázek 71 znázorňuje osu  $C1 = 0^\circ$ . Pohyby v ose C1 je charakterizován šipkou na obrázku 71. Hodnota osy  $C1 = 270^\circ (-90^\circ)$ .



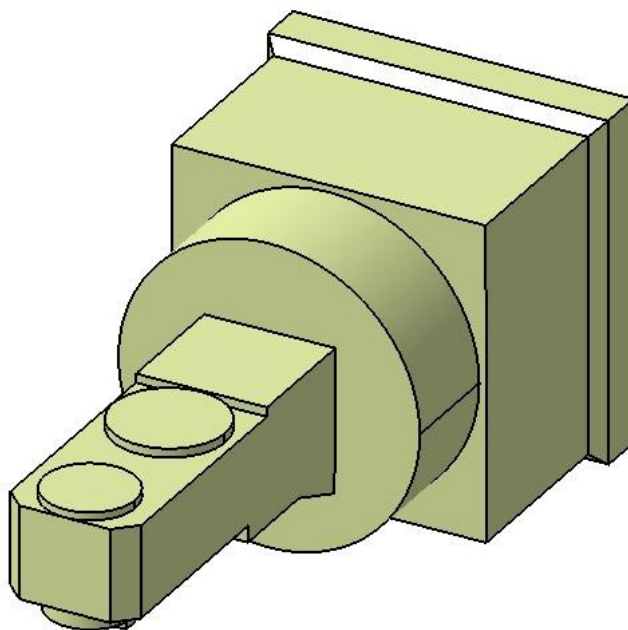
Obr. 71 IFVW 112 (1000) – Poloha1



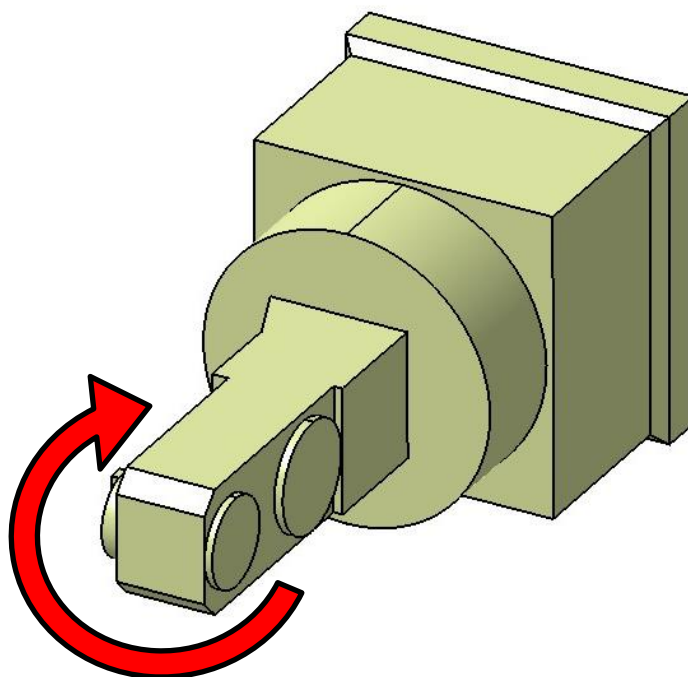
Obr. 72 IFVW 112 (1000) – Poloha1

### 4.3.3 Frézovací zařízení IFVW 112 – 500

Frézovací hlava IFVW 112 – 500 má stejné kinematické uspořádání jako hlava IFVW 112 – 1000, pouze její celková délka je menší o 500 mm. Kratší varianta hlavy IFVW 112 má vyšší celkovou tuhost oproti delší variantě a tato zvýšená tuhost umožňuje obecně nastavení vyšších hodnot řezných podmínek, a tedy i dosažení vyšší produktivity. Zařízení se otáčí kolem osy C1. Obrázek 73 představuje osu C1 = 0°, natočení osy C1 = 90° představuje obrázek 74. Pohyb je charakterizován ve směru znázorněné šipky.



Obr. 73 IFVW 112 (500) – Poloha1

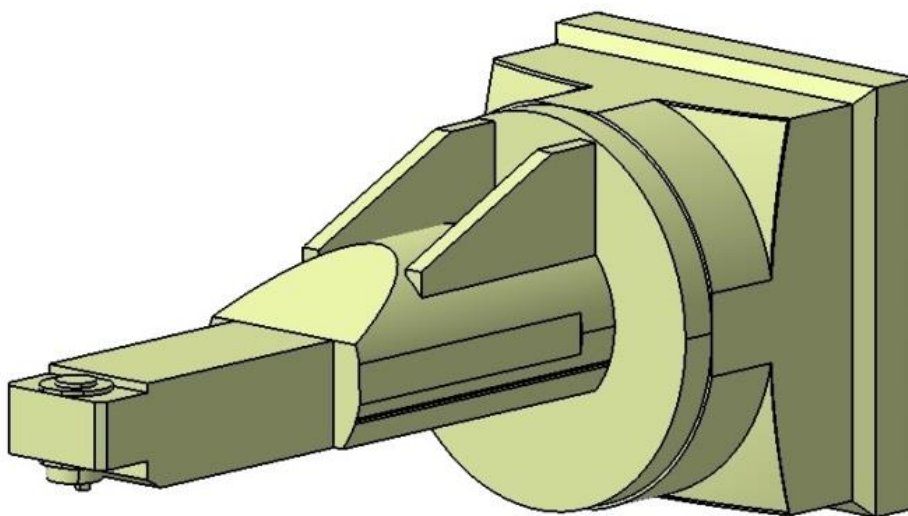


Obr. 74 IFVW 112 (500) – Poloha2

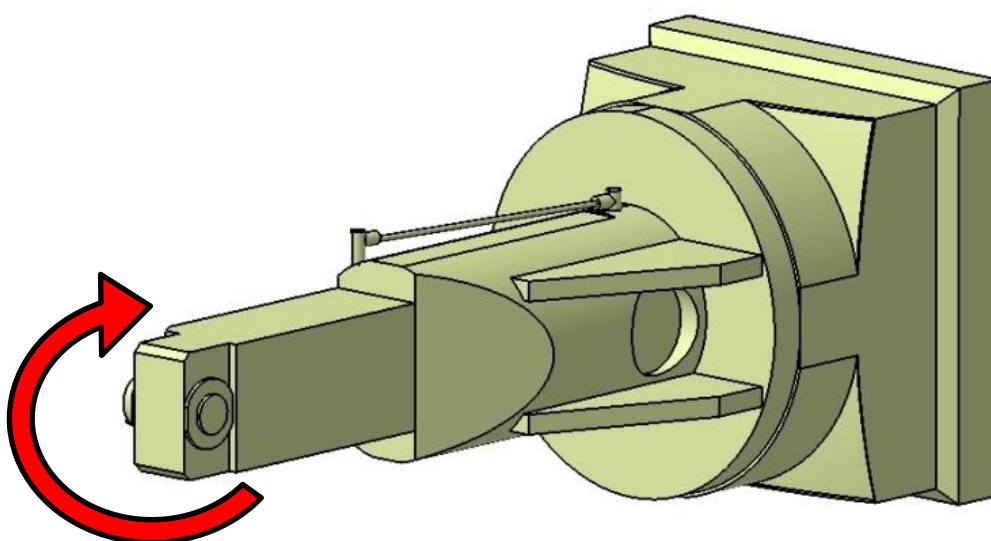


#### 4.3.4 Frézovací zařízení PiboMulti

Frézovací hlava PiboMulti má obdobný princip kinematického uspořádání jako hlavy IFVW 112. Její hlavní účel použití vychází z minimálních vnějších rozměrů pláště hlavy, zejména v oblasti pracovního vřetene hlavy s kuželovou dutinou ISO 30. Největší využití má tedy hlava PiboMulti při opracování obtížně dostupných detailů ve stísněných prostorech těles parních turbín, jako například vrtání otvorů pro kuželové kolíky nebo frézování závitů monolitní závitovou frézou. Vytvoření kvalitních dat pro simulaci procesu obrábění má tedy u hlavy PiboMulti význam u valné většiny případů jejího použití. Hlava se otáčí kolem osy C1 ve směru šipky. Obrázek 75 představuje otočení v ose C1 = 90°.



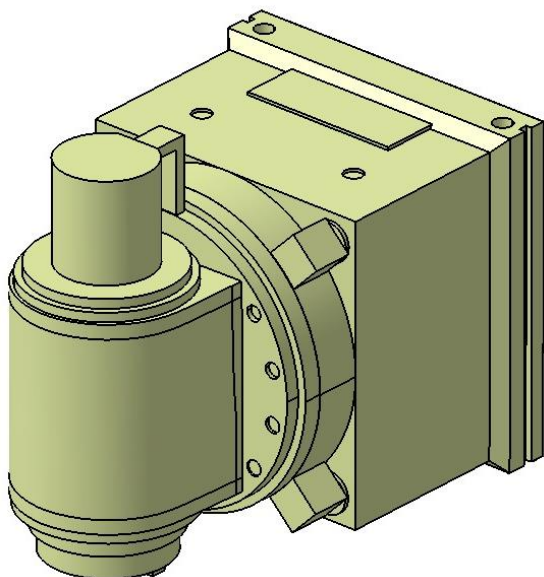
Obr. 75 PiboMulti – Poloha1



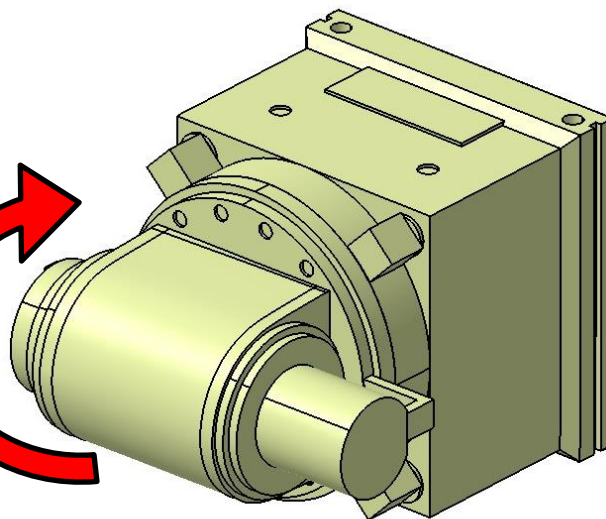
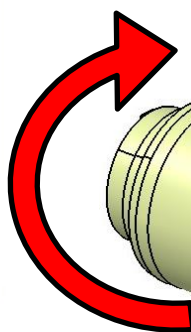
Obr. 76 PiboMulti – Poloha2

#### 4.3.5 Frézovací zařízení IFVW 103

Poslední programované frézovací zařízení v rámci diplomové práce bylo IFVW 103. Polohování hlavy v ose C1 je na obrázcích pod textem. Hlava se otáčí kolem osy C1 ve směru šipky. Poloha2 představuje otočení v ose C1 = 90°.



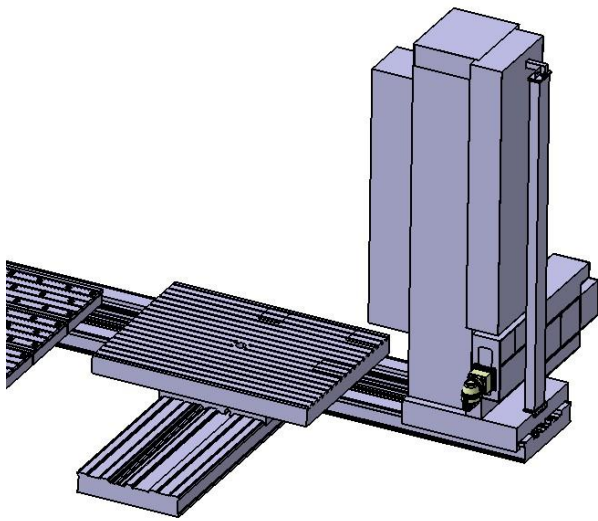
Obr. 77 IFVW 103 – Poloha1



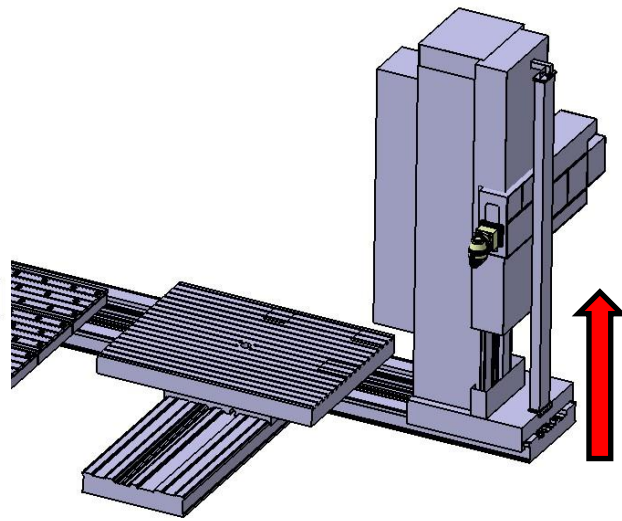
Obr. 78 IFVW 103 – Poloha2

#### 4.3.6 Vodorovný frézovací a vyvrtávací stroj HCW 3 – 200 NC

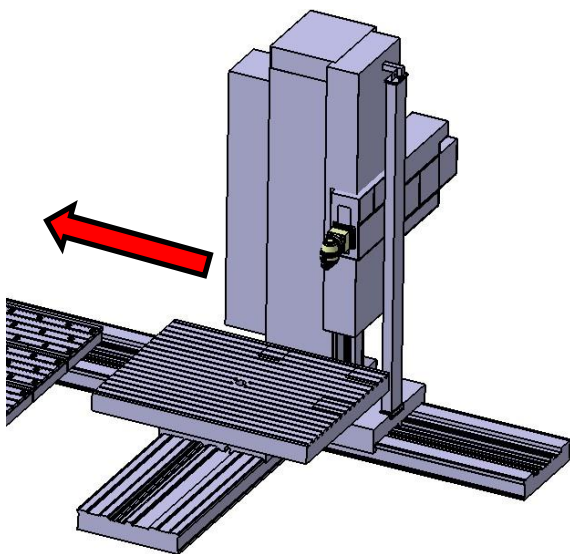
Obráběcí stroj se pohybuje ve třech hlavních osách (x,y,z). Pohyb v ose „z“ je možno realizovat buď pomocí pinoly, nebo vrtacího vřetene. Vedlejší dva pohyby rotační a lineární koná otočný stůl. Na obrázcích 79 až 84 jsou znázorněny hlavní pohyby v jednotlivých základních osách stroje, ve stavu s nasazenou frézovací hlavou. Na obrázku 80 je vyobrazen pohyb vřeteníku v ose „y“ v délce 4 m od spodní krajní polohy vřeteníku. Na obrázku 81 je šipkou naznačen pohyb v ose „x“ v délce 3 m od krajní polohy stroje. Výsuvný pohyb pinoly v ose „z“ s nasazenou frézovací hlavou je vidět na obrázku 82. Lineární pohyb stolu v ose „v“ je na obrázku 83 a rotační pohyb stolu v ose „B“ je naznačen na obrázku 84. Pro vytvoření funkční simulace stroje Škoda HCW3 byly s ohledem na četnost a důležitost využití možností simulace zvoleny jednotlivé varianty s nasazenými frézovacími hlavami, jenž jsou popsány v kapitole 3.6. Další možné varianty konfigurace stroje pro simulaci procesu obrábění nebyly v diplomové práci řešeny. Společnost Doosan Škoda Power předpokládá řešení dalších variant uspořádání stroje Škoda HCW3 v postupně navazujících krocích, po úspěšné implementaci modelů pro simulaci řešených v rámci diplomové práce.



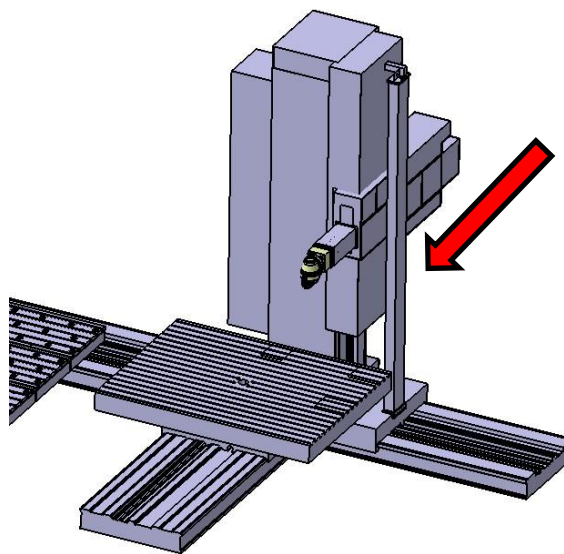
Obr. 79 Stroj HCW 3 – v základní poloze



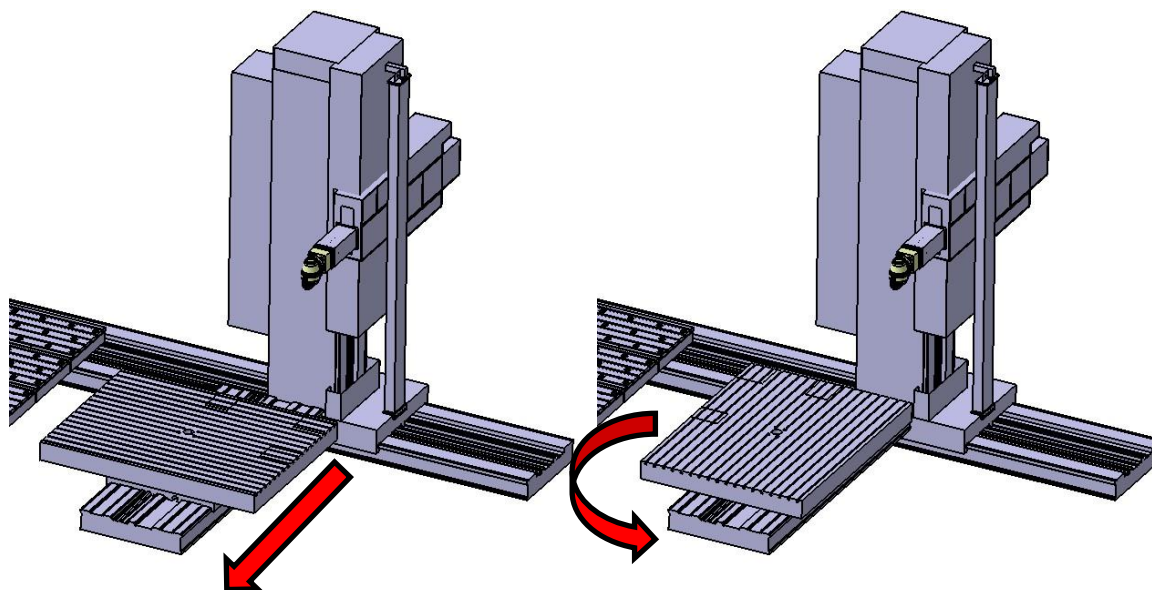
Obr. 80 Stroj HCW 3 – posunutí vřeteníku v ose „y“



Obr. 81 Stroj HCW 3 – posunutí sloupu v ose „x“



Obr. 82 Stroj HCW 3 – vysunutí pinoly v ose „z“



Obr. 83 Stroj HCW 3 – posunutí stolu v ose „v“

Obr. 84 Stroj HCW 3 – otočení stolu

#### 4.3.7 Postup vytvoření virtuálního stroje

Po vytvoření modelů frézovacích zařízení a makety stroje, byla vytvořena jednotná sestava. Na sestavu byly aplikovány vzájemné vazby součástí. Kontrola správně zavazbeného tělesa, byla provedena analýzou, a to kontrolou stupně volnosti Degrees of freedom dostupnou v modulu Mechanical Design – Assembly Design. Plně zavazbené modely s nulovým stupněm volnosti se následně převedly do modulárního systému Machining Simulation. Kde se dále stroj s frézovací hlavou připravil pro simulaci.

Druhá fáze přípravy virtuálního stroje proběhla v režimu NC Machine Tool Builder. Tento režim slouží, jako nástroj pro vytvoření virtuálních strojů. Nabízí několik variant vytvoření simulací. Vytvořit lze simulace složitějšího mechanismu, samotných frézovacích hlav nebo stroje. Po zvolené variantě simulace následuje určení mechanických vazeb. Ikona modré kotvy složí k ustanovení fixní části stroje. Jako pevná, nepohyblivá část stroje bylo zvoleno lóže. Následovalo nastavení posuvných vazeb (Prismatic Joint). Tyto vazby byly nastaveny mezi lóžem a stojanem stroje a mezi stojanem a vřeteníkem. Rotační vazba (Revolute Joint) byla definována u frézovacích zařízení. Otočný stůl byl programován jako vlastní mechanismus a není spojen se strojem. Byla zde použita jedna rotační „B“ a jedna posuvná vazba „v“.

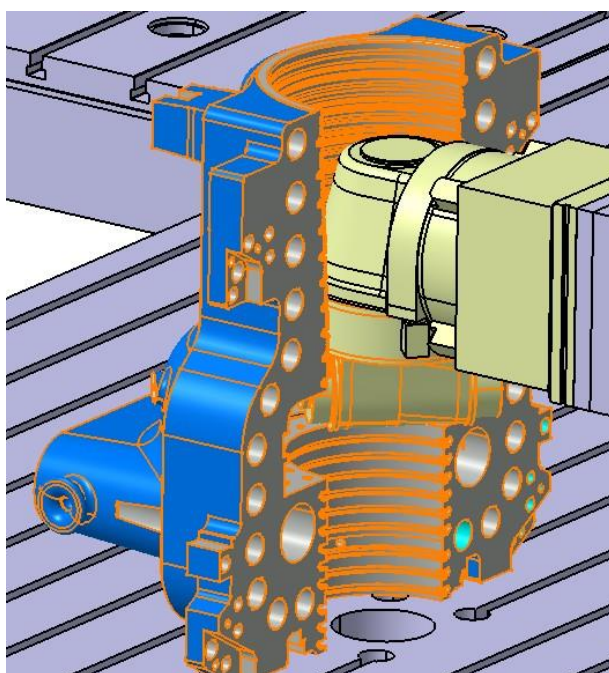
Po charakterizování vazeb byly nastaveny limity (travel limits) všech pohybů ve všech osách. Tyto limity vycházejí z možností stroje viz kapitola 4.2.2. Byl nastaven bod Home positions – jedná se o zvolení domácí polohy stroje. Z této polohy začíná simulace obráběcího procesu a po jejím dokončení se na totožné místo model vrací. Pro správnou a funkční simulaci je nutno nastavit „Tool Change Position“. Jedná se o nastavení souřadnic pro výměnu nástroje. Po celkovém nastavení virtuálního stroje, byly zvoleny souřadnice nulových bodů (Create Mount Point). Byl zvolen nulový bod nástroje (Tool Mount Points). Tento bod byl nastaven na čelo pracovního vřetene frézovacích zařízení. Druhý nulový bod, byl nastaven na střed otočného upínacího stolu. Jednalo se o nulový bod obrobku.

Výsledkem tohoto postupu, bylo vytvoření kinematického modelu stroje se všemi druhy pohybů ve všech využívaných osách.



Závěrečná část vytvoření virtuálního modelu se odehrávala v režimu NC Machine Tool Simulation, tj. simulace obráběcích strojů. Zde se simulují pohyby stroje dle zadaných strategií obrábění. Dále je zde možnost nastavení detekcí kolizních stavů strojů mezi nástrojem, obrobkem, strojem a frézovacím zařízením.

K nastavení kontroly kolizí byla použita funkce Clash. Byly použity dva druhy kolizních nastavení „Contact + Clash“ a „Clearance + Contact + Clash“. Ve druhé variantě lze nastavit maximální rozměr přiblížení kontrolovaných součástí. Programátor zde také zvolí komponenty, mezi kterými, je kolizní stav vyšetřován. Kontrola kolizního stavu může být provedena třemi způsoby: Highlight – kolize je zvýrazněna barevně a simulace dále pokračuje (viz obrázek pod textem), Verbose – kontakt je vypsán na pozadí simulace (forma zápisu je například: Collision detected for Hlava vs. Obrobek, simulation time 37,6s) a Interrupt – dojde k automatickému přerušení simulace.



Obr. 85 Kolizní stav – Hlava vs. Obrobek

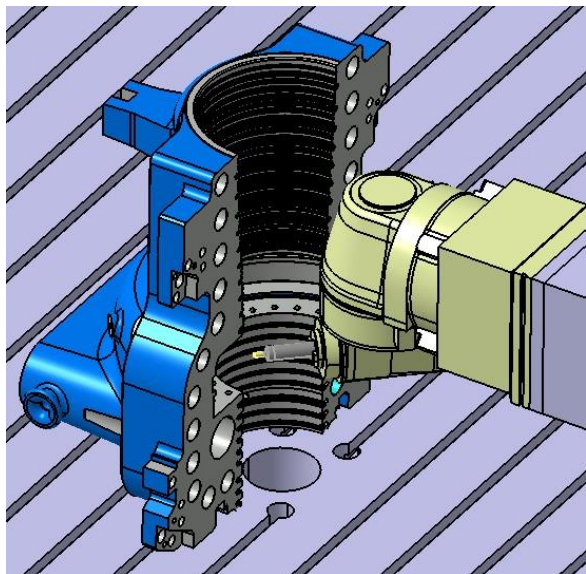
## 4.4 Simulace

Pro simulaci bylo potřeba vytvořit modely frézovacích zařízení a zjednodušené makety frézovacího stroje. Od společnosti Doosan Škoda Power byl obdržen model nerotačního tělesa, na kterém byly testovány simulace. Součást byla upnuta na rotačním stole.

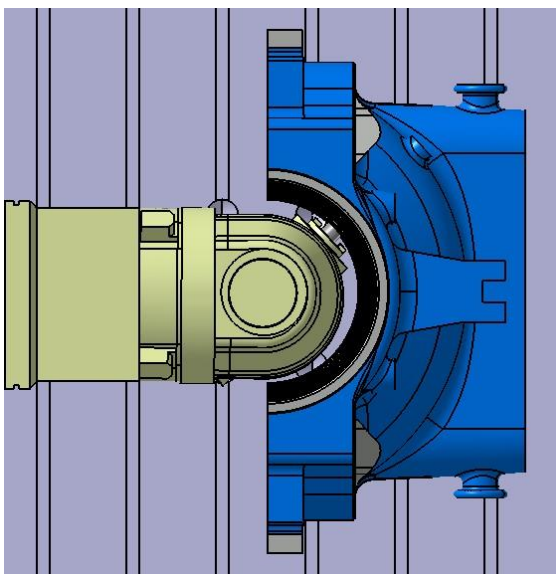
Simulace se skládala z vloženého obráběného modelu, obráběcího stroje, nástroje a frézovacího zařízení. V simulaci nebyly řešeny upínky pro obrobek. Byly vytvořeny kompletní simulace stroj-hlava-nástroj-obrobek. V simulacích jsou postupně použity všechny rekonstruované frézovací hlavy. Byly vytvořeny video soubory ve formátu .avi. Video obsahuje polohování všech frézovacích zařízení, polohování obráběcího stroje a obráběcí programy s použitím všech hlav pro nerotační těleso.

Na obrázcích 86 a 87 je ukázka z obráběcího programu s použitou hlavou IFVW 207. Obráběna byla ploška pro měření teploty ve vnitřním prostoru tělesa. Zvolená strategie pro obrábění děr byla Circular Milling. Použitý nástroj: válcová fréza SK D16. Doba obráběcího

programu byla 98,6 s. Obrázek 86 představuje najetí hlavy s nástrojem k plošce. Na obrázku 87 je vidět, jak je v této simulaci důležité použití kompletního stroje s frézovací hlavou. Volný prostor mezi obráběným tělesem a frézovací hlavou je minimální. Simulací byla prověřena možnost kolize mezi součástmi soustavy S – N – O.

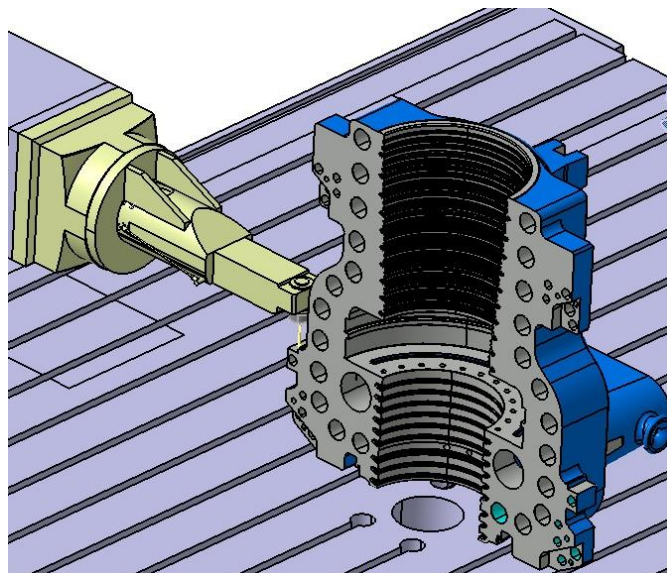


Obr. 86 Ukázka programu – IFVW 207, najetí



Obr. 87 Ukázka programu – IFVW 207, možnost kolize

Druhá simulace byla naprogramována pro díry ve vedení, pro ustavení tělesa v sestavě parní turbíny. Simulace obráběcího programu využívala frézovacího zařízení PiboMulti, byl použit šroubovitý vrták a strategie „Drilling Break Chips“ s výsledným časem simulace operace 250,5 s. Ukázka programu je na obrázku 88.

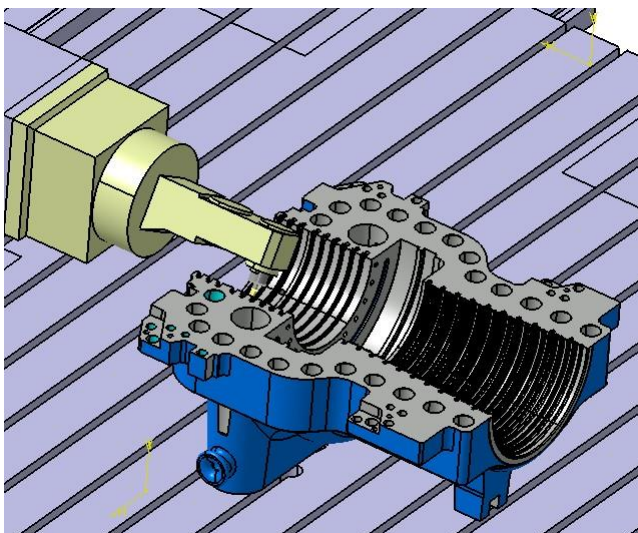


Obr. 88 Ukázka programu - PiboMulti

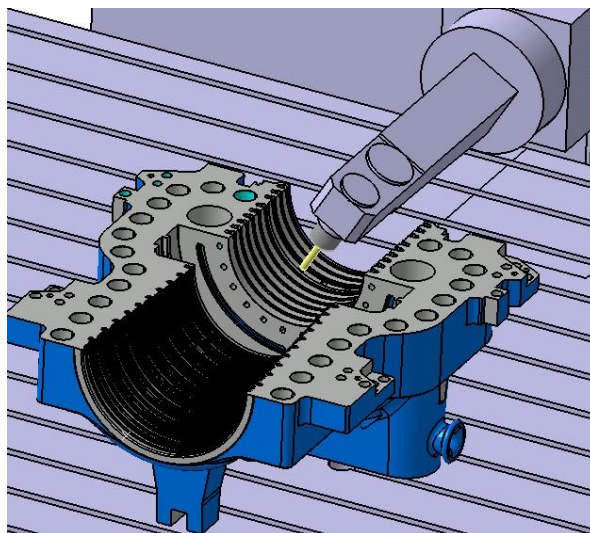
Na následujících obrázcích 89 a 90 jsou představeny simulace hlavy IFVW 112 – 500 (vlevo) a IFVW 112 – 1000 (vpravo). Model 112 (500) byl vložený do simulace stejně, jako všechny předešlé modely. Jednalo se o objemový model. Tato simulace byla vytvořena pro díry v ucpávkovém prostoru svrchní poloviny tělesa. Následovala po operaci s hlavou 112 (1000). Pro



operaci byl použit vrták HSS 22 a trvala 1 289,1 s. Použita byla strategie „Drilling Break Chips“. Do simulace obráběcího procesu s hlavou 112 (1000) bylo frézovací zařízení převedeno jako objemový model. K převodu slouží modulární systém Mechanical Design – Part Design a funkce „Close Surface“. Na objemovém ani na plošných modelech nebyly vyzkoušeny žádné odlišné vlastnosti a vlivy na simulaci procesu. Simulace s hlavou 112 (1000) předcházela simulaci hlavy 112 (500). Byla použita pro obrábění děr v ucpávkách (svršek). Pro vrtání byl použit vrták HSS 22. Simulace proběhla se zvolenou strategií pro zhotovování děr „Drilling Break Chips“. Délka programu byla 866,8 s.

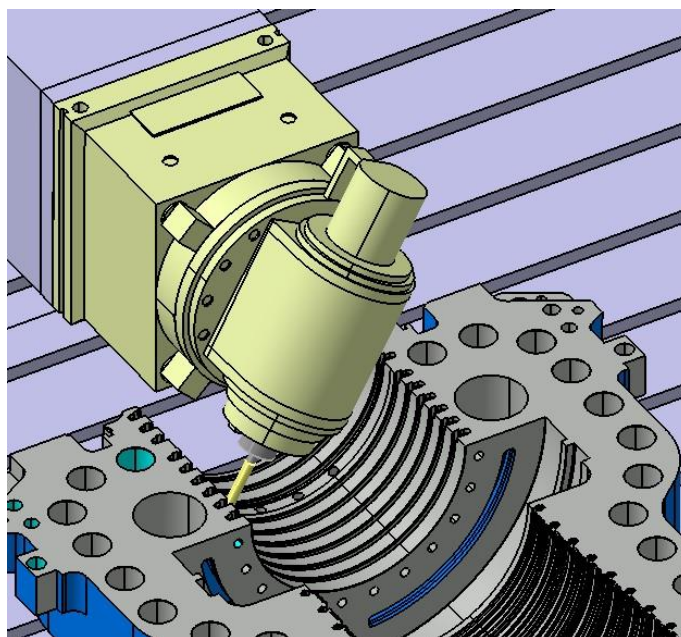


Obr. 89 Ukázka programu – IFVW 112 (500)



Obr. 90 Ukázka programu – IFVW 112 (1000)

Frézovací zařízení IFVW 103 bylo vyzkoušeno ve stejném programu jako hlavy IFVW 112. Hlava 103 není využívána tak často, jako ostatní zařízení, a proto její funkčnost byla vyzkoušena v simulaci s předchozím nastavením.



Obr. 91 Ukázka programu – IFVW 103

## 5 Technicko-ekonomické hodnocení

V technicko-ekonomickém hodnocení byly zhodnoceny dva základní faktory. Z hlediska důležitosti dnešní doby, dva nejdůležitější. Hodnocena byla časová a finanční náročnost. Z pohledu společnosti dva faktory, které určují směr a možnosti výroby. Časová i finanční náročnost byla vždy porovnávána mezi dvěma možnými postupy práce. Porovnávala se náročnost skenovacího zařízení Leica Laser Tracker oproti možnosti klasického orýsování tělesa na rýsovací desce a reverzní inženýrství proti možnosti získání modelu od jeho výrobce.

### 5.1 Časová náročnost

#### 5.1.1 Leica Laser Tracker vs. rýsovači

##### 5.1.1.1 LLT

Celkem bylo rekonstruováno pět frézovacích zařízení. Jejich časová náročnost je uvedena v tabulce pod textem. Zde se nejedná o čistý čas měření, ale byly zde započteny časy související s měřením. Jednalo se o přípravy, zapojení (3 min), nahřátí laseru (7 min), zapnutí a úklid zařízení. Skenována byla přední i zadní část hlavy, proto bylo nutné součást otočit za pomoci portálového jeřábu. Časová ztráta při čekání na dostupnost jeřábu se pohybovala okolo 20 minut. Závěrečné úpravy naskenovaného modelu a jeho přepočítání trval zhruba 15 minut. V úpravě skenu se odstraňovaly nedostatky, které vznikaly z odrazů světla v rozích modelu, také byly odstraňovány části podpěr z palet, které nejsou součástí finálního modelu.

Typ zařízení:	IFVW 207 E	IFVW 112E - 1000	PiboMulti	IFVW 112E - 500	IFVW 103
Čas měření [mm]:	230	180	125	120	140

Tabulka 9 – Časová hodnota LLT

##### 5.1.1.2 Orýsování

Doba naměření potřebných údajů byla rýsovači stanovena odhadem. Reálně se frézovací hlavy neměřily. Odborný odhad se stanovil na průměrnou hodnotu 30 min na jednotlivé frézovací zařízení. Na orýsování by se podíleli dva rýsovači. Je zřejmé, že výstupní hodnota by byla ve srovnání s naměřeným skenem z LLT o poznání méně kvalitní. Následná rekonstrukce v programu CATIA by byla o mnoho náročnější.

	Frézovací zařízení X
Čas měření [mm]:	480

Tabulka 10 – Časová náročnost orýsování

### Vyhodnocení časové náročnosti: Leica Laser Tracker vs. rýsovači

Porovnání z hlediska časové náročnosti LLT vs. orýsování je 2,7 vs. 8 hod/hlavu. Doba potřebná pro orýsování je podstatně vyšší. Celkový čas na LLT = 795 min → 13,25 hod. Čas pro orýsování pěti hlav činí 40 hod.



$$\text{Celkový ušetřený čas použitím LLT u pěti hlav:} \\ 40 - 13,25 = 26,75 \text{ hod}$$

Tento výsledek může být zavádějící, jelikož výstupy obou variant jsou velice rozdílné. Výstup od rýsovačů by byl dostačující, ale následná rekonstrukce by spotřebovala podstatně více času jak výstup z LLT. Časová výhodnost LLT o 26,75 hod nadále vzroste při rekonstrukci v CAD/CAM systému.

## 5.1.2 Reverzní inženýrství vs. nákup modelu od výrobce

### 5.1.2.1 Reverzní inženýrství

K vyhodnocení reverzního inženýrství pro vytvoření simulace se musí uvažovat s následujícími časovými hodnotami. K časové náročnosti měření na LLT nebo metodou orýsování se musí připočíst další časy potřebné k vytvoření modelu, jeho naprogramování a vytvoření celkové simulace stroj-frézovací hlava-nástroj-obrobek.

Po získání hodnot z LLT či od rýsovačů, následovala rekonstrukce hlav v programu CATIA. Průměrná hodnota vytvoření modelu se pohybovala okolo 13 hodin. Následné programování a vytvoření simulace trvalo v průměru další 7 hodiny. Celkové zpracování od měření po vytvoření simulace obráběcího procesu je tedy 20 hodin.

## Vyhodnocení časové náročnosti: reverzní inženýrství vs. nákup modelu od výrobce

Časová náročnost reverzního inženýrství v porovnání s odkoupením hotového modelu byla tedy delší o čas měření (dle typu hlavy) a čas rekonstrukce (cca 13 hodin). Čas měření + čas rekonstrukce, časy se liší podle složitosti měřeného modelu, do tabulky byly použity průměrné hodnoty.

	Reverzní inženýrství	Odkoupení modelu
Čas měření [hod]:	2,7	0
Čas rekonstrukce [hod]:	13	0
Čas programování [hod]:	7	7
Celkový čas [hod]:	22,7	7

Tabulka 11 – Porovnání reverzní inženýrství vs. hotový model

Celková časová náročnost byla tedy jednoznačná a dle očekávání 22,7 vs. 7 hod. Vytvoření kompletní simulace pomocí reverzního inženýrství je tedy časově náročnější o 15,7 hodin na jedné hlavě než vytvoření simulace pomocí odkoupeného modelu od výrobce.

$$\text{Celkový ušetřený čas při nákupu pěti hotových modelů:} \\ 22,7 \times 5 - 7 \times 5 = 113,5 - 35 = 78,8 \text{ hod}$$

## 5.2 Finanční náročnost

### 5.2.1 Leica Laser Tracker vs. rýsovači

#### 5.2.1.1 LLT

Na skenovacím zařízení Leica pracují dva operátoři po celou dobu skenování. Hodinová sazba pro operátory ve společnost Doosan Škoda Power činí 500 Kč → hodina práce s měřicím zařízením je 1000 Kč. Komerční cena 1 hodiny v externích společnostech se pohybuje kolem 70 – 100 Euro/hod. Při aktuálním kurzu se jedná cca o 1800 – 2600 Kč/hod. Hodnota 2,7 hod = průměrná doba skenování.

*Finanční náročnost jedné hlavy na LLT:  $1000 \times 2,7 = 2\,700$  Kč*

*Finanční náročnost pěti hlav na LLT:  $2\,700 \times 5 = 13\,500$  Kč*

#### 5.2.1.2 Orýsování

Hodinová sazba pro rýsovače ve společnost Doosan Škoda Power činí 500 Kč. Pro orýsování tělesa je zapotřebí dvou rýsovačů → hodina práce = 1000 Kč. Hodnota 8 hod = průměrná doba orýsování frézovacího zařízení.

*Finanční náročnost náměru jedné hlavy:  $1000 \times 8 = 8\,000$  Kč*

*Finanční náročnost náměru pěti hlav:  $8\,000 \times 5 = 40\,000$  Kč*

## Vyhodnocení finanční náročnosti: LLT vs. orýsování

Celkové úspory se pohybují okolo desítek tisíc. Použitím LLT je ušetřeno 26 500 Kč. Tato finanční úspora, může být navýšena rozdílnou kvalitou výstupních parametrů obou variant. Skenovaný model má větší přesnost a zjednoduší postup při konstrukci v CAD systému.

*Ušetřené finance při použití LLT:*

$$40\,000 - 13\,500 = 26\,500 \text{ Kč}$$

### 5.2.2 Reverzní inženýrství vs. nákup modelu od výrobce

#### 5.2.2.1 Reverzní inženýrství

Do celkové ceny vytvoření simulace pomocí reverzního inženýrství se musí započítat veškeré náklady s ním spojené. Zde se nejedná pouze o celkovou finanční náročnost pěti hlav při skenování (13 500 Kč). Dále se musí započítat čas pracovníka na rekonstrukci všech pěti frézovacích zařízení (65 hodin) a pracovníka na programování simulace (35 hodin). Započítána byla hodinová sazba pracovníků 180 Kč.

*Celková finanční náročnost reverzního inženýrství při modelování a programování  
pěti frézovacích zařízení:*

$$13\,500 + 100 \times 180 = 31\,500 \text{ Kč}$$

### 5.2.2.2 *Nákup modelu od výrobce*

Zde se ceny velmi liší dle výrobce a požadavků na model. Cena odkoupení 3D modelu obráběcího stroje ve formátu STEP se pohybuje kolem 1 500 Euro. (STEP = mezinárodní formát dat z CAD systému) Cena frézovacího zařízení může vystoupat na 1000 Euro za jeden model. Při aktuálním kurzu se jedná cca 25 730 Kč. K této částce se musí také připočíst čas a cena programátora (35 hodin). Výrobce dodá pouze modely.

*Celková finanční náročnost nákupu pěti modelů a jejich následné naprogramování:*  
$$25\,730 \times 5 + 35 \times 180 = 134\,950 \text{ Kč}$$

### **Vyhodnocení finanční náročnosti: Reverzní inženýrství vs. nákup modelu od výrobce**

Celková ušetřená suma při použití reverzního inženýrství je 103 450 Kč. Výpočet je uvažován s měřením na LLT.

*Ušetřené finance při použití reverzního inženýrství:*  
$$134\,950 - 31\,500 = 103\,450 \text{ Kč}$$

## **5.3 Zhodnocení technicko-ekonomického hodnocení**

V kapitole 5.2 byly hodnoceny zvolené postupy k vytvoření simulace. Výpočet ušetřených financí při použití LLT 26 500 Kč. Ušetřené finance u této měřicí operace mohou být navýšeny s ohledem na dosaženou přesnost a kvalitu výstupních hodnot, oproti výstupu z orýsování. Výpočet ušetřených financí při použití reverzního inženýrství činil 103 450 Kč. Tato částka bude stoupat a klesat s ohledem na cenu pořizování 3D modelu od výrobce.

K přepočtu měny z Eura na Českou korunu, byl použit aktuální kurz ČNB ke dni 9.4.2013 (1 Euro = 25,73 Kč)

## 6 ZÁVĚR

V průběhu řešení diplomové práce byly postupně splněny stanovené cíle zadání. Splněno bylo šest, ze sedmi bodů zadání. Bod číslo pět „Porovnání simulace a skutečnosti“ byl vlivem časové náročnosti zbytku práce a jejího rozsahu vynechán. Pro kvalitní zpracování bodu pět by byla potřeba součást skutečně obrobít, aby mohlo dojít ke srovnání simulace a skutečnosti. Ovšem v době zpracování diplomové práce, nerotační těleso, na kterém byly prováděny simulace, nebylo ve firmě obrobeno. Jako výsledek práce byly vytvořeny modely frézovacích zařízení, model stroje a jejich simulace.

V rámci diplomové práce, bylo postupně naskenováno pět frézovacích zařízení, pomocí Leica Laser Tracker s přídatným zařízením T – CAM a rozšířením o T – Scan. Pořízená data byla následně zpracována v softwaru PolyWorks. Pro vytvoření plošných modelů byl použit CAD/CAM systém CATIA V5R20. Ve stejném programu byla vytvořena maketa stroje, obráběcí program a následná simulace celého procesu obrábění.

Vytvoření a dostupnost virtuálního stroje v simulaci má pro kvalitní, efektivní a přesnou přípravu výroby pozitivní význam. Dosavadní praxe CNC programátorů při vyšetřování kolizních stavů částí soustavy S – N – O, obsahovala několik nutných kroků navíc oproti možnostem simulace s 3D modely výrobního zařízení. Jedná se zejména o pracnější, zdlouhavější modelování jednotlivých situacích ručním způsobem v CAD systému, podle dostupných geometrických dat. Z důvodu větší časové náročnosti, zejména u komplikovanějších případů, docházelo dále k určitým zjednodušováním při modelování situace, což mělo negativní vliv na kvalitu simulačního procesu. Menší míra jistoty výsledného nastavení procesu pak vedla ke snižování rizika kolize například prodlužováním nástrojové sestavy, nebo i k fyzické přítomnosti programátora při kontrole procesu přímo ve výrobě. Použitím simulace s virtuálním strojem je tento postup nahrazen efektivnějším řešením. Odsimulováním obráběcího procesu v CAM systému předejde programátor nejen kolizním stavům, ale dokáže optimalizovat celý obráběcí postup. Možností použití virtuálního stroje v simulaci optimalizuje výběr stroje i výběr nástroje.

Předcházením kolizím se ušetří finanční prostředky, které by byly vynaloženy na případné opravy. Poškozen může být nástroj, frézovací hlava, obráběná součást nebo samotný obráběcí stroj, zejména oprava speciálních zařízení, může znamenat značnou časovou ztrátu v řádu až několika měsíců. Penále za zpožděné dodání produktu zákazníky se mohou vyšplhat do astronomických částek. Některé chyby při technologické přípravě výroby programování mohou mít fatální následky, může dojít až k nenávratnému poškození obráběcího stroje. Výrobní společnost nemůže mít na skladě veškeré náhradní součásti pro každý stroj, a tak i menší poškození frézovací hlavy může znamenat několika denní přerušení výroby. V celkovém měřítku jsou takto vzniklé škody obrovské.

V technicko-ekonomickém hodnocení byly vypočteny ušetřené finance při použití reverzního inženýrství oproti nákupu modelů od výrobců. Rekonstrukce frézovacích zařízení společnost vychází finančně výhodněji. To ale neznamená, že tato varianta je vždy nejvhodnější zvolenou cestou. Dostupný musí být kvalifikovaný pracovník, které má zkušenosti se zmíněnou prací. Musí být k dispozici určitý časový fond a v neposlední řadě hardware (Leica apod.), software s příslušnými požadavky na vytvoření celého virtuálního stroje.

Zpracováním této diplomové práce byla vytvořena maketa stroje s pěti různými frézovacími zařízeními. Virtuální stroj byl zpracován tak, aby byl dostupný všem programátorům firmy. Je k dispozici k jakékoliv simulaci vytvářené programátory, vyvoláním z knihovny.

Všechny frézovací hlavy jsou zpracovány i pro separátní použití bez ostatních částí stroje Škoda HCW 3, což zvyšuje využitelnost i pro další 3 typy horizontálních vyvrtávacích strojů používaných v Doosan Škoda Power, protože jednotlivé hlavy jsou fyzicky přenositelné mezi jednotlivými stroji, nebo tyto stroje využívají stejné typy frézovacích hlav jako svoje vlastní.

## POUŽITÉ ZDROJE

### 1 KNIŽNÍ PUBLIKACE

- [1] PŘÍKRYL, Z., MUSÍLKOVÁ, R.: *Teorie obrábění*. Praha: SNTL, 1982
- [2] SOVA, F.: *Technologie obrábění a montáže*. Plzeň: VŠSE, 1989
- [3] SVOBODA, E.: *Technologie programování CNC strojů*. Fragment Havlíčkův Brod, 1998
- [4] OPLATEK, F.: *Číslicové řízení obráběcích strojů*. Fragment Havlíčkův Brod, 1998
- [5] DOBŘICKÝ, J., LACKO, B.: *CAD/CAM*. VUT Brno, 1992
- [6] Doosan Škoda Power – Podklady společnosti
- [7] Leica Absolute Tracker – Uživatelská příručka
- [8] ŽÍDEK, J: Disertační práce - Výzkum v oblasti aplikace progresivních měřících zařízení a metodiky reverzního inženýrství, 2009

### 2 PUBLIKACE NA INTERNETU

- [9] DYTRON s.r.o.  
<http://www.dytron.cz/catia-popis/catia.aspx>
- [10] POLZER, Aleš.: *Akademie CNC obrábění. Technický týdeník [online]* Dostupné z:  
<http://www.technickytydenik.cz/rubriky/serial/akademie-cnc-obrabeni/>
- [11] <http://www.cambam.info/>
- [12] <http://www.gsimple.eu/index.html>
- [13] <http://www.mastercam.cz/>
- [14] [http://www.tenlinks.com/news/PR/cnc/100808\\_mastercam\\_x3.htm](http://www.tenlinks.com/news/PR/cnc/100808_mastercam_x3.htm)
- [15] [http://www.bizlink.com/plant/newsletters/eblast\\_130907.html](http://www.bizlink.com/plant/newsletters/eblast_130907.html)
- [16] <http://mastercam-x5.software.informer.com/screenshot/290401/>
- [17] <http://www.3epraha.cz/surfcam>
- [18] [http://www.surfcam.com/surfcam\\_multi\\_axis.aspx](http://www.surfcam.com/surfcam_multi_axis.aspx)
- [19] <http://virtualmdlab.eng.usf.edu/facilitiessoftware.html>

- [20] [http://news.thomasnet.com/company\\_detail.html?cid=10057183](http://news.thomasnet.com/company_detail.html?cid=10057183)
- [21] <http://kovoprog.cz/en/index.html>
- [22] <http://www.designtech.cz/c/cam/puvodni-cesky-cam-system-kovoprog.htm>
- [23] [http://u12134.fsid.cvut.cz/?udaj=link&list=skup\\_technologie\\_obrabeni&tisk=1](http://u12134.fsid.cvut.cz/?udaj=link&list=skup_technologie_obrabeni&tisk=1)
- [24] [http://www.bee-pitron.ru/ru/left/mash/cimatron/NC\\_ADs/index.shtml](http://www.bee-pitron.ru/ru/left/mash/cimatron/NC_ADs/index.shtml)
- [25] <http://www.designtech.cz>
- [26] <http://www.aveng.cz/technologie/ngc-cam.aspx>
- [27] <http://www.designtech.cz/c/cam/inventorcam-novinka-na-trhu-s-cam-systemy.htm>
- [28] <http://www.solidcam.cz/cz>
- [29] <http://www.edgcamcz.cz/>
- [30] <http://www.designworldonline.com/edgcam-showcases-latest-cadcam-and-dnc-technology/>
- [31] [http://www.tenlinks.com/news/PR/Planit\\_holdings/110608\\_edgcam09r1\\_release.htm](http://www.tenlinks.com/news/PR/Planit_holdings/110608_edgcam09r1_release.htm)
- [32] <http://www.uniok.cc/en-EdgeCAM.html>
- [33] <http://www.usinenouvelle.com/industrie/sescoi-1991/-achsen-frasen-p39232.html>
- [34] <http://www.sescoi.com/products/worknc/workncg3/new-user-interface/new-graphic-interface/>
- [35] <http://www.hsmworks.com/>
- [36] <http://www.moduleworks.com/index.asp>
- [37] <http://www.tebis.com/cms/index.php?L=1>
- [38] [http://cadcamfunda.com/cadcam\\_softwares](http://cadcamfunda.com/cadcam_softwares)
- [39] <http://www.deskeng.com/articles/aaaxjr.htm>
- [41] <http://www.catia.cz/Product-Synthesis.52.0.htm>
- [40] <http://coptel.coptkm.cz/index.php?action=2&doc=30542&docGroup=5803&cmd=0&instance=2>
- [42] <http://www.hexagonmetrology.cz/>
- [43] <http://www.delcam.cz/produkty/featurecam>

### **3 SEZNAM POUŽITÉHO SOFTWARE**

CATIA V5R20

PolyWorks

Photo Filtre



# **PŘÍLOHY K DIPLOMOVÉ PRÁCI**

Simulace NC programu v CAM systému a porovnání se skutečností

Autor: **Bc. Jiří PEJCHAR**

## **SEZNAM PŘÍLOH:**

<b>Příloha č.1</b>	CAM systémy – Druhy .....	I – XVI
<b>Příloha č.2</b>	Ukázky strategie obrábění.....	XVI – XX

## **PŘÍLOHA č. 1**

### **CAM systémy – Druhy**

## FeatureCAM

FeatureCAM je CAD/CAM software, který slouží k programování soustružnických a frézovacích strojů. Vyniká vysokou automatizací pomoci, které je snadnější načíst jakýkoliv 3D CAD modely a následně je automaticky obrobít pomocí vhodné strategie. Program je schopný určit vhodný nástroj na obrábění a přibližný čas obrábění pro nastavení uživatelem. Do celkového času lze započítat čas výměny nástroje, potřebná přejíždění apod.. FeatureCAM obsahuje databáze řezných podmínek a nástrojů, generuje optimalizaci posuvu a lze si spustit 3D simulaci nastaveného obrábění.

K základnímu balíčku programu FeatureCAM lze získat Vericut Interface. Ten slouží k reálným simulacím pohybů stroje. Program simuluje obrábění modelu ale také pohyby stroje při obrábění, tím je možné odhalit případné kolize stroje s nástrojem apod..

Zatím co u tradičního CAMu, který je založený na definování jednotlivých operací a kde je nutné zadávat spoustu parametrů, určovat hranice obrábění, definovat nástroj, řezné podmínky, kroky, operace hrubování nebo dokončení apod., FeatureCAM definuje přímo technologický prvek. Systém již sám dle vestavěných nebo uživatelských kritérií navrhne optimální a korektní řešení. [43]

Výhody:

- + Dostupnost neplacené verze – vhodná pro naceňování zakázek.
- + Nakreslí nebo importuje model.
- + Vypočítá řezné podmínky a hloubku řezů.
- + Rozděluje hrubovací a dokončovací operace.
- + Lze simulovat a získávat časy o délce obrábění.
- + Generuje dráhy nástroje.
- + Generuje NC kód.
- + Automatické nastavení se dají upravovat.
- + Operační systém: Windows XP/ Vista/ 7 (32bit/ 64bit).
- + Rychlost a jednoduchost vytvoření 2.5D nc program

Nevýhody:

- V neplacené verzi nelze ukládat projekt a generovat NC kód.



Obr. 92 FeatureCAM – ukázka [40]

## CamBam

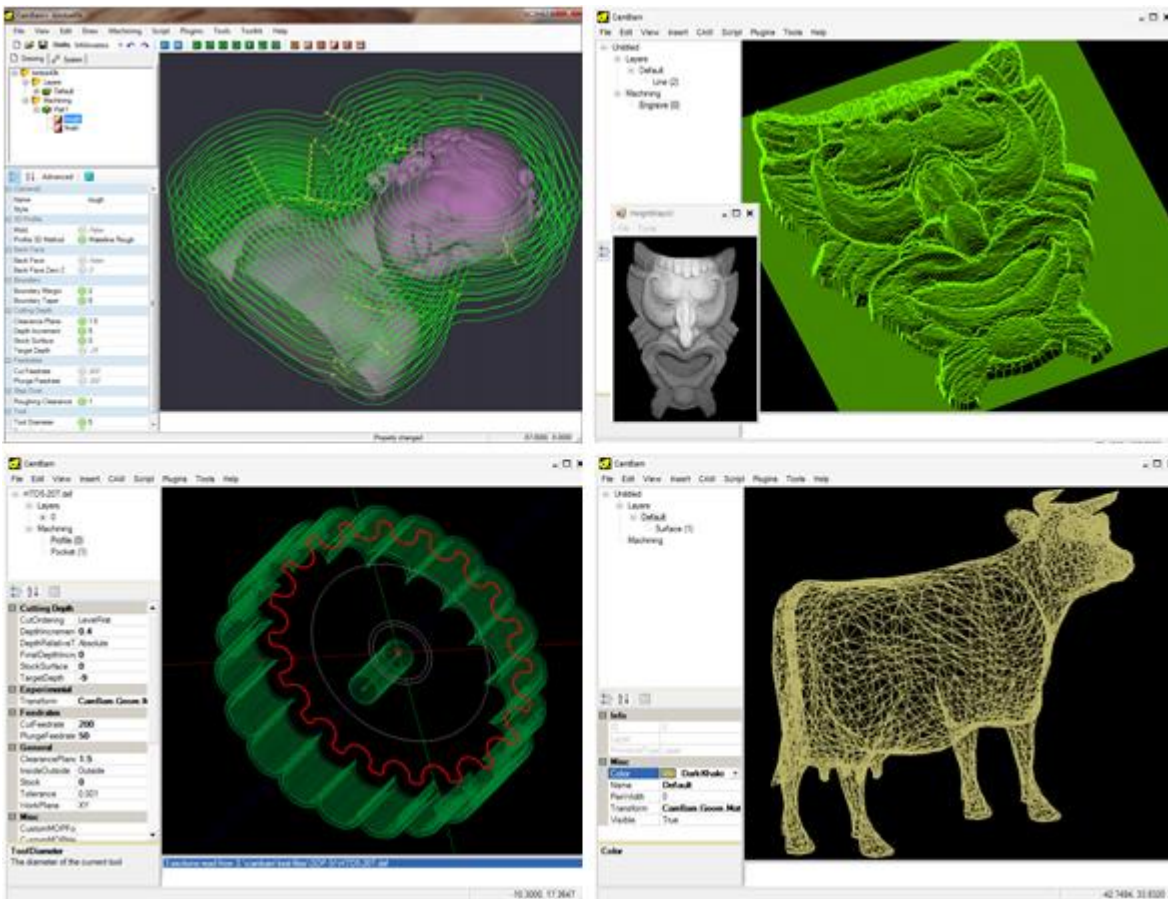
CamBam je CAM systém sloužící pro vytvoření G-kódu ze zdrojového souboru CAD. Software byl vyvinut ve Velké Británii, svými vlastnostmi je spíše vhodný pro volnou a uměleckou činnost než pro stojní obrábění. Tento program zvládá 2.5D kapsování, profilování, vrtání, gravírování, vytvoří dráhy řezného nástroje. Má vlastní editor geometrii. Jeho použití je rozšířené jak u profesionálních strojníků, tak u domácích kutilů.

Výhody:

- + Možnost vytvoření 3D obrábění na základě fotografie.
- + Jednoduchost

Nevýhody:

- Malá podpora 3D frézování.



Obr. 93 CamBam – Ukázka [11]

## G-SIMPLE

CAM systém pro vytvoření drah řezného nástroje. Tento program nebyl vytvořen za účelem komerčního využívání ve strojním průmyslu, ale spíše jako zábavný program, který má sloužit pro výuku a lepší představivost procesu obrábění. Je zdarma ke stažení na internetu.

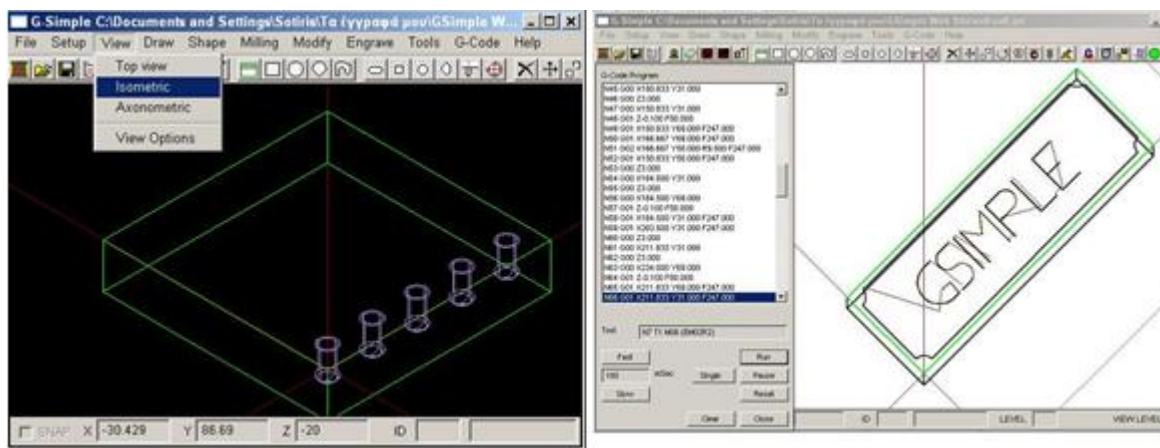
Charakterizuje ho jednoduché prostředí, kde lze vytvářet 2.5D frézovací dráhy, tvoření závitů, vrtací operace nebo frézování textu (gravírování). G-SIMPLE nabídne uživateli několik knihoven materiálů, nástrojů a upínačů. Dále je zde databáze s nástrojovými daty. Jedná se o posuvy nástroje, rychlost obrábění apod.. CAD je na velice základní úrovni nabídne jen několik jednoduchých operací.

Výhody:

- + Operační systém: Win98/2000/XP/Vista, LINUX.™
- + Možnost 3D simulace.

Nevýhody:

- Nedosahuje profesionálních kvalit.
- Nedostateční CAD.



Obr. 94 G-SIMPLE – Ukázka [12]

## GNU Computer Aided Manufacturing

GCAM patří mezi jednoduché programy sloužící pro vytvoření frézovacích a vrtacích operací. Jedná se velmi malý program, ale i přesto má vlastní, integrované nástroje pro vytvoření geometrie. GCAM je také schopný generovat G kód.

## MasterCAM

MasterCAM byl vyroben americkou společností CNC Software, Inc Tolland. V současné době je jedním z nejprodávanějších CAM systému na trhu, ve srovnání s konkurencí se může pochlubit až s dvojnásobným počtem prodaných licencí. MasterCAM je plnohodnotný CAD/CAM systém s širokým využitím v mnoha oblastech výroby. Program nabízí navržení modelu ve 2D s přechodem na 2.5D, 3D až do víceosého obrábění. Modul pro frézování nabízí možnosti pro obrábění více ploch současně až ve třech osách, gravírování, 2 až 3 osé obrábění ploch, kapsování (hrubé, dokončovací), 3D konturování a vrtání. Modul pro soustružení umožňuje 2 osé soustružení s obráběním na ose C, 2 a 4 osé obrábění drátového řezání.

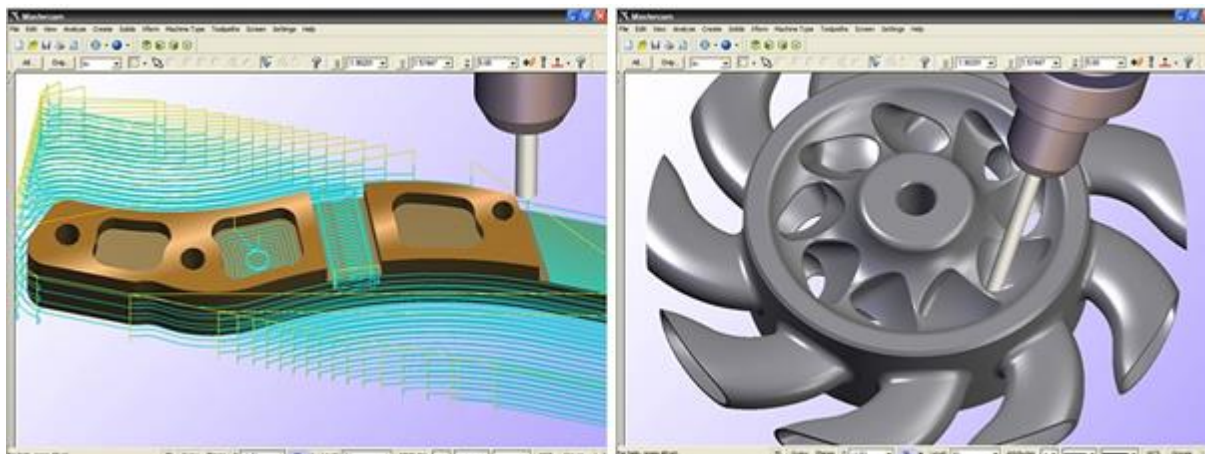
Robotmaster slouží k programování obráběcích robotů a je integrovaným software pro MasterCAM. Pomocí tohoto programu lze programovat roboty pro obrábění 2.5 až 5 osé. V současné době se jedná prakticky o jeden z mála CAD a CAM systémů, který toto nabízí. Robotmaster umožňuje zvolení dráhy robotů a simulaci ve 3D. Pomocí simulace je uživatel schopen včas odhalit kolize nástroje s výrobkem, které mohly vzniknout při nastavení výjezdů, nájezdů, posuvů apod.. Program je nadstavbový produkt MasterCAM a tak není možné ho zakoupit samostatně.

Výhody:

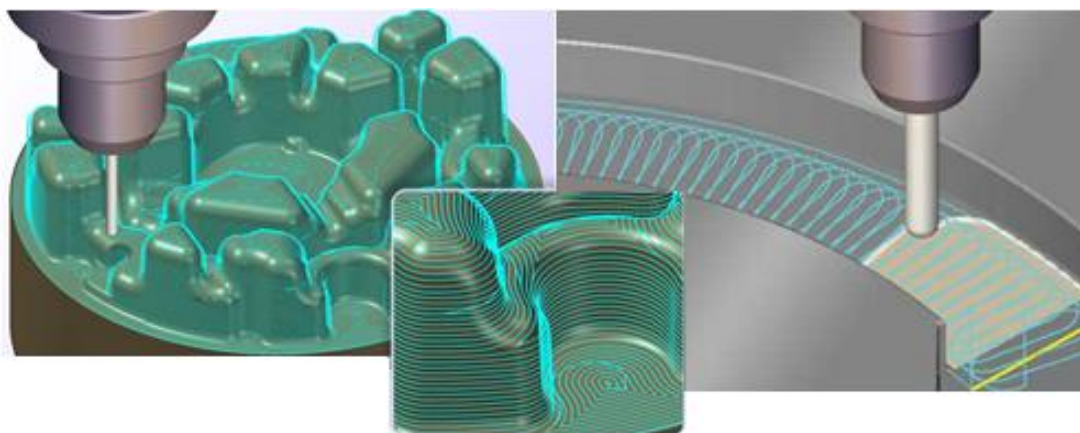
- + Podpora celosvětovou sítí odborných prodejců.
- + Široká uživatelská online komunita – poradenství, nápovědy, tipy apod..
- + Robotmaster – rychlé programování robotů.

Nevýhody:

- Pořizovací cena.



Obr. 95 Ukázka MasterCAM1 [14]



Obr. 96 Ukázka MaterCAM 2 [15][16]



## SURFCAM

SURFCAM je software zaměřený na CAM. Nabízí široké možnosti pro vytváření obráběcích programů od 2 osého až po 5 osého CNC frézování, soustružení, řezání drátem, laserem nebo plasmou. V programu lze provádět hrubovací a dokončovací operace, zbytkově obrábět nebo ověřovat zvolenou dráhu nástroje. Obsahuje technologii True Mill, která automaticky navrhne dráhu nástroje s ohledem na úhel styku nástroje s materiálem. Pro přeložení dráhy nástroje pro zvolený stroj slouží (postprocesing) SURFCAM Verify. Software disponuje mnoha hotových postprocesorů např: Heidenhain, Mazak, Siemens, Fanuc apod.. SURFCAM neobsahuje pouze CAM (technologickou část), ale také CAD (modelování). Program také umožňuje verifikaci dráhy nástroje. Vizualní simulace se provádí ve 3D a je schopná odhalit chyby v programu. Kontroluje kolize nástroje s obrobkem a to akusticky i změnou barvy. Model lze odměřovat a proces obrábění je možno sledovat ze všech stran. Po ukončení simulace lze obrobek porovnat se skutečným výrobkem. Zobrazí se plochy, které byly špatně obrobeny. Uživatelem tohoto produktu jsou výrobci z lékařského, leteckého a automobilového průmyslu nebo spotřební elektrotechniky. Patří mezi nejrozšířenější poskytovatele CAM na českém trhu.

TrueMill je patentovanou technologií systému SURFCAM. Tato technologie automaticky přizpůsobuje dráhu nástroje tak, aby úhel styku nástroje s materiálem nepřekročil maximálně povolenou hodnotu. Dráhy nástroje technologie TrueMill jsou velmi odlišné od všech ostatních hrubovacích drah nástrojů. Všechny rohy a ostré změny směru v dráze nástroje jsou odstraněny. Tím je odstraněn problém nerovnoměrného namáhání nástroje. Vlivem technologie TrueMill lze snížit celkový čas obrábění až o 80% a 10krát zvýšit životnost nástroje. Tím se zvýší produktivita stroje i celého procesu obrábění. Také se podstatně zvýšila hloubka řezu. [17]

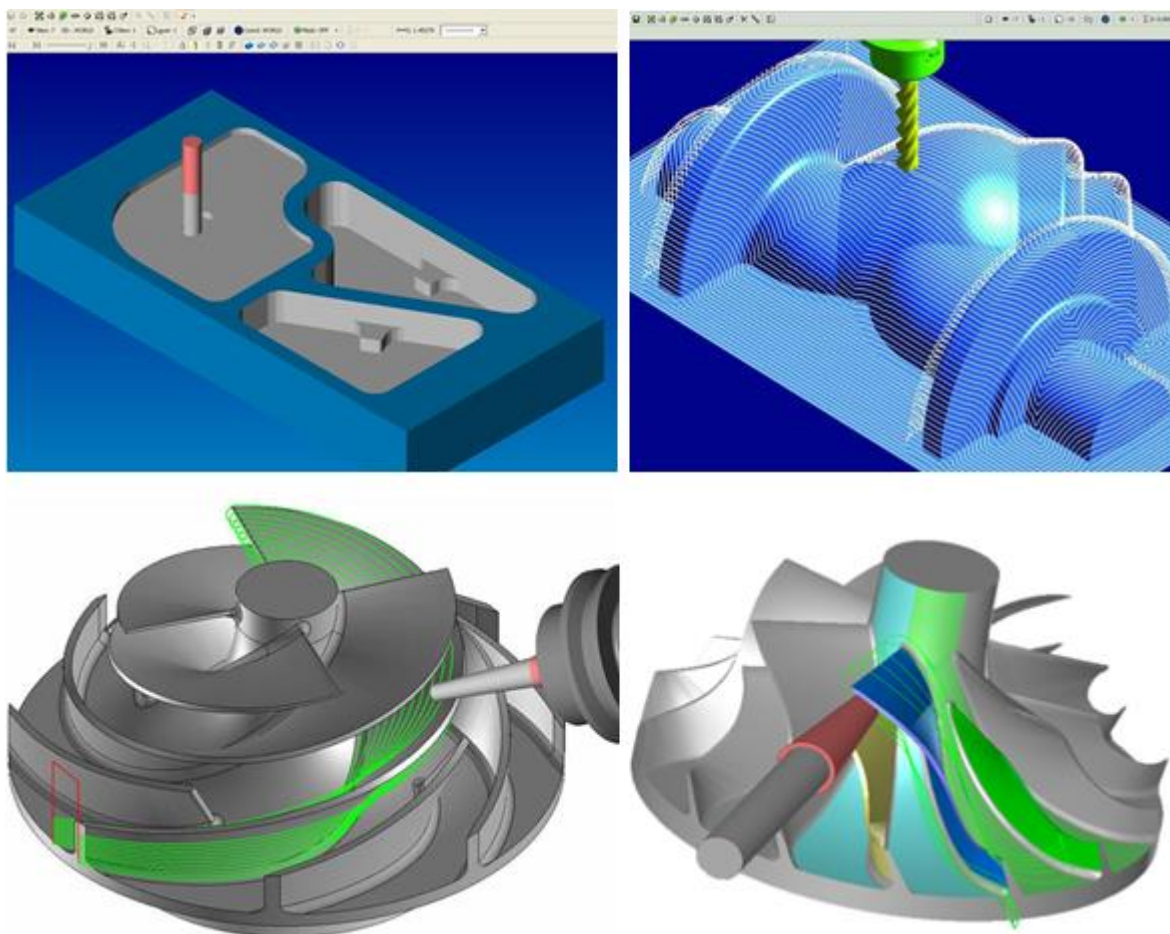
Výhody:

- + Skládá se z CAD/CAM – lze editovat model.
- + CAD na vysoké úrovni.
- + Patentovaná technologie TrueMill – zvýšení produktivity obrábění.
- + Práce s HSM (Vysokorychlostní obrábění).
- + Verifikace dráhy nástroje.
- + Import dat mnoha formátů.
- + Simulační systém.

Nevýhody:

- Pořizovací cena





Obr. 97 Ukázka SURFACE [18][19][20]

## Kovoprogram

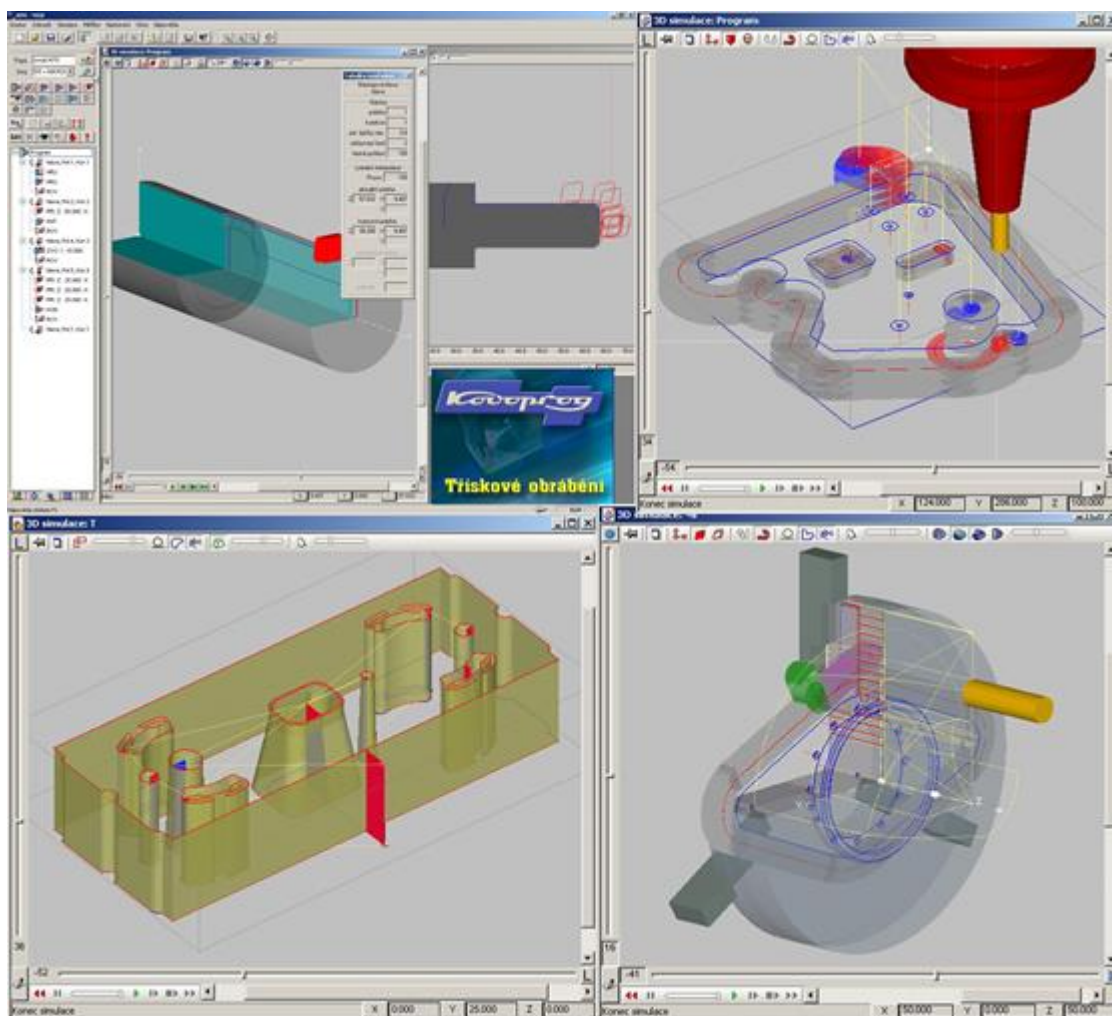
Jediný český výrobce CAM systémů je Kovoprogram. Má využití k tvoření obráběcích programů pro obrábění na NC a CNC strojích. Obsahuje grafický editor pro konstrukci tvaru součásti, generátor postprocesorů nebo katalog nástrojů. Zpracuje a zobrazí návrh zvolené technologické operace včetně simulace drah řezného nástroje. Je k dostání ve třech základních pracovních modulech: Soustružení, Frézování a vrtání, Drátové řezání. Modul soustružení nabízí několik funkcí. Dokáže spojit frézování a soustružení s vodorovnou i svislou osou jednotného programu. Podporuje operaci více vřeten a obrábění ze strany upnutí. V knihovně je uloženo několik karuselů. Modul frézování a vrtání poskytne 2.5D frézovací a vrtací operace. Nabízí 2D a 3D grafický editor pro konstrukci křivek a pracovních rovin při frézování nebo využití možnosti otočného stolu při obrábění.

Výhody:

- + Poměr cena/výkon.
- + Operační systémy: Windows XP/Vista/7
- + Jednoduchá obsluha.
- + Postprocesory dle přání zákazníka.

Nevýhody:

- Jednoduchost CAD systému.



Obr. 98 Ukázka Kovprog [22][23]

## CimatronE

CimatronE je software s CAD/CAM systémem. Specializuje se především na výrobu lisovacích forem a postupových nástrojů. Své uplatnění najde především u nástrojářských firem. Tento program má plně funkční CAD plošných i objemových těles. CAM nabízí obrábění od 2.5 až do 5 osého frézování, vrtání nebo drátořezné operace. Umožňuje nastavení strategií, mikroobrábění nebo vysokorychlostní frézování s vysokou kvalitou obrobené plochy. Dokáže optimalizovat vygenerované dráhy nástrojů. CimatronE má propracované moduly simulace. Lze simulovat dráhy nástroje tak jako stroje. Od konkurenčních CAM systémů se liší v nabídce několika speciálních modulů, jakými jsou například Mold Design (Návrh vstříkací formy), Die Design (Návrh lisovacích postupových nástrojů) nebo ShoeExpress což je speciální aplikace pro obuvnický průmysl.

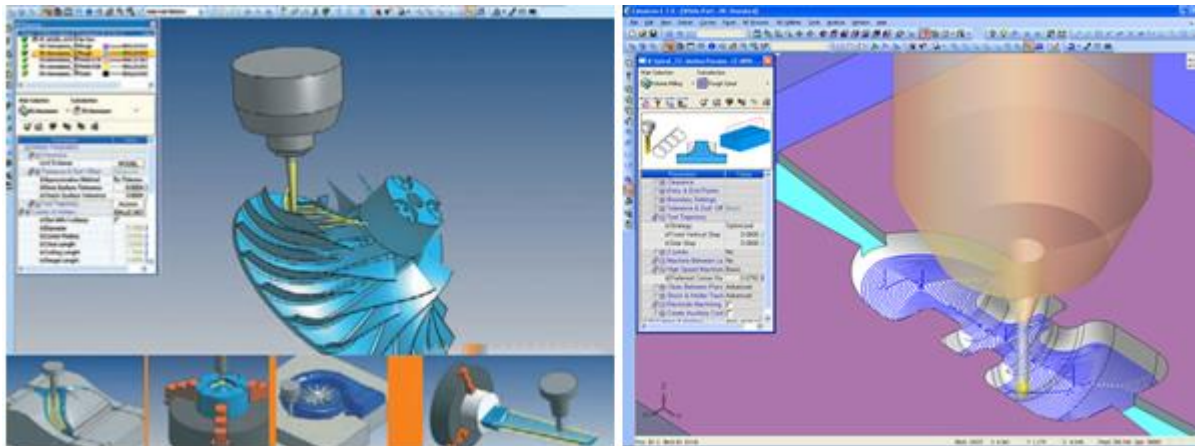
Výhody:

- + Simulace.

- + Speciální moduly.

Nevýhody:

- Pořizovací cena



Obr. 99 CimatronE – Ukázka [24][25]

## NCG CAM

Je jedním z nejnovějších CAM systémů na trhu. Software je především pro nástrojárny a nabízí až 5 osé frézování. Dokáže spočítat dráhy nástrojů a optimalizuje nájezdy. Tím se zvyšuje životnost nástrojů. Pracuje se strategiemi HSM, hrubování, dokončování a zbytkové obrábění. Po dokončení každé části obrábění se zobrazí přesná podoba obráběné části. Modul simulace obsahuje veškeré moderní techniky. Simulace obráběcího programu zajišťuje kontrolu kolizí nástrojů a upínačů s obrobkem či polotovarem. Je velice přesná a velice rychlá. Po odsimulování je možnost použít nástroje pro analýzu obráběného kusu. V knihovně nástrojů jsou k dispozici i řezné podmínky rozdělené dle materiálu obrobků. Pomocí maker lze automatizovat některé parametry a geometrie pro obrábění. To umožní snadnou změnu drah nástroje pro opakovaně používaných technologií. Process Manager je vícekanálový a tak umožňuje pracovat na několika úkolech zároveň.

NCG CAM nabízí několik pokročilých technik obrábění:

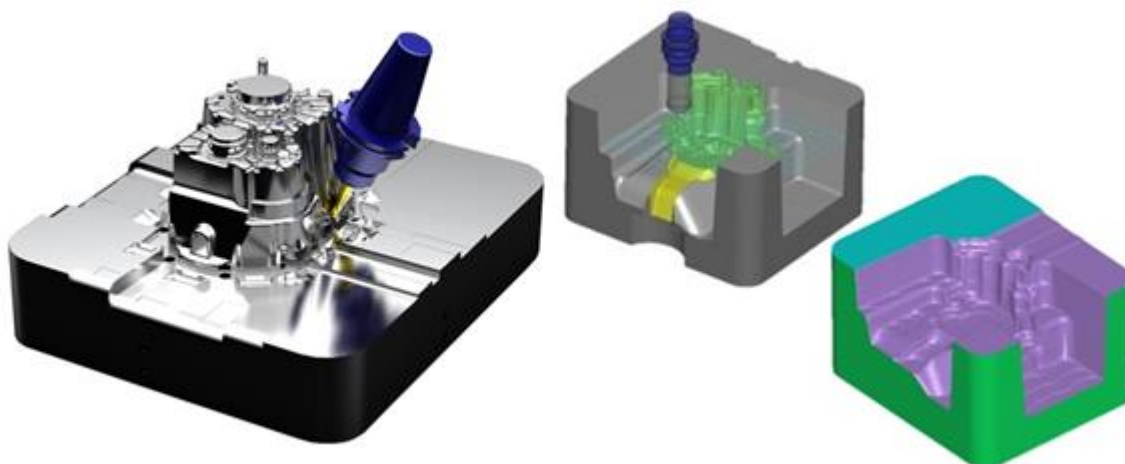
- Automatické hrubování a dohrubování (menším průměrem nástroje) s hladkými a efektivními dráhami nástroje. [26]
- Speciální strategie pro rychlé a efektivní obrábění jader a dutin. [26]
- Raster Machining, Waterline (Z-level) Machining. [26]
- Spirální a radiální dráhy nástroje. [26]
- Dokončování zaoblených rohů pomocí Pencil single-pass nebo Pencil multi-pass strategií. [26]
- Automatická detekce otvorů pro vrtání. [26]
- Obrábění bokem nástroje (swarf milling). [26]
- Obrábění hlubokých dutin a dlouhých jader. [26]
- Odklon osy nástroje od normály k ploše. [26]

Výhody:

- + Snadná ovladatelnost.
- + Proces simulace na vysoké úrovni
- + Velice rychlá generace NC drah
- + Vizualizace obrobené součásti na obrazovce

Nevýhody:

- Pořizovací cena



Obr. 100 NCG – Ukázka [26]

## InventorCAM

Je modul CAM pro Autodesk Inventor. Nabízí možnost frézování 2D, vysokorychlostní frézování HSM, 5-osé frézování, modul automatického vrtání, drátořez, soustružení nebo kombinace soustružení a frézování. Pro kombinaci je možné použít vícevřetenové automaty s odpovídajícími funkcemi.

InventorCAM podporuje práci s upínači, kinematickými simulátory obráběcích center, které jsou nezbytné pro kontrolu kolizních situací. Ty hrozí u víceosých strojů řádově více než u běžných tříosých strojů. Dále lze s InventorCAMem programovat všechny typy CNC soustruhů a soustružnicko-frézovacích automatů s poháněnou C, Y či pátou B osou, s jedním nebo dvěma vřeteny k upnutí obrobku. [27]

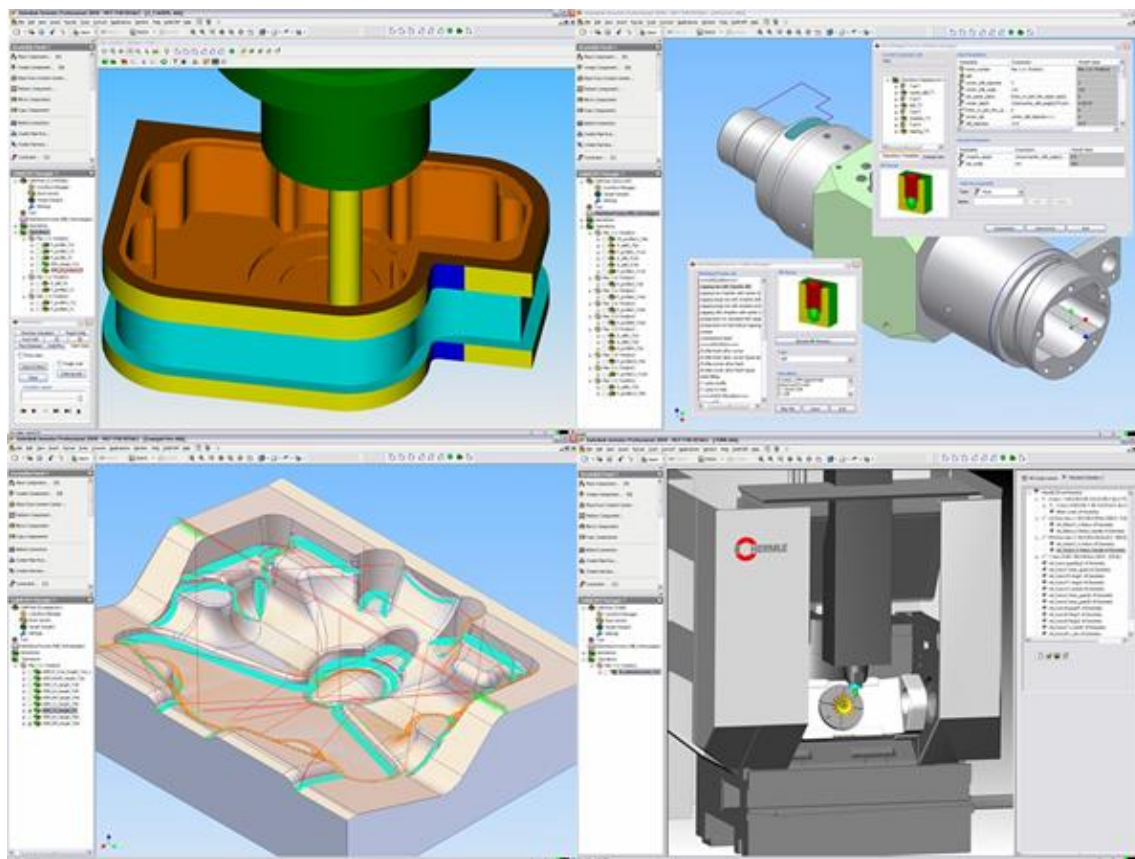
Výhody:

- + Jednoduchost
- + Možnost simulace stroje

Nevýhody:

- Jde použít jen u vybraných CAD systémů.





Obr. 101 InventorCAM – ukázka [27]

## EdgeCAM

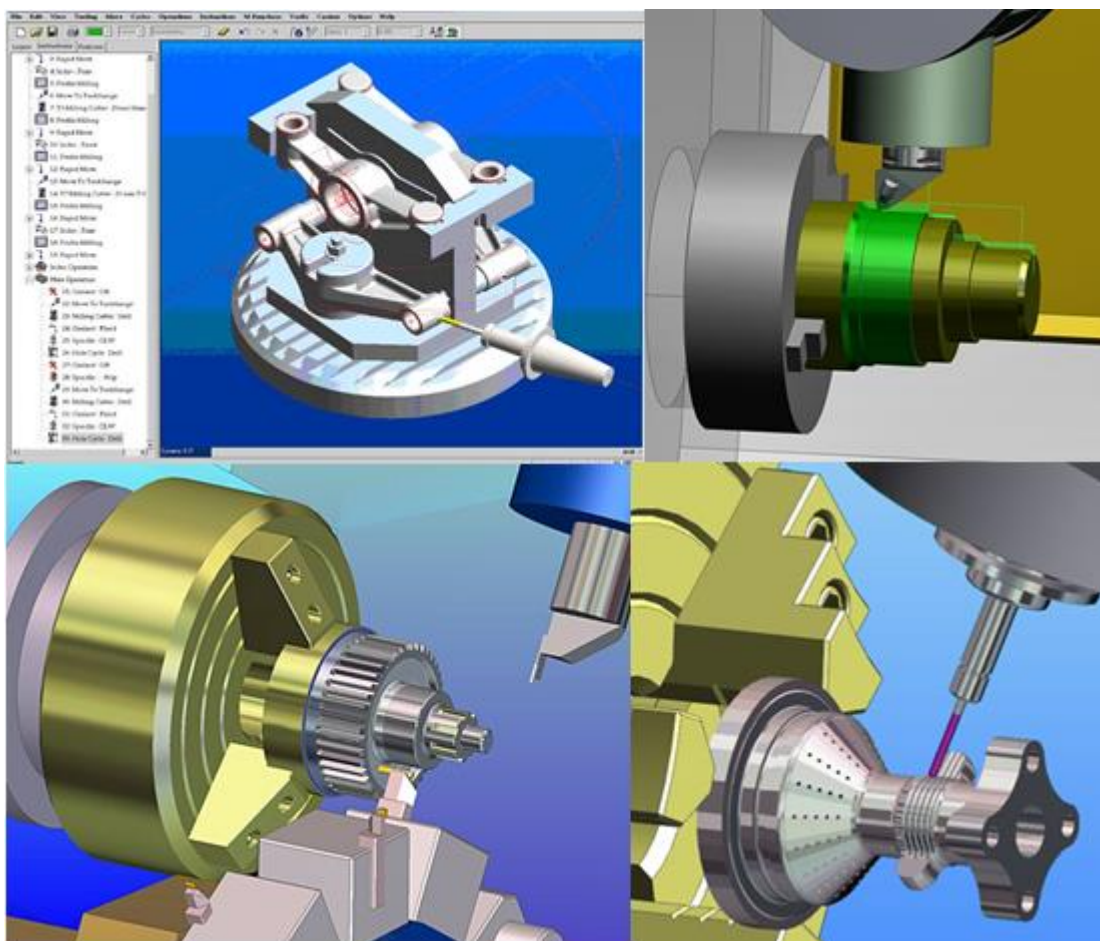
CAM systém pro programování 2 až 5 osých frézovacích, soustružnických nebo kombinovaných obrábění. Využívá se především k vytvoření tvarových forem a zápustek. Je používán v mnoho odvětví strojního nebo dopravního průmyslu. Při soustružení lze využít obrábění více vřeten, včetně osy B. Poskytuje možnost simulace obrábění v prostředí virtuálního stroje a vyzkoušení technologického řešení obrábění. EdgeCAM dokáže načíst modely z mnoho CAD systémů například: Autodesk Inventor, SolidWorks, Pro/ENGINEER nebo CATIA V5.

Výhody:

- + Možnost realizace výuky na virtuálních strojích.
- + Ideální pro výuku studentů.

Nevýhody:

- CAD systém.



Obr. 102 EdgeCAM – Ukázka [25][30][31][32]



Obr. 103 Pětiosé vertikální obráběcí centrum MCU 63V – 5X [25]

## SolidCAM

SolidCAM je integrovaný software SolidWorks. Podporuje 2 až 5 osé frézování, soustružení, soustružení na více vřetenovém stroji, HSS obrábění ploch, HSM vysokorychlostní obrábění nebo drátové řezání. Má vlastní technologii iMachining. Ta pomáhá snižovat čas

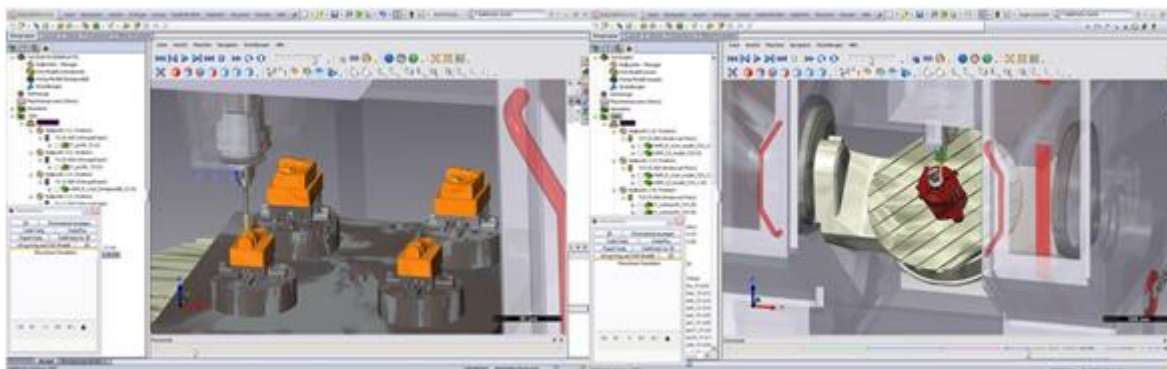
obrábění, zvyšovat životnost nástroje a efektivitu stroje. V SolidCAM lze programovat také pokročilé frézování nebo soustružení až do sedmi os. Má automatickou volbu prvků pro díry a kapsy těles. Na internetu je dostupnost až 100 instruktážních videí, které slouží pro výuku. SolidCAM má simulační modul na vysoké úrovni. Umožňuje kontrolu nad obráběcími operacemi ještě před samotným vygenerováním NC programu a jeho odeslání na obráběcí stroj. Simulace je prováděna v reálném čase a automaticky kontroluje kolize nástrojů a upínačů. Simuluje také pohyby stroje.

Výhody:

- + iMachining
- + Frézování a soustružení až do sedmi os.
- + Simulační modul na vysoké úrovni.
- + Komplettní simulace stroje.
- + Výuka na internetu.

Nevýhody:

- Integrovaný systém SolidWorks.



Obr. 104 SolidCAM – Ukázka [28]

## HSMWORKS

HSMWORKS patří do skupiny CAM systémů, které se integrují do CAD systémů, nejčastěji do SolidWorks. Nabízí klasické operace pro obrábění a to 2.5 až 5 osé frézování, soustružení, jejich kombinaci HSM obsahuje balíček simulace s optimalizací dráhy nástroje. Uživatelé tímto umožňují kontrolu vygenerované dráhy nástroje. Dochází k detekci případné kolize mezi upínačem obrobku nebo upínačem nástroje. Výsledný obrobek je barevně označen. Po vygenerování dráhy nástroje se může kontrolovat rychlosti i jeho směry pohybu. Provádí se také simulace obráběcího stroje, kde se především kontrolují kolize nástroje – stroj.

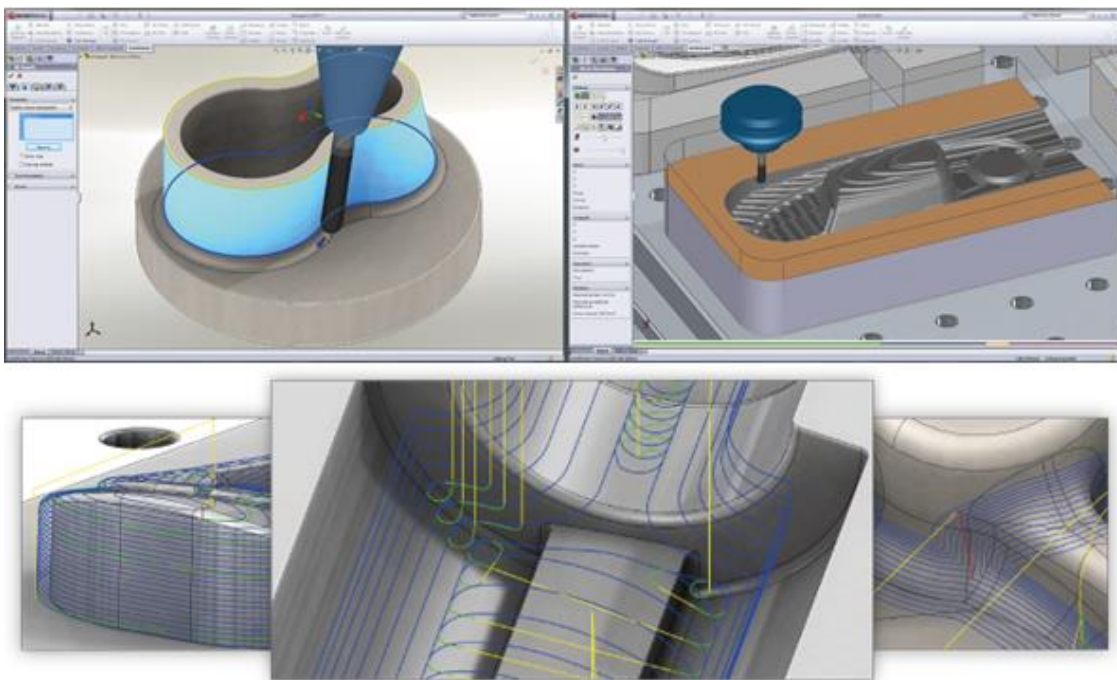
Výhody:

- + Možnost realizace výuky na virtuálních strojích.
- + Ideální pro výuku studentů.



Nevýhody:

- Nedisponuje CAD systémem.



Obr. 105 HSMWORKS – Ukázka [35]

## Tebis

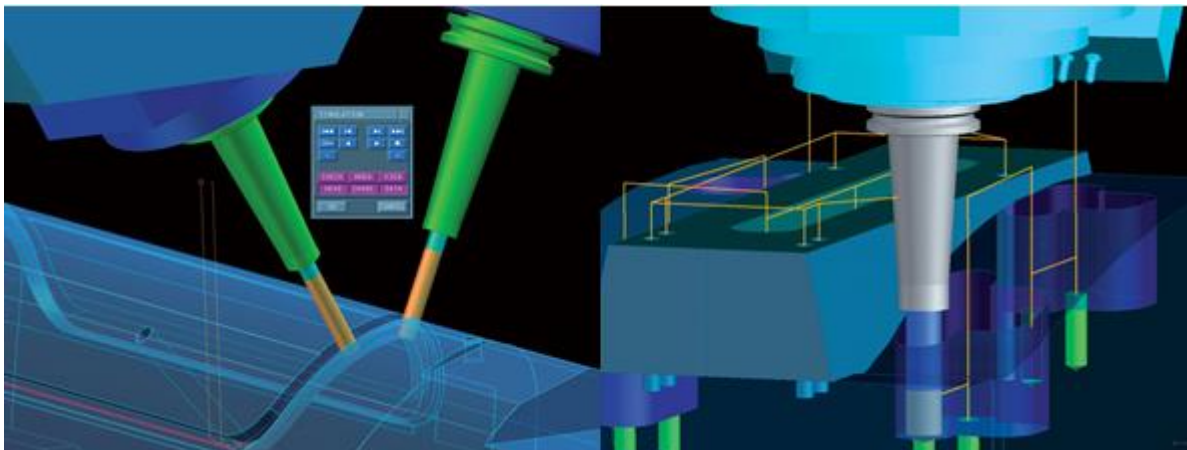
Tebis se vyznačuje jako komplexní CAD/CAM software. Modelování v CAD, programování NC v CAM poskytuje uživateli veškeré potřebné služby. V modulu obrábění lze najít 2.5 až 5 osé frézování. Tebis NC Simulator umožňuje zobrazení virtuálního stroje. Obsahuje detailní pohled NC stroje s geometrickými rozměry a knihovnu, kde jsou k dispozici kinematické podmínky (najíždění, výměna nástroje atd.)

Výhody:

- + CAD/CAM
- + Tebis NC Simulator
- + Možnost simulace s obráběcí strojem.

Nevýhody:

- Grafická podoba systému



Obr. 106 Tebis – Ukázka [37]

## GibbsCAM

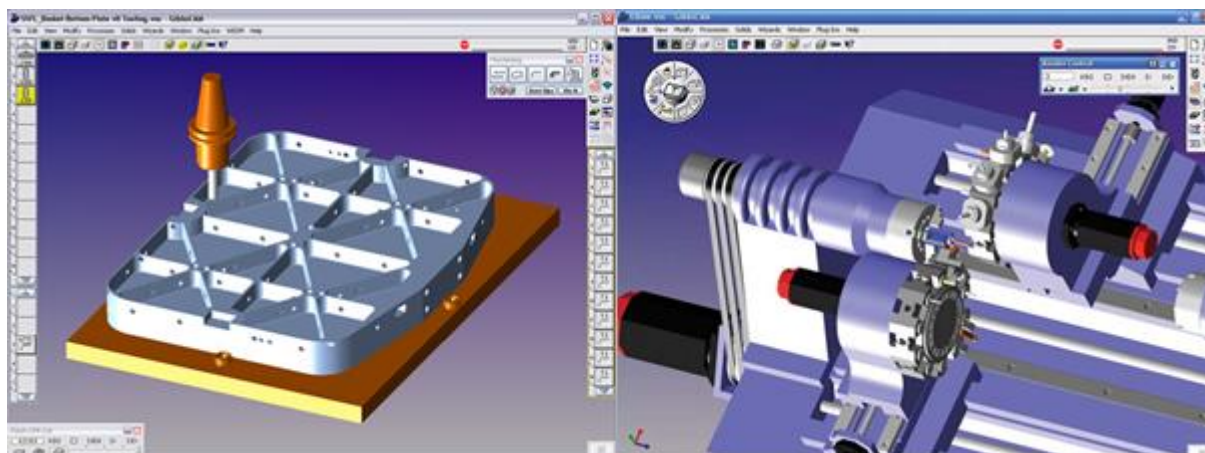
GibbsCAM se řadí do skupiny CAM systému, kteří nemají CAD jádro na tak vysoké úrovni. Vkládají se většinou převzaté modely z jiných CAD systémů v univerzálním formátu. Obrábění frézováním a soustružením podporuje 2 až 3-osé operace například: konturování, kaposování, závitování nebo vyvrtávání a vrtání. Nabízí multifunkční obrábění s více nástrojovými hlavami nebo vřeteny. Systém polohování otočných stolů, je modul, sloužící jako řešení, k programování více součástí. Obrobky jsou upnuty na otočných stolech. Simulace obráběcích strojů nabízí vizualizaci a verifikaci obrábění. Využívají se animované modely obráběcích strojů pro odhalení všech chyb v programu před jejich odesláním na obráběcí stroj. Modul Drátořez programuje 2 až 4-osé operace. Plynule podporuje 4 a 5-osé obrábění různými druhy rezných nástrojů. VoluMill je rozšířená nabídka GibbsCAM a nabízí řešení obrábění s maximalizací rychlosti odebírání materiálu.

Výhody:

- + Jednoduché a snadné ovládání.
- + VoluMill
- + Možnost simulace s obráběcím strojem.

Nevýhody:

- CAD



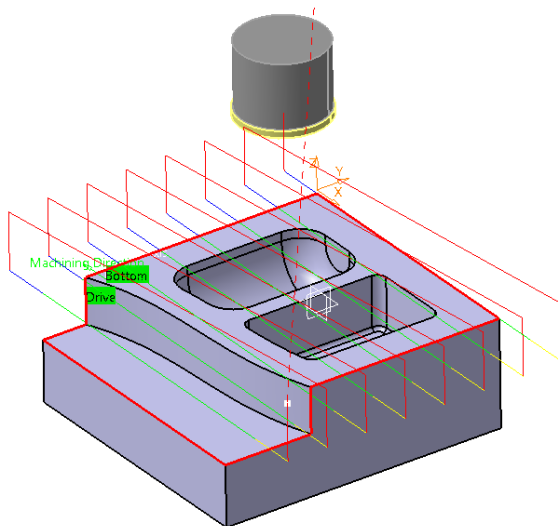
Obr. 107 GibbsCAM – Ukázka [38][39]

## **PŘÍLOHA č. 2**

### **Ukázky strategií obrábění**

## Facing

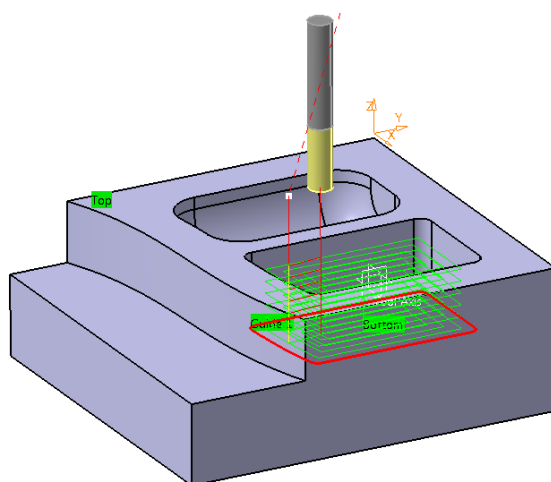
Slouží pro obrábění rovinných ploch. Nejčastěji se využívá k zarovnání čela. Lze zvolit automatické strategie obrábění. Pohyb nástroje po spirále nebo po řádcích a to jednou cestou nebo tam a zpět.



Obr. 108 Ukázka - Facing

## Pocketing

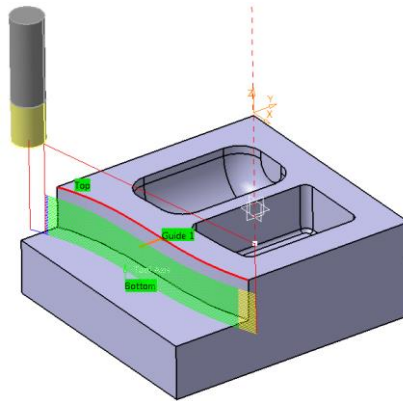
Funkce sloužící pro obrábění vnitřních kapes a to jak uzavřených, tak otevřených. V nastavení strategie obrábění lze vybrat ostrůvek. Ostrůvkem se rozumí část obrobku, kterému se bude nástroj při obrábění vyhýbat. Obráběcí strategie jsou stejné jako u předchozí operace.



Obr. 109 Ukázka - Pocketing

## Profile contouring

Tvarové obrábění sloužící pro dokončovací operace. Nástroj je veden po předem definovaném profilu.



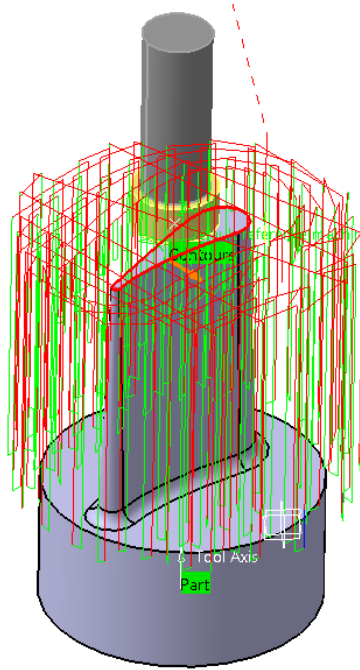
Obr. 110 Ukázka – Profile contouring

## Roughing

Roughing neboli hrubování je jedna z nejčastějších a také nejsložitějších operací v CAM systémech. Účelem hrubování je co největší odběr materiálu před dokončovacími operacemi.

## Plunge milling

Jedna z mnoha hrubovacích operací. Jedná se o speciální druh frézování. Nástroj – speciální fréza se ponořuje do materiálu. Předností této strategie je působení řezných sil v ose nástroje. Proto je touto strategií nahrazováno boční frézování, kde při stejném obrábění vznikají větší vibrace. Dále je plunge milling využíván pro dokončování rohů nebo pro obrábění špatně obrobitelných materiálů jako je například titan. Ukázka operace je k vidění pod textem.



Obr. 111 Ukázka –Plunge milling

Nejen v programu CATIA V5R20, ale i v dalších CAM systémech existuje celá řada dalších obráběcích strategií například: strategie pro vrtání – Drilling, Spot Drilling, Circular Milling atd.; strategie pro drážky – Groove Milling; strategie pro složité dokončovací operace – Muti-Axis Contour Machining, Sweeping nebo Z – level atd.. Popisování strategií obrábění nebylo cílem a zaměřením této diplomové práce a tak je tu uvedeno jen pár příkladů jen pro představu.