



Výroba tvarově složité součásti na CNC obráběcím centru

Bakalářská práce

Studijní program: B2301 – Strojní inženýrství

Studijní obor: 2301R000 – Strojní inženýrství

Autor práce: **Pavel Vokřál**

Vedoucí práce: Ing. Petr Keller, Ph.D.



ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Pavel Vokřál**
Osobní číslo: **S14000434**
Studijní program: **B2301 Strojní inženýrství**
Studijní obor: **Strojní inženýrství**
Název tématu: **Výroba tvarově složitější součásti na CNC obráběcím centru**
Zadávající katedra: **Katedra výrobních systémů a automatizace**

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

Cílem práce je připravit výrobu tvarově složitější součásti na soustružnicko-frézovacím obráběcím centru Mazak Integrex 100-IV s využitím CAD/CAM systému EdgeCAM. Dále pak pro součást na tomto centru odladit NC program(y) a vyrobit ji s ohledem na dodržení přesnosti a kvality výroby.

1. Seznamte se s technologickými možnostmi obráběcího centra Mazak Integrex 100-IV.
2. Navrhněte vhodnou tvarově složitější součást, vytvořte její CAD model a navrhněte výrobní postup na tomto centru na co nejmenší počet upnutí materiálu.
3. Proveďte rozbor dostupných funkcí v CAD/CAM systému EdgeCAM pro operace soustružení, frézování a víceosého frézování s ohledem na navržený postup obrábění.
4. Realizujte technologii obrobení součásti pomocí vhodně vybraných funkcí v CAD/CAM systému EdgeCAM, proveďte simulaci obrobení, kontrolu kolizí a vygenerujte NC program(y).
5. Seřídte potřebné nástroje a polohu polotovaru v pracovním prostoru stroje Mazak Integrex 100-IV, odladte NC program(y) a součást vyrobte, zkontrolujte její klíčové rozměry a případně proveďte korekce rozměrů (nástrojů).

Rozsah grafických prací: **dle potřeby**
Rozsah pracovní zprávy: **cca 35 stran**
Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**
Seznam odborné literatury:

- [1] **KELLER, P.** *Programování a řízení CNC strojů: Prezentace přednášek, 2.část.* Liberec: TU v Liberci, 2005.
[2] **NEXNET.** *První kroky s Edgcam.* [CD]. Kroměříž: Nexnet, 2012.
[3] **PLANIT SOFTWARE LIMITED.** *EdgeCAM user guide: Úvod do souvislého 4 a 5-ti osého frézování.* 2012.
[4] **YAMAZAKI MAZAK CORPORATION.** *Integrex IV.* Japan: Yamazaki Mazak corp., 2005.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Petr Keller, Ph.D.**
Katedra výrobních systémů a automatizace

Datum zadání bakalářské práce: **15. listopadu 2015**
Termín odevzdání bakalářské práce: **15. února 2017**

prof. Dr. Ing. Petr Lenfeld
děkan



Ing. Petr Zelený, Ph.D.
vedoucí katedry

V Liberci dne 15. listopadu 2015

Prohlášení

Byl jsem seznámen s tím, že na mou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.


Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé bakalářské práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li bakalářskou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím mé bakalářské práce a konzultantem.

Současně čestně prohlašuji, že tištěná verze práce se shoduje s elektronickou verzí, vloženou do IS STAG.

Datum: 20.6.2016

Podpis: 

Poděkování

Děkuji vedoucímu bakalářské práce Ing. Petru Kellerovi, Ph.D. za odborné vedení, za pomoc a rady při zpracování této práce.

TÉMA: Výroba tvarově složitě součástí na CNC obráběcím centru

ABSTRAKT: Práce se zabývá návrhem tvarově složitě součástí pomocí CAD softwaru a navržením výroby součástí na soustružnicko-frézovacím obráběcím centru Mazak Integrex 100-IV s využitím CAD/CAM systému EdgeCAM. Dále pak odladění NC programů na obráběcím centru a vyrobení součástí.

KLÍČOVÁ SLOVA: (tvarově složitá součást, soustružnicko-frézovací obráběcí centrum, CAD/CAM, EdgeCAM, NC program)

THEME : Production of complex-shaped component on CNC machining center

ABSTRACT: The thesis is focused on designing a complex-shaped parts using CAD software and device of production of parts on turning-milling machining center Mazak Integrex 100-IV using CAD/CAM EdgeCAM system. Furthermore, debugging of NC programs for machining center and manufacturing components.

KEYWORDS: (complex part shapes, turning-milling machining center, CAD/CAM, EdgeCAM, NC program)

Zpracovatel: TU v Liberci, Fakulta strojní, Katedra výrobních systémů a automatizace
Dokončeno: 2016

Počet stran : 39
Počet příloh : 2
Počet obrázků : 31
Počet tabulek : 6
Počet modelů : 0
nebo jiných příloh: 0

Obsah:

Seznam znaků a zkratk	8
1 Úvod	9
1.1 Cíl práce	9
2 Teoretická část.....	10
2.1 CAD/CAM systémy	10
2.2 Autodesk Inventor Professional – použitý software.....	11
2.3 EdgeCAM – použitý software	11
2.4 CNC stroje.....	12
2.4.1 Pohony.....	13
2.4.2 Odměřování	13
2.4.3 Konstrukce a funkce CNC řízení.....	13
2.4.4 Soustavy souřadnic.....	13
2.4.5 Nulové body a vztažné body	14
2.4.6 Měření nástrojů a jejich korekce	14
2.4.7 Tvorba CNC programů.....	15
2.4 Mazak Integrex 100-IV – použitý stroj	17
2.5 Haas MINI MILL – použitý stroj	18
3 Praktická část.....	20
3.1 Charakteristika.....	20
3.2 Návrh stupačky a adaptéru	21
3.3 Návrh programu na adaptér	22
3.4 Návrh programu na stupačku.....	24
3.5 Obrábění adaptéru	26
3.6 Obrábění stupačky	29
4 Závěr.....	35
Použitá literatura.....	36
Seznam obrázků	38
Seznam tabulek.....	38
Obsah přiloženého CD	39

Seznam znaků a zkratk

2D	Dvoudimenzionální, dvourozměrný
3D	Trojdimenzionální, třírozměrný
ATP	AutomaticalyProgrammedTool, geometrický jazyk
CAD	ComputerAided Design (Drafting), počítačem podporované projektování (kreslení)
CAM	ComputerAidedManufacturing, počítačová podpora obrábění
CNC	ComputerNumericalControlled, číslicové řízení počítačem
ČSN	Česká technická norma, česká technická norma
DIN	Deutsche Industrie, Norm, německá národní norma
IPT	Specifický formát souboru pro díly v Inventoru
ISO	International OrganizationforStandardization, mezinárodní organizace zabývající se tvorbou norem
NC	NumericalControl, číslicově řízený stroj
STEP	Standard for Exchange of Product model data, mezinárodní standard pro výměnu CAD dat

1 Úvod

Tématem této bakalářské práce je návrh stupačky na motocykl a její výroba pomocí pětiosého CNC centra. CNC stroje jsou již přes 60 let vyvíjeny a stále jsou nové možnosti výroby, co se týká složitosti, ale i přesnosti obrobků. Obrábění pomocí soustružnicko-frézovacího centra je způsob konvenčního obrábění za použití soustružnických nožů a zároveň rotačních nástrojů. Při tomto procesu se převádí digitální 3D návrh do reálné podoby pomocí odebrání materiálů. Vývoj tvarově složitě součástí od návrhu až po finální produkt, není jednoduchý úkol. Během cesty vývoje produktu se musí čelit spoustě obtížím, v následující práci bude vše popsáno a zdokumentováno.

Tato práce se zaměří na obrábění v pěti osách. Běžně se setkáme s obráběním ve třech osách. Další dvě osy umožní lepší strategie a širší možnosti obrábění. Díky nim lze vytvořit obrobek, který by běžným obráběním vznikl velmi složitě a náročně, nebo by jeho výroba nebyla možná.

1.1 Cíl práce

V této práci bylo cílem vytvořit návrhy stupaček na motocykl Kawasaki Zephyr, za pomoci CAD systému Inventor Autodesk Professional 2015. Z těchto návrhů se následně vybere nejvhodnější model jednak z designové, ale i funkční stránky. V další fázi je důležité vybranou součást upravit pro výrobu na soustružnicko-frézovacím centru tak, aby byla součást vyrobitelná z válcového polotovaru a pomocí dostupných nástrojů.

Za pomoci EdgeCAMu je nutné vytvořit co nejoptimálnější obráběcí strategie pro obráběnou součástku a z tohoto programu vygenerovat NC program. Tento program je v dalším postupu potřeba odladit na obráběcím centru tak, aby vznikla stupačka, která pasuje na daný motocykl a aby obráběný povrch byl co možná nejlepší. Následně se výrobní časy porovnávají simulací programu EdgeCAM a s reálným časem výroby.

Náklady na vyrobení stupačky porovnat s konkurenční firmou a posoudit, zda by stupačka byla konkurence schopná vzhledem k výrobní ceně. A vyhodnotit, jestli by program šel ještě lépe upravit, popřípadě zda-li jsou nějaké možnosti pro zrychlení nebo zjednodušení výroby. V neposlední řadě je zde otázka, zda by součástka mohla být vyráběná sériově.

2 Teoretická část

2.1 CAD/CAM systémy

CAD/CAM systémy jsou pevně spoutány s vývojem počítačové techniky. Počátky CAD začínaly od poloviny 20. století, kdy vznikl geometrický jazyk ATP (Automaticaly Programmed Tool). Zaujímá mezi ostatními jazyky výjimečné postavení. Patří k nejznámějším a byl vzorem pro vznik mnoha dalších jazyků jako MINIAPT, AUTOPROG a jiné. Vycházel z programovacích jazyků jako ALGOL apod. pro programování samočinných počítačů. Tyto počítačové systémy realizují výpočty potřebné pro generování souřadnic poloh nástroje.[10]

První CAD/CAM systémy vznikaly pro oblast obrábění a v současnosti mají v této oblasti dominantní postavení. Zavedení CNC systému obráběcích strojů zaznamenalo zvýšení produktivity a efektivnosti obráběcích procesů. CNC stroje se dnes využívají v hromadné, malosériové i v kusové výrobě. V dnešní době jsou CAD/CAM systémy nenahraditelným pomocníkem při generování NC kódu pro CNC obráběcí stroje. [10]

CAD - počítačem podporovaný návrh. Je modul pro počítačovou podporu konstruování. Jde o programový nástroj určený pro navrhování součástí. Součást pak může být charakterizována jako databáze geometrických a materiálových vlastností. Vytváření modelů se realizuje pomocí různých konstrukčních prvků (bod, přímka, kružnice atd.).

CAM - počítačem podporovaná výroba. CAM označuje systém, který připravuje data a programy pro řízení numericky řízených strojů pro automatickou výrobu součástí. Systém využívá geometrické informace vytvořené v návrhu pomocí CAD systému. Produkty tohoto charakteru umožňují simulovat sled technologických operací při vlastní výrobě součástí. Simulují práci jednotlivých nástrojů v nejrůznějších technologiích obrábění, např. frézování, soustružení, vrtání, elektroerosivní obrábění, obrábění laserem, vodním paprskem atd. Po prověření a odzkoušení bezpečného chodu výroby součástí je tímto modulem vygenerován program pro řízení NC, CNC strojů. CAM modul pracuje s geometrickými útvary v rovině i prostoru (modely součástí). Výsledkem činnosti CAM modulu je part program. [10]

Partprogram je program součástí, který vypracovává CAM modul. Je tvořen sledem příslušných adres obsahující kódový zápis geometrie a technologie součástí. Tento sled adres jednoznačně popisuje obráběcí postup, který se pomocí postprocesoru upravuje pro konkrétní obráběcí stroj. Produktem procesoru jsou pak CL data, která je třeba dále zpracovat do textového souboru NC programu pro řízení stroje.[10], [16]

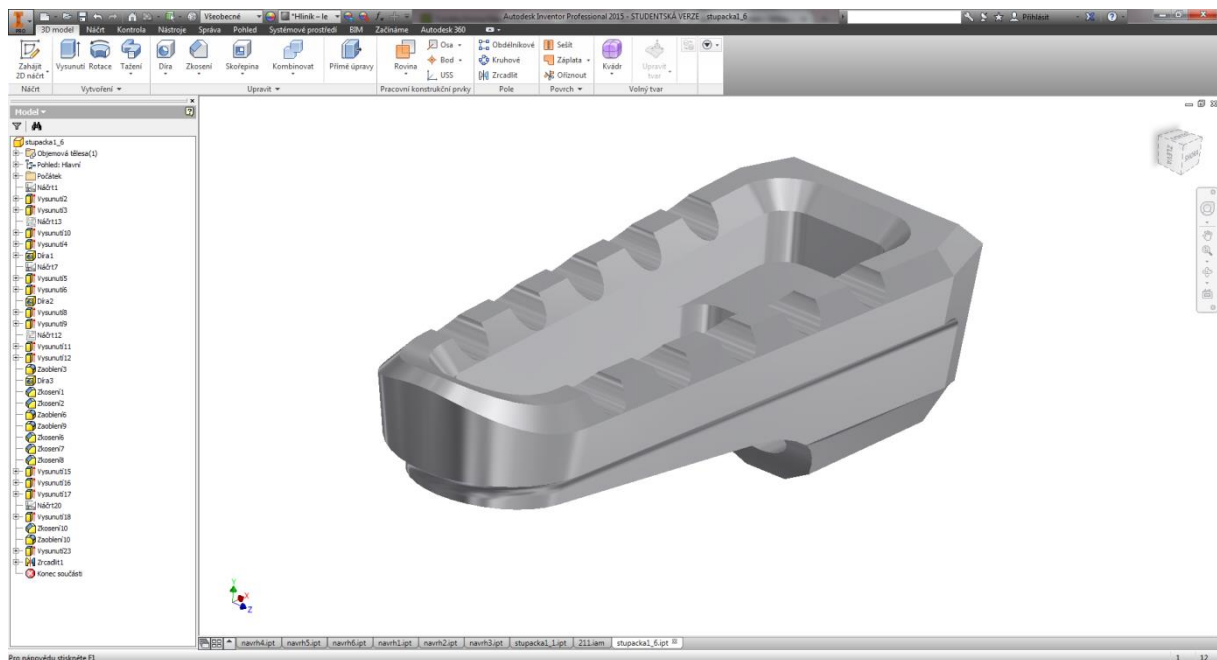
Postprocesor překládá CL data (Cutter Location Data) do NC programu s ohledem na technologické možnosti stroje a to včetně jeho konstrukční koncepce, s ohledem na použitý řídicí systém a verzi jeho softwaru. Přihlíží k pracovním možnostem stroje a určuje rozmístění pozic nástrojů zásobníku nebo revolverových hlav. Dráhy nástrojů se transformují do souřadného systému stroje. Dále jsou určovány konečné otáčky včetně a rychlosti posuvu a je prováděn výstup řídicího programu na některém nositeli informací v kódu a formátu bloku, ve kterém pracuje řídicí systém CNC stroje. NC program je

soubor číselných informací odděleně popisujících činnost stroje. Program se skládá z vět zapsaných v jednom řádku. [10], [16]

2.2 Autodesk Inventor Professional – použitý software

Inventor je základní součástí řešení firmy Autodesk pro tvorbu digitálních prototypů - tu doplňují aplikace pro koncepční navrhování, analýzy a simulace. Firma Autodesk je známá především nejrozšířenějším 2D CAD programem – AutoCAD.

Autodesk Inventor Professional je 3D CAD software používaný na navrhování součástí, sestav, vytváření 2D výkresové dokumentace a vytváření simulací. Obsahuje také velmi rozsáhlé obsahové centrum, ve kterém jsou téměř všechny normované součásti norem ČSN, ISO, DIN apod. [5]



Obrázek 1: Pracovní prostředí programu Autodesk Inventor 2015

2.3 EdgeCAM – použitý software

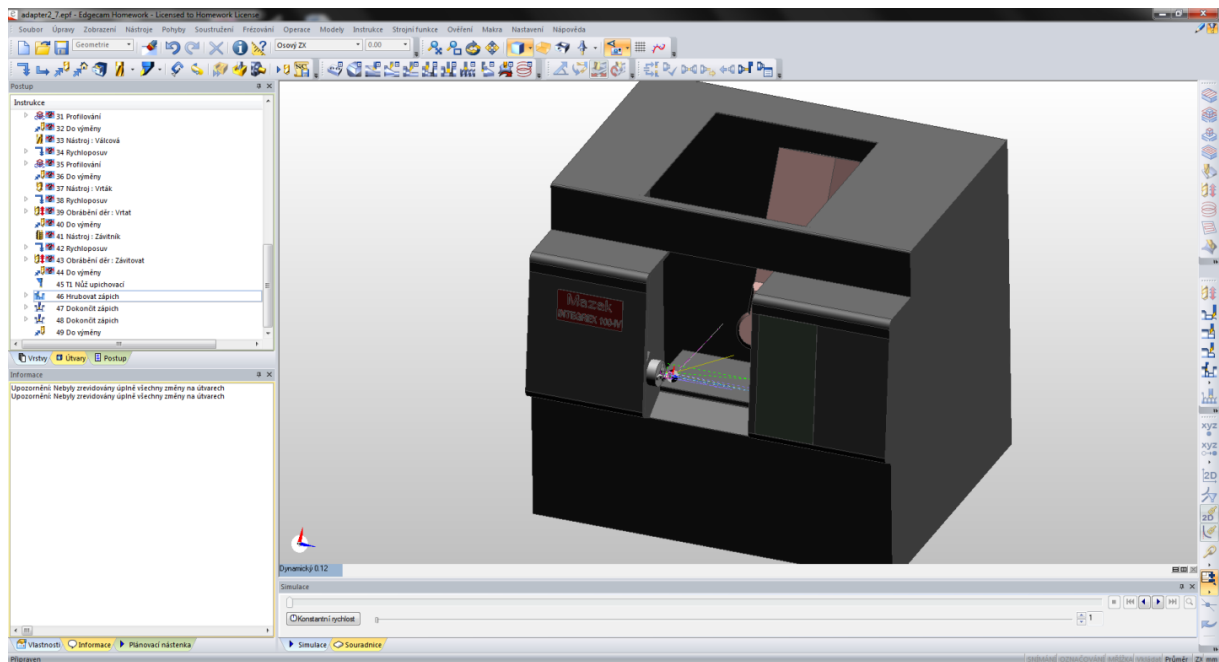
EdgeCAM je přední CAM systém, umožňující programování frézovacích, soustružnických a soustružnicko-frézovacích strojů. EdgeCAM kombinuje uživatelsky příjemné prostředí a intuitivní ovládání se sofistikovanou tvorbou drah nástrojů. EdgeCAM je top produkt společnosti VERO SOFTWARE. [11]

EdgeCAM je navržen tak, aby zvládal programování jednoduchých i velmi složitých součástí a nabízí plnou podporu pro poslední verze CAD systémů, obráběcích strojů, nástrojů a nejmodernějších technologií. EdgeCAM je dodáván celosvětově přes síť specializovaných certifikovaných partnerů. Hlavním partnerem VERO SOFTWARE pro Českou a Slovenskou republiku je společnost NEXNET, a. s. [11]

Podporuje importaci 3D modelů ze všech CAD systémů, ale lze i navrhovat 3D modely přímo v EdgeCAMu.

EdgeCAM čtyřosé a pětiosé obrábění umožňuje obrábění velmi složitých tvarových dílů pro speciální odvětví průmyslu, jako je například kosmický, letecký, automobilový a lékařský průmysl. EdgeCAM čtyřosé a pětiosé plynulé frézování je možné využít ve frézovacím i soustružnicko/frézovacím prostředí a je určeno pro obrábění tvarově velmi složitých dílů. Nabízí široké možnosti nastavení.[11]

Jednou z klíčových výhod tohoto způsobu obrábění je možnost obrábět i velmi špatně dostupné oblasti modelu, popřípadě tvarově složité díly, k jejichž výrobě by dříve musel být použit odlitek. Graficky příjemné a intuitivní uživatelské prostředí umožňuje nastavit operace snadno a přesně.[6]



Obrázek 2: Pracovní prostředí EdgeCAMu

2.4 CNC stroje

Číslicově řízené stroje (NC stroje) jsou ovladatelné číslicovými signály, ve kterých jsou zakódované pomocí číslic příkazy a souřadnice polohy nástrojové hlavy stroje. První číslicově řízené stroje byly řízené číslicovými signály snímanými z děrovacích štítků nebo z děrné pásky a přečtené příkazy nebylo možné v paměti počítače změnit. V paměti počítače CNC řídicího systému lze program měnit.[3]

CNC programy řídí koordinovaně pohyby NC stroje ve všech osách. Mohou být generovány pomocí obslužného programu přímo na stroji nebo mohou být tvořeny jinde a přeneseny na drátovém nosiči nebo po síti. Obslužný panel má několik částí. Na obrazovce je možné zobrazit číslicový kód programu, zdrojový kód, aktuální souřadnice polohy nástroje, model obráběného nebo měřeného dílu. Z důvodů bezpečnosti a ochrany životního prostředí jsou výrobní CNC stroje většinou úplně zakrytovány.[3]

2.4.1 Pohony

Pro pohon hlavního vřetena a pohony posuvů se používají elektromotory s řízením a regulací otáček.

Pohon hlavního vřetena se používá třífázový nebo stejnosměrný motor s řízením a regulací otáček. K regulaci otáček vřetene je použit tachogenerátor. Výstupní napětí je úměrné otáčkám. Řídící napětí je dané konstantou CNC programu, ale může být regulované na otáčkách hlavního vřetene, například při řezání závitů.

U pohonů posuvů se používají stejné druhy motorů. Je zde potřeba kromě regulace otáček motoru ještě regulace polohy suportu. Regulace pohybu je nutná při koordinaci pohybů v osách. [3]

2.4.2 Odměřování

Z hlediska získání informace o poloze je možné odměřovací zařízení rozdělit:

- přímé odměřování - Snímač odměřuje polohu přímo. Tato metoda je nejpřesnější, ale zároveň je drahá a náročná na zakrytování proti znečištění a poškození. Teplotní dilatace ovlivňuje přesnost měření, ale je zde jednodušší řešení oproti nepřímému odměřování.
- nepřímé odměřování – Snímač odměřuje polohu nepřímo a to tak, že je poloha počítána ze změřeného úhlu natočení a např. stoupání šroubu. Může zde docházet k nepřesnostem, například z důvodu nepřesně vyrobeného šroubu či těžko řešené teplotní dilataci. Systém je plně zakrytován a je odolný proti znečištění. Je levnější, a proto i více využívaný u dnešních CNC strojů. [3]

2.4.3 Konstrukce a funkce CNC řízení

Mezi nejdůležitější funkce patří snímání stavu procesu pomocí snímačů, zpracování dat a uložení výsledků na výstupy a stálá kontrola procesů, jako například dodržení nastavených otáček.

2.4.3.1 Vstup dat

Řídící CNC programy lze zadat buď z obslužného panelu nebo z datového nosiče (diskety CD nebo flash paměti) přes rozhraní USB. Programy lze také vkládat přes síťové rozhraní.

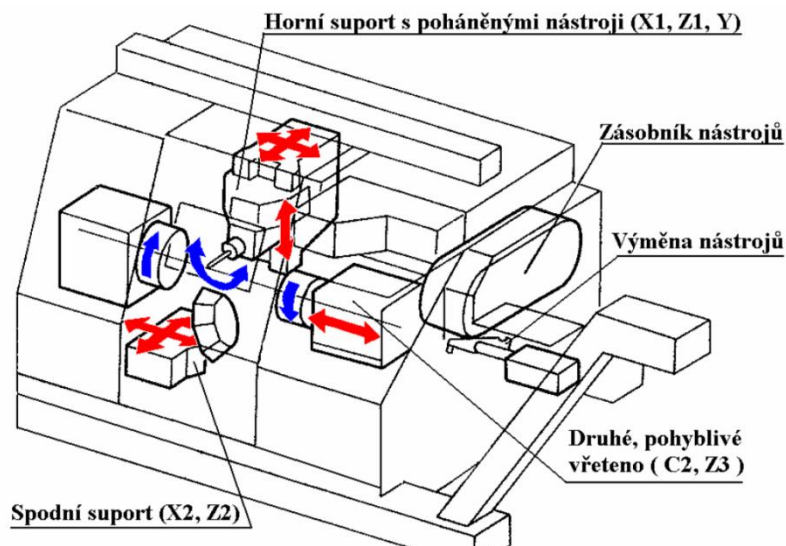
2.4.3.2 Výstup dat

Data z CNC řídicí jednotky neovládají přímo motory pohonů, ale ovládají jednotky motorů, a to buď frekvenční měniče (pro střídavé motory), nebo stejnosměrně spínané zdroje (pro stejnosměrné motory).

2.4.4 Soustavy souřadnic

Pravoúhlý souřadnicový systém s osami orientovanými vzájemně podle pravidla pravé ruky, může být stažen podle potřeby ke stroji nebo obrobku. Osa Z je vždy totožná s osou hlavního vřetene. Pro otáčivé pohyby kolem os X, Y, Z se používají označení A, B, C. Kladný směr otáčení určují ohnuté prsty při zvednutém palci směřujícím ke kladnému směru příslušné osy.

Obrobek se považuje za nehybný a programuje se pohyb nástroje bez ohledu na skutečnost.



Obrázek 3: Víceosý soustruh [17]

2.4.5 Nulové body a vztahné body

Souřadnicový systém má svůj počátek – nulový bod, který musí být přesně stanoven. Podle použití mají nulové body své názvy.

- M nulový bod stroje – Je počátkem souřadnic stroje, který je určen výrobcem. K tomuto bodu se vztahují všechny míry odměřovacích systémů.
- R referenční bod stroje – Je stanoven výrobcem a je realizován koncovými spínači. Vzdálenost nulového bodu M a R jsou výrobcem přesně odměřeny a vloženy do paměti řídicího systému. Slouží k nalezení počátku, který musí systém nalézt vždy po zapnutí stroje, není však potřeba u strojů s absolutním odměřováním polohy.[1]
- W nulový bod obrobku– Bod určuje programátor pomocí dané funkce G a vztahují se k němu všechny body programu. Bez tohoto bodu by musely být všechny rozměry vztahovány k nulovému bodu stroje.
- N nulový bod nástroje držáku – Je stanoven výrobcem a vztahují se k němu všechny rozměry nástrojů.
- P nulový bod nástroje – Je nutný pro stanovení délkové korekce nástroje a rádiusové korekce (zaoblení špičky nástroje). U soustružnického nože leží bod na teoretické špičce nože a u rotačního nástroje leží v ose nástroje na jeho čele. [1], [3]

2.4.6 Měření nástrojů a jejich korekce

Měření nástrojů se provádí buď externě, nebo přímo na stroji. Při měření nástrojů mimo stroj je držák nástroje s upnutým nástrojem upnut v adaptéru nastavovacího adaptéru. Nástroj se nastaví pod

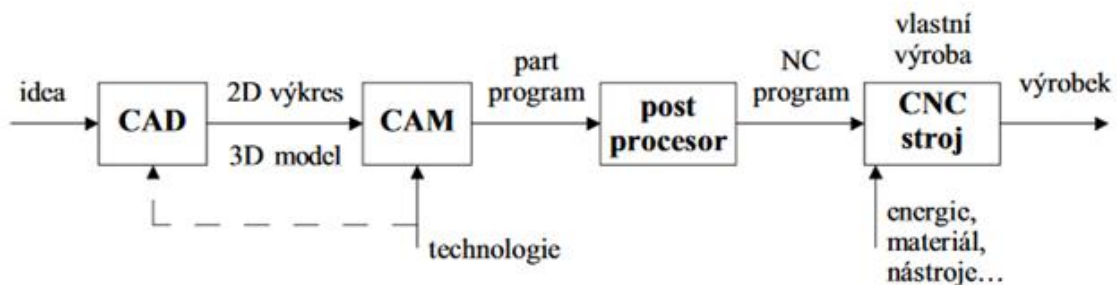
vláknový kříž optického snímače a zobrazí se na obrazovce. Vzdálenost nulového bodu nástroje P od bodu držáku nástroje N se automaticky změří. Změřené údaje se uloží do paměti a poté se importují do CNC stroje. [2]

Pro měření nástrojů na stroji se může využít buď nástrojová sonda, která po nastavení příslušných údajů automaticky změří nástroj, nebo lze měřit ručně, kdy se najede nástrojem na dotek k obrobku, a odečtou se souřadnice z panelu stroje, které se poté dopočítají a zapíší do korekcí stroje. [2]

2.4.7 Tvorba CNC programů

CNC stroj potřebuje pro automatické obrábění NC program, který obsahuje geometrii obráběné součásti a technologické informace. Program je možné vytvořit třemi základními způsoby:

- a) Ručně – Programátor napíše celý NC program na základě výrobního výkresu.
- b) Pomocí CAD/CAM systému:



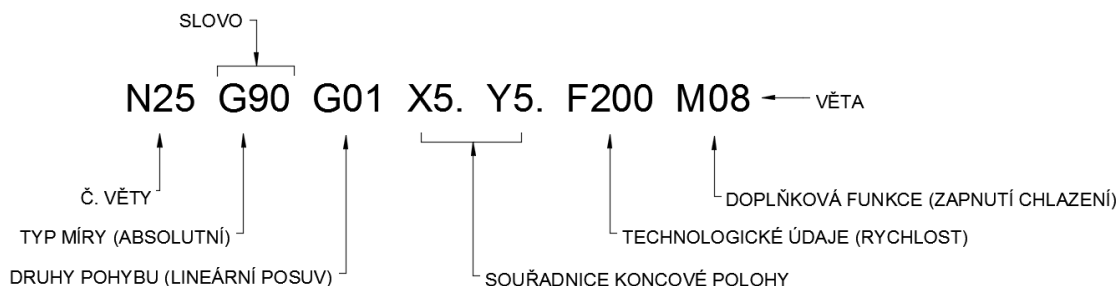
Obrázek 4: Tvorba NC programu pomocí CAD/CAM systému [1]

- c) Pomocí dílenského programování – Program je vytvářen řídicím systémem na základě zadaných informací o polotovaru a konečného tvaru součásti – vhodné pro součásti s jednoduchým geometrickým tvarem. [1]

Struktura programu pro NC stroje je stanovena normou ISO 6983. K provedení jednoho kroku musí dílčí program obsahovat všechny potřebné informace k zahájení a ukončování činností, ke tvaru dráhy nástroje a pomocné informace. [1],[2]

Dílčí program pro vykonání části obrábění může být zabudován do hlavního programu, nebo může být z hlavního programu volán jako podprogram. Program začíná a končí znakem % a skládá se z jednotlivých vět. Jednotlivé věty se vykonávají postupně a číslovají se většinou např. N1, N3, N5. tj. s mezerami umožňujícími dodatečné vkládání dalších vět.

Věta se skládá z jednoho nebo více slov. Každé slovo se skládá z písmena a čísla. Pořadí slov ve větě je pevně dáno formátem věty. Nejdříve začíná číslem, pokračuje označením geometrie pohybu, souřadnicí cíle pohybu, rychlostí posuvu otáčky vřetena a končí doplňkovou funkcí M. [2]



Obrázek 5: Příklad věty pro frézování

Tabulka 1: Příklady G – Funkcí

Kód	Funkce	
G00	Lineární interpolace	Rychloposuv
G01		Lineární posuv
G02	Kruhová interpolace	Ve směru hod. ručiček
G03		Proti směru hod. ručiček
G17	Volba pracovní roviny	X-Y
G18		X-Z
G19		Y-Z
G40	Zrušení kompenzace řezného nástroje	
G41	Kompenzace nástroje	zleva
G42		zprava
G90	Absolutní programování	
G91	Přírůstkové programování	

Druh nebo okolnosti pohybu jsou určeny dvouciferným kódem za písmenem G. Většina těchto funkcí je určena normou a ostatní jsou volitelné pro výrobce řídicího systému. Totéž platí u doplňkové funkce M. Funkce G (geometric functions) určují, jak má stroj dosáhnout další polohy. Některé z těchto funkcí se po zapnutí stroje aktivují automaticky a nemusí být programovány, např. G17, G90. Tento stav po zapnutí závisí na typu stroje. Každá naprogramovaná funkce G je uložena do paměti a většinou platí tak dlouho, dokud není zrušena jinou G funkcí. [2]

Tabulka 2: Příklady M – Funkcí

Kód	Funkce
M00	Programový stop
M01	Volitelné zastavení programu
M02	Konec programu bez zpětného přeskočení na začátek programu
M03	Spuštění otáček (ve směru hod. ručiček)

Kód	Funkce
M04	Spuštění otáček (proti směru hod. ručiček)
M05	Zastavení vřetena
M06	Výměna nástroje
M08	Spuštění chladicí kapaliny
M09	Vypnutí chladicí kapaliny

2.4 Mazak Integrex 100-IV – použitý stroj

Mazak Integrex 100-IV byl vyroben společností Yamazaki Mazak Corporation, jejíž historie spadá do roku 1919 do města Nagoja v Japonsku. Nyní patří mezi největší výrobce obráběcích strojů na světě s více než 6 600 zaměstnanci. Mezi výrobky patří stroje pro provádění několika operací současně, CNC soustružnická centra, vertikální a horizontální obráběcí centra, CNC laserové řezací stroje, flexibilní výrobní systémy, CAD/CAM produkty a software pro řízení továren. Filozofie společnosti má tři základní prvky: „vysokou kvalitu“, „modernost“ a „mezinárodní charakter“. Tyto hodnoty podporují rozvoj „světové výroby“ nabízením obráběcích strojů, které uspokojují potřeby výrobců. [7]

Stroje MAZAK ze série Integrex patří mezi nejrozšířenější multifunkční frézařsko-soustružnická centra s B-osou na světě. Jsou známé pro svou variabilitu a širokou škálu nejrůznějších specifikací.

Víceúčelové stroje s možností frézování, soustružení a vrtání dovolují plynule obrábět frézovací a soustružnické operace na obou stranách obrobku během jednoho nastavení. Tyto sofistikované stroje reprezentují enormní potenciál pro zvýšení zisků, ale na úkor komplexního programování. Klíčovým faktorem ve využití soustružnicko-frézařského potenciálu strojů je správný CAM systém.[7]

Tabulka 3: Specifikace stroje Mazak Integrex 100 IV [9]

Specifikace stroje		
Pracovní prostor	Průměr hlavního sklíčidla vřetene	6 "
	Maximální průměr obrábění	545 mm
	Schopnost obrábění tyče v hlavním vřetenu (v závislosti na upínacím systému)	43 mm
	Maximální délka obrábění	518 mm
Hlavní vřeteno	Maximální otáčky	6,000 min ⁻¹
	Výkon motoru	11.0 kW
Frézovací hlava	Výkon motoru	5.5 kW
	Maximální otáčky	12,000 min ⁻¹
Posuv	Rozsah osy X	410 mm
	Rozsah osy Z	570 mm
	Rozsah osy Y	140 mm
Zásobník nástrojů	Maximální kapacita nástrojů	20



Obrázek 6: Mazak Integrex 100-IV [8]

2.5 Haas MINI MILL – použitý stroj

Patří mezi nejprodávanější malá horizontální obráběcí centra od firmy americké firmy Haas Automation. Díky svým rozměrům je vhodné do omezených prostor a pro malé obrobky.

Firma Haas Automation je největším výrobcem obráběcích strojů v západním světě, přičemž vyrábí kompletní řadu CNC vertikálních obráběcích center, horizontálních obráběcích center, CNC soustruhů a otočných produktů. Společnost rovněž vyrábí různé speciální stroje, mezi které patří pětiosá obráběcí centra, obráběcí centra pro výrobu forem, nástrojařské stroje a portálové obrysové frézy. Obráběcí stroje a otočné produkty Haas jsou stavěny podle přesných specifikací Gena Haase, aby poskytovaly vyšší přesnost, opakovatelnost a odolnost než jakékoli jiné obráběcí stroje na trhu. Všechny produkty Haas jsou vyráběny ve výrobním závodu společnosti v kalifornském městě Oxnard, který je největším a nejmodernějším výrobním provozem s obráběcími stroji v USA. [12]



Obrázek 7: Haas MINI MILL [13]

Tabulka 4: Specifikace stroje Haas MINI MILL [14]

Specifikace stroje	
DRAHY POJEZDU	
Osa X	406 mm
Osa Y	305 mm
Osa Z	254 mm
Vzdálenost od čela vřetena ke stolu (~ max.)	356 mm
Vzdálenost od čela vřetena ke stolu (~ min.)	102 mm
STŮL	
Délka	914 mm
Délka (pracovní prostor)	730 mm
Šířka	305 mm
Max. zatížení stolu (rovnoměrně rozložené)	227 kg
VŘETENO	
Max. výkon	5.6 kW
Max. rychlost	6000 rpm
ZÁSOBNÍK NÁSTROJŮ	
Typ	Carousel
Kapacita	10
Max. průměr nástroje (plný)	89 mm
Nástroj-nástroj (prům.)	4.2 sec

3 Praktická část

3.1 Charakteristika

Pro výrobu tvarově složitě součásti byla vybrána stupačka na motocykl. Stupačky jsou většinou vyráběné odléváním, svařením plechových výlisků a v poslední době s příchodem nových technologií i obráběním. Odlévané stupačky jsou z jednoho kusu oproti obráběným stupačkám, které jsou tvořeny převážně ze dvou dílů, a to ze samotné stupačky a adaptéru, který umožňuje stupačku přidělat na různé typy motocyklů od různých výrobců, čímž se dají vyrábět stupačky ve větších sériích.



Obrázek 8: Odlévaná stupačka z motocyklu Kawasaki Zephyr 750

Výrobcem CNC obráběných dílů je italská firma Rizoma, která se zabývá výrobou motocyklového příslušenství a designových výrobků a během deseti let se rozrostla z rodinné firmy na firmu vyrábějící 1500 výrobků dodávaných do 60 zemí světa.



Obrázek 10: Adaptér na Kawasaki Z750

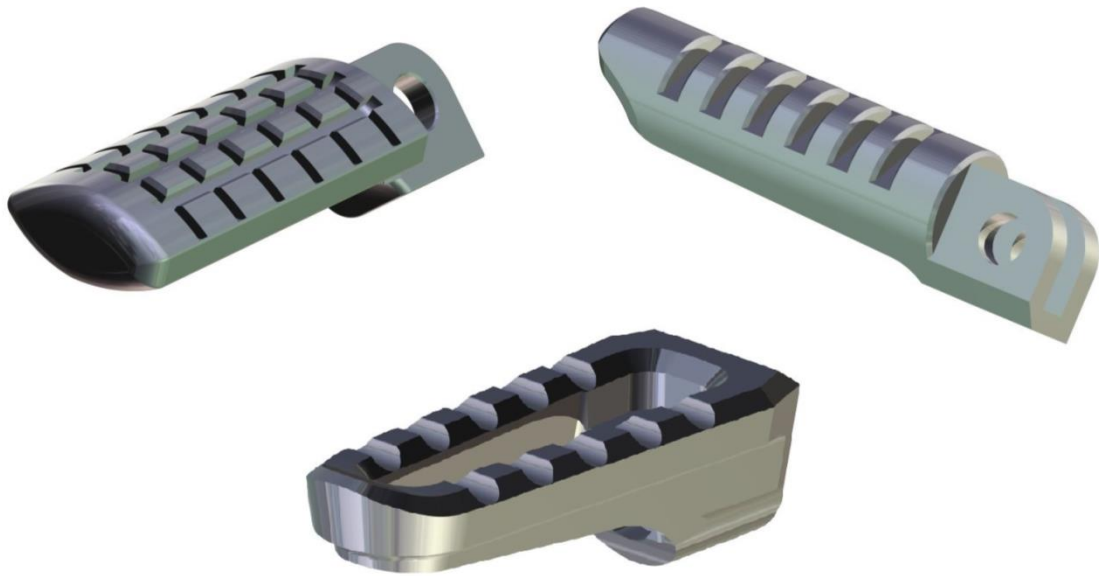


Obrázek 9 Stupačka Rizoma

Stupačky jsou vyráběné z lehkých materiálů jako například z hliníku a jeho slitin. U závodních motocyklů se z důvodu větší pevnosti a menší hustoty používá i titan. Obrábění stupaček probíhá v obráběcích centrech.

3.2 Návrh stupačky a adaptéru

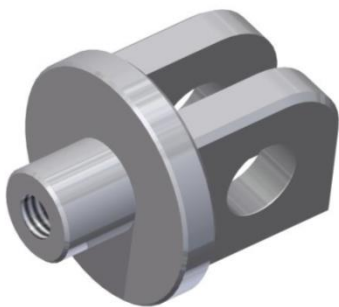
Návrh stupačky byl proveden v CAD programu Autodesk Inventor Professional 2015. Nejdříve byly navrženy různé verze, ze kterých se vybírala stupačka pro výrobu. Byl vybrán návrh ze dvou dílů, zejména z důvodu větší flexibility díky adaptéru, který stačí změnit a stupačka se stane využitelnou pro různé typy motocyklů bez nutnosti předělávání celé stupačky. Dalším kritériem této volby byl celkový design.



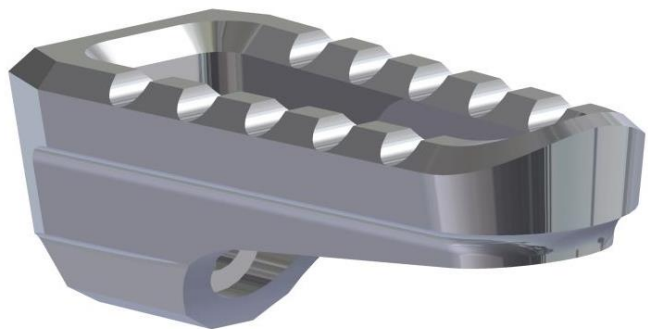
Obrázek 11: Návrhy stupaček

Na obrázku vidíme původní vybraný návrh stupačky, který se z technologických důvodů musel upravovat tak, aby byla možná výroba na stroji Mazak Integrex 100-IV s dostupnými nástroji. Například byla upravena zaoblená hrana z důvodu případné kolize kvůli krátkému nástroji na rovné zkosené plochy. Dále byly upraveny zkosené plochy kapsy ve stupačce na nezkosené plochy, opět z technických důvodů.

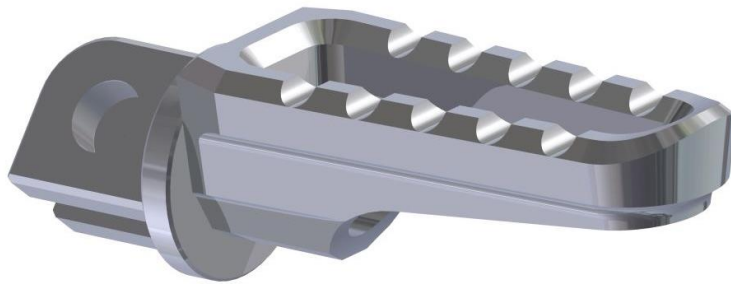
K dané stupačce byl navržen adaptér podle rozměrů motocyklu Kawasaki Zephyr 750.



Obrázek 13: Návrh adaptéru



Obrázek 12: Finální návrh stupačky



Obrázek 14: Sestava stupačky

3.3 Návrh programu na adaptér

Program byl vytvořen v EdgeCAM 2012. Jako první se musel 3D model v Inventoru převést z formátu IPT do obecného formátu STEP, pro který jde vygenerovat NC kód kvůli omezené licenci. Po vložení 3D modelu do EdgeCAMu bylo nutné model vhodně napolohovat, a to v tomto případě pro soustružení. Dále se nulový bod obrobku transformuje pomocí posunutí na průsečík osy rotace a čela obrobku.

V dalším kroku se určí polotovar, jak s přídavkem na průměr, tak i na čele obrobku. Poté byly nastaveny všechny plochy, křivky a CPL roviny, které budou potřeba při programování.

Jelikož se jedná o částečně rotační součást, bylo jako první operace zvoleno soustružení hrubovacím nožem, kterým se obrábí čelo i obvod. Dále se soustruží polotovar načisto kopírovacím nožem. Se zvolenou konstantní řeznou rychlostí 200 [m/min] a maximálními otáčkami 2500 [ot/min]. (obr.15A)

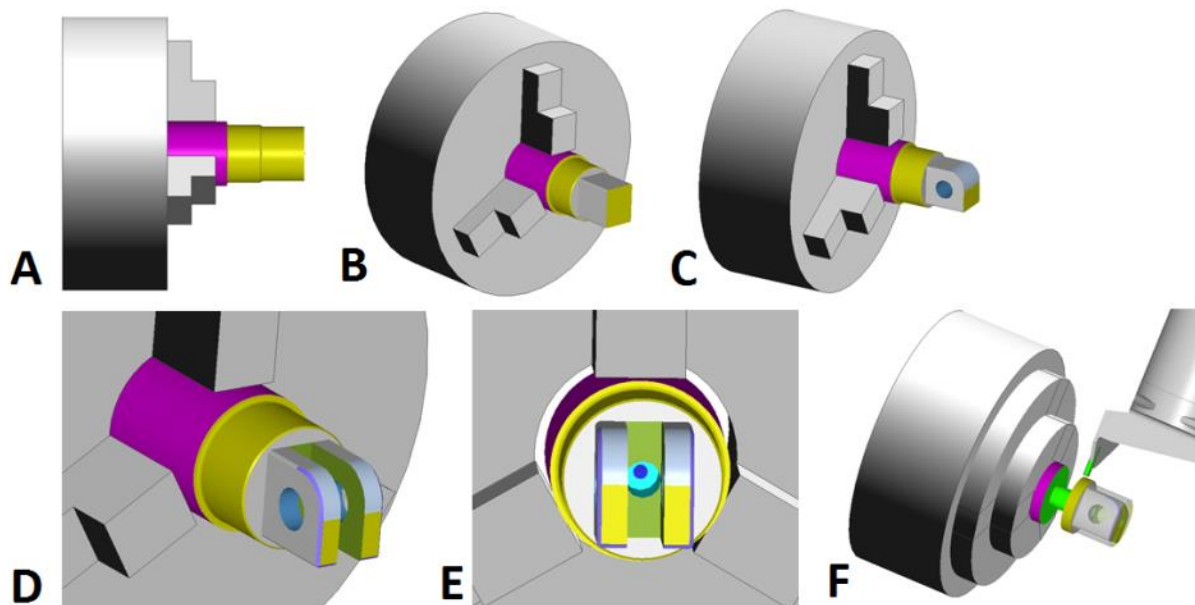
Nato přichází frézování hrubovací frézou o průměru 16mm, jež se nastaví axiálně vůči obrobku s hloubkou úběru 14 mm na dvě ubrání kvůli délce řezné části. (obr. 15B) Použije se operace profilování po drátové geometrii. Pro frézování načisto se použije fréza o průměru 10 mm s délkou řezné části 28 mm, která nám umožňuje obrábět na jeden záběr, a díky tomu docílíme lepšího povrchu materiálu.

Stejná fréza se nastaví kolmo na nově nastavenou CPL a poté se obrábí pomocí 2D křivky na čtyři záběry. Také pro následující operaci vrtání se musí vrták nastavit kolmo na dříve nastavenou CLP rovinu a poté se obrábí. Aby se vrták neucpával, byl použit cyklus s vyjížděním.(obr.15C)

Kuželová fréza se taktéž nastaví vždy kolmo na CPL rovinu, která je vždy na čele obráběné plochy. Nastaví se křivka dané sražené plochy. Drážka se obrábí frézou o průměru 6 mm, je nastavená axiálně na obrobek. Pomocí profilovací operace se obrábí spirálovou strategií a hloubkou záběru 4 mm. (obr. 15D)

Díra pro závit M8 se vyvrtá vrtákem o průměru 6,7 mm s vnitřním chlazením. Závit se obrábí závitníkem se stoupáním 1,25mm. (obr. 15E)

Závěrečná operace je soustružení upichovacím nožem, kterým se obrobí nejdříve průměr 36 mm na 14 mm s přídkem 0,15 mm. (obr. 15F) Poté se obrábí bez přídku načisto s upíchnutím obrobene součásti. Řezné podmínky byly nastaveny dle hodnot uvedených v tabulce č.5. Čas výroby podle simulace EdgeCAMu je 8 minut.



Obrázek 15: Postup obrábění v simulaci EdgeCAMu

Tabulka 5: Přehled řezných podmínek pro adaptér

Obrábění	Nástroj	Hloubka (šířka) záběru [mm]	Počet záběrů	Otáčky/ Řezná rychlost [m/min]	Posuv [mm/ot]
Soustružení čela	Hrubovací nůž CoroTurn HP	1	3	200 [m/min]	0,1
Soustružení obvodu		1	4	200 [m/min]	0,25
Soustružení obvodu na čisto		0.3	1	200 [m/min]	0,1
Frézování obvodu hrubováním	Fréza válcová Ø16	15	2	1200 [ot/min]	0,2
Frézování obvodu	Fréza válcová Ø10	27	1	5000 [ot/min]	0,2
Frézování zaoblení		7	4	5000 [ot/min]	0,1
Vrtání díry	Vrták Ø12	8	3	3000 [ot/min]	0,08
Frézování zkosení	Fréza kuželová Ø10	1	1	8000 [ot/min]	0,05
Frézování kapsy	Fréza válcová Ø6	6	5	3000 [ot/min]	0,2
Vrtání díry	Vrták Ø6,7	8	3	8000 [ot/min]	0,05
Řezání závitu	Závitník M8	18	1	450 [ot/min]	-
Hrubování upichováním	Upichovací nůž šíře 3mm	1,5	11	100 [m/min]	0,08
Dokončování upichováním		0,15	1	100 [m/min]	0,05
Upíchnutí obrobku		-	-	-	100 [m/min]

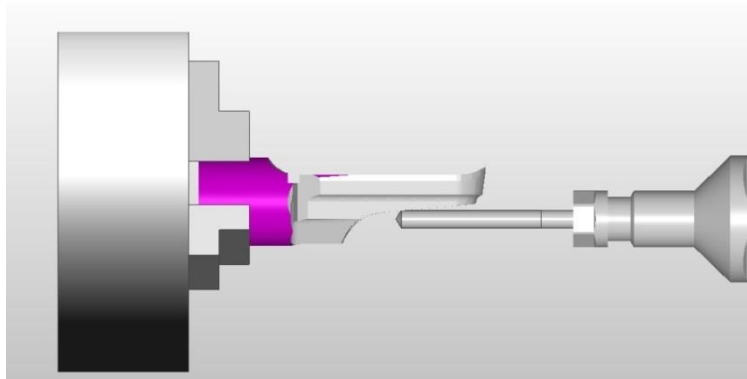
3.4 Návrh programu na stupačku

Program na stupačku byl vytvořen rovněž v programu EdgeCAM do, kterého se vložil model ve změněném formátu STEP. Po vložení modelu se určil polotovar jako tyč s přídavkem na obrábění. Počátek souřadnicového systému obrobku se zvolil nezvykle na čele sklíčidla a ne na čele polotovaru z důvodu jednoduššího nastavení v EdgeCAMu.

Jelikož se má obrábět na soustružnicko-frézovacím obráběcím centru, tak se uvažovala jako první operace soustružení, ale tato možnost se zamítla z důvodu nerotační součásti a téměř minimálního úbytku materiálu. Proto po nastavení všech důležitých ploch, rovin, křivek a CPL rovin, je nastavena první operace hrubování základního tvaru obvodem frézy. (obr. 17A) Zde se již materiál nebude obrábět, ale kvůli lepšímu povrchu se použije dokončovací fréza.

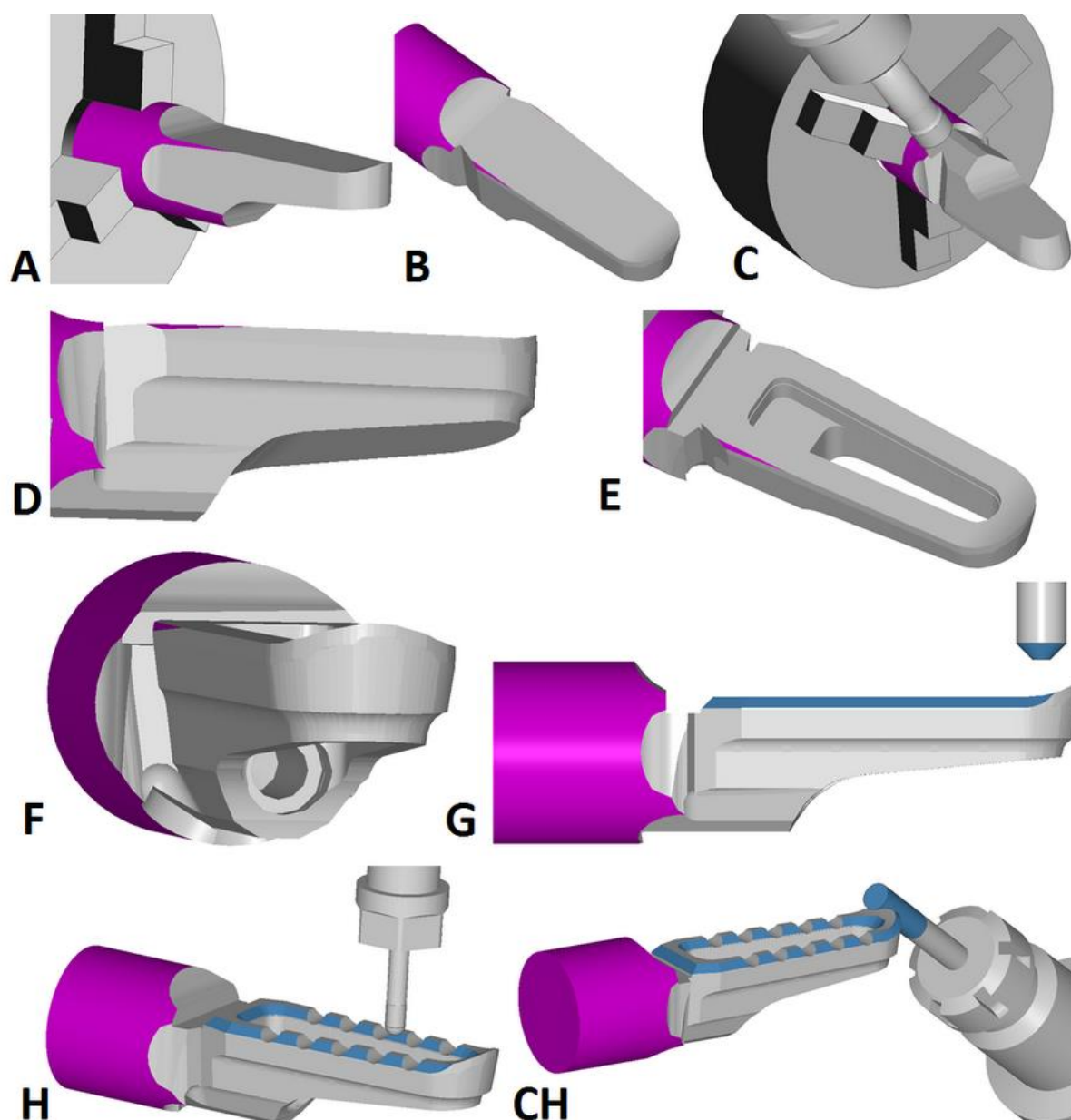
Následuje pětiosá operace obrábění obvodu stupačky pod úhlem 8 stupňů podél kontury, pro kterou se zvolila stejná dokončovací fréza jako u minulé operace. (obr. 17B) Dále po výměně nástroje následuje sražení hran na spodní hraně stupačky čelem frézy pomocí frézování 2D profilu. (obr. 17C) Pro další pětiosou operaci se vymění nástroj za kulovou frézu, pomocí níž se obrobí opět obvod stupačky pod úhlem. (obr. 17D)

Další operací je obrábění kapsy, pro kterou je zvoleno profilování. (obr. 17E) U profilování se nastavila dráha frézy, hloubka třísky a konečná hloubka. Poté se frézuje díra o průměru 14 mm frézou 12 mm, z důvodu dostatečně dlouhé stopky nástroje, které frézy o menších průměrech nedisponovaly. (obr. 17F) Pro vrtání další díry byl vybrán nejdelší vrták o průměru 9 mm. Tato díra se nenavrtávala, jelikož nebylo možné se se středícím vrtákem dostat k díře.



Obrázek 16: Simulace vrtání v EdgeCAMu

Srážení hran proběhlo téměř celé kuželovou frézou, kromě zkosení na konci stupačky, na které musela být využita pětiosá operace, kde už se neobrábí kuželovou frézou, ale válcovou frézou o průměru 10 mm. (obr. 17G) Předposlední operací je vytvoření půlválcových drážek kulovou frézou a průměru 6 mm a konečné hloubky záběru 3 mm, která jela na dva záběry. (obr. 17H) Posledním krokem na tomto obráběcím centru je upíchnutí obrobku upichovacím nožem s vnitřním chlazením. (obr. 17CH) Řezné podmínky byly nastaveny dle hodnot uvedených v tabulce č.6. Celkový výrobní čas ukázaný simulací je 28 minut.



Obrázek 17: Postup obrábění stupačky v EdgeCAMu

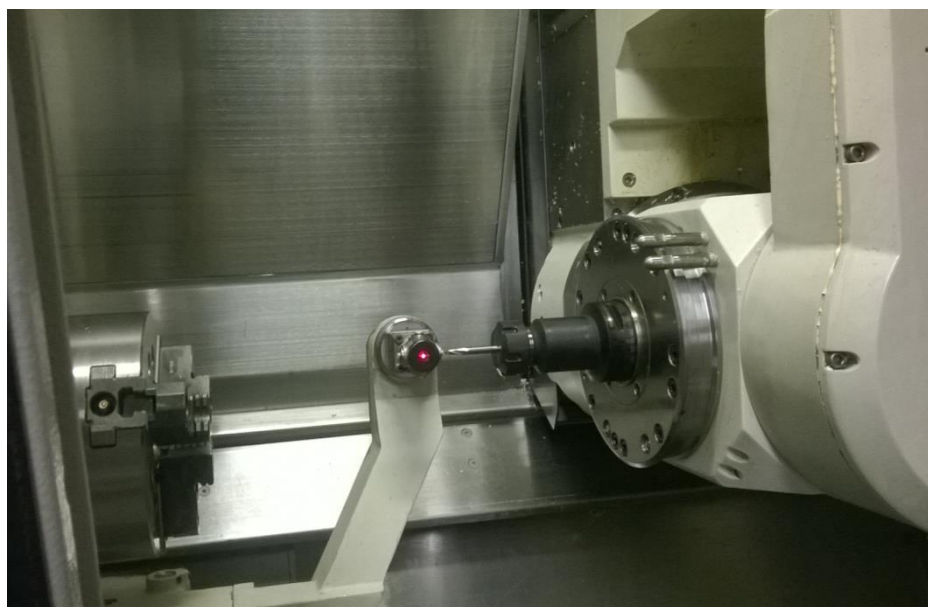
Tabulka 6: Přehled řezných podmínek pro stupačku

Obrábění	Nástroj	Hloubka (šířka) záběru [mm]	Počet záběrů	Otáčky/ Řezná rychlost	Posuv [mm/ot]
Frézování obvodu hrubováním	Fréza ER25 Ø16	9	4	1200 [ot/min]	0,2
Frézování horní části stupačky hrubováním	Fréza ER25 Ø16	10	4	1200 [ot/min]	0,2
Frézování dolní části stupačky hrubováním	Fréza ER25 Ø16	10	4	1200 [ot/min]	0,2
Frézování spodní a horní části na čisto	Fréza ER25 Ø10	2	2	5000 [ot/min]	0,05
Frézování obvodu pod úhlem	Fréza ER25 Ø10	22	1	5000 [ot/min]	0,02

Obrábění	Nástroj	Hloubka (šířka) záběru [mm]	Počet záběrů	Otáčky/ Řezná rychlost	Posuv [mm/ot]
Frézování zkosení 10x22°	Fréza ER25 Ø10	2	1	5000 [ot/min]	0,05
Frézování zkosení 4,5x45°	Fréza ER25 Ø16	2	1	1200 [ot/min]	0,2
Frézování obvodu pod úhlem	Kulová Ø8	2	1	4000 [ot/min]	0,05
Frézování obvodu pod úhlem na čisto	Kulová Ø8	0.1	1	4000 [ot/min]	0,05
Frézování kapsy první cyklus	Fréza ER25 Ø8	9	3	3000 [ot/min]	0,1
Frézování kapsy druhé cyklus	Fréza ER25 Ø8	9	3	3000 [ot/min]	0,1
Frézování díry	Fréza ER25 Ø12	2	4	5000 [ot/min]	0,05
Vrtání díry	Vrták Ø9	6	4	3000 [ot/min]	0,2
Frézování sražení hran	Fréza kuželová ER25 Ø10	3	1	8000 [ot/min]	0,05
Frézování drážek	Kulová Ø6	2	2	8000 [ot/min]	0,03
Sražení zaoblené hrany frézováním	Fréza ER25 Ø10	3	1	5000 [ot/min]	0,05
Upíchnutí obrobku soustružením	Upichovací nůž šíře 3mm	-	-	100 [m/min]	0,08

3.5 Obrábění adaptéru

Po zapnutí stroje Mazak Integrex 100-IV a naběhnutí systému se najelo na referenční bod stroje. Z EdgeCAMu byl vygenerován NC program s výpisem použitých nástrojů. Podle tohoto seznamu se připravily nástroje a vložily se do zásobníku obráběcího centra. Pomocí nástrojové sondy byla změřena délka s průměry nástrojů, které jsou nezbytné pro korekce průměrů a délek nástrojů.



Obrázek 18: Nástrojová odměřovací sonda

Pro obrábění adaptéru byl upnut do sklíčidla skrze průchozí vřeteno polotovar, jímž byla tyč o průměru 40 mm a délky 1m z hliníkové slitiny materiálu EN AW-2030/2007 (AlCuMgPb). Tato slitina patří mezi dobře obrobitelné materiály.

Po změření nástrojů byla spuštěna simulace, na které nedošlo k žádné kolizi. Pro první kus byl polotovar upnut trochu dále od sklíčidla, aby nedošlo k případné kolizi nástroje nebo frézovací hlavy se sklíčidlem.

Při první operaci soustružení čela a obvodu se tvořila dlouhá nelámavá tříska. (obr. 21A) To mohlo být způsobeno buď špatně zvolenými řeznými podmínkami, nebo špatným materiálem.

U frézování obvodu načisto pomocí frézy o průměru 10 mm došlo k nepřesnosti, která byla způsobena tím, že korekce nástroje byla navržena pomocí programu EdgeCAM a nástroj byl již zbroušený. Tato nepřesnost byla odstraněna dodatečnou změnou průměru nástroje z 10 mm na 9,95 mm. U zaoblování nevznikl žádný problém. (obr. 21B)

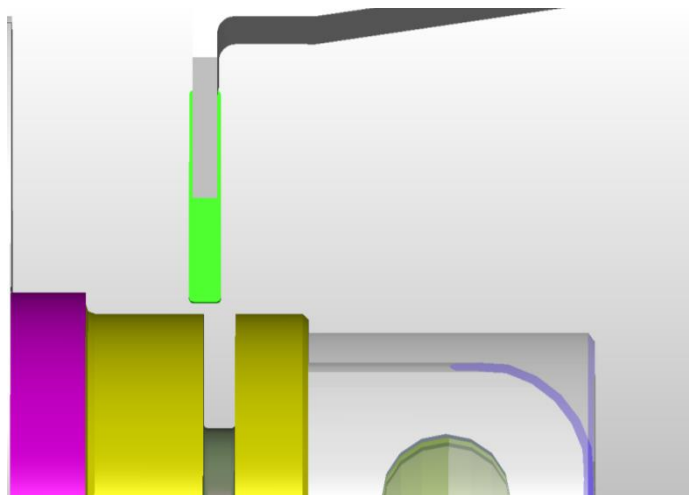
Následující operace, srážení hran, byla podle simulace správná, ale při výrobě došlo k problému. Kuželový nástroj jel špičkou po srážené hraně. (obr. 21C) Z důvodu nulové rychlosti na špičce nástroje a žádnému ostří vznikla hrana. (obrázek 19). Tento problém byl odstraněn zvětšením cílové hloubky.



Obrázek 19: Špatné a správné sražení hran

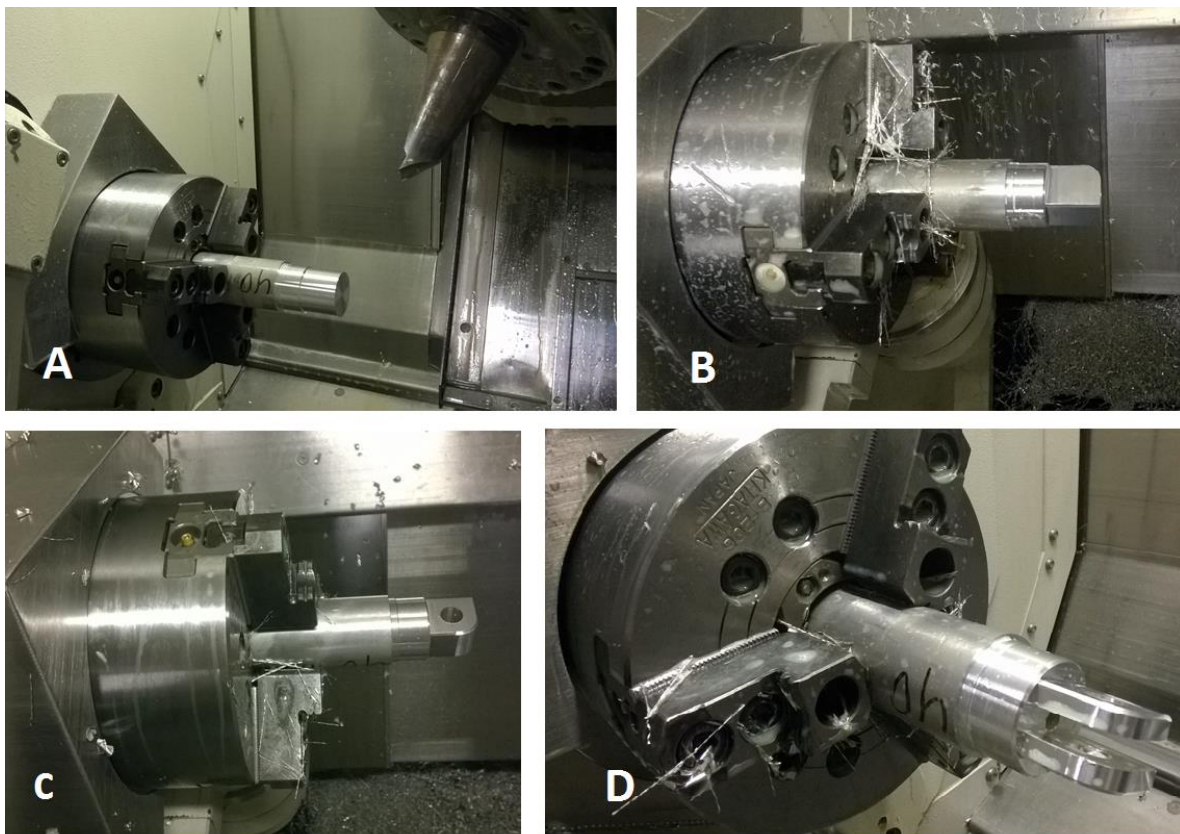
Pro frézování kapsy byla zvolena strategie obrábění pomocí spirály, při které nástroj ubírá materiál jak obvodem, tak zároveň i čelem frézy, což se podle zvuku při obrábění ukázalo jako ne zcela správné. Vrtání a závitování nebyl žádný problém. (obr. 21D)

U závěrečného soustružení byla potíž u hrubování zapichovacím nožem, kde byl použit malý záběr třísky. Záběr měl být zvolen 80% šířky nože, namísto 50% kvůli lepší stabilitě nože a lepšího vnitřního chlazení.



Obrázek 20: Hrubování zapichovacím nožem

Při upichnutí obrobku nejdříve nebyla přidána rezerva a obrobek vlivem odstředivé síly odletěl a nárazem se znehodnotil. Při dalším obrábění byl tento problém vyřešen neúplným upichnutím o 1mm na průměr. Obrábění pomocí odladěného programu trvalo cca kolem 8 minut, což odpovídá i provedené simulaci v EdgeCAMu.



Obrázek 21: Obrábění adaptéru



Obrázek 22: Obrobený adaptér

3.6 Obrábění stupačky

Obrábění stupačky začínalo standardním způsobem, tedy přípravou potřebných nástrojů, vložením do stroje a následným změřením nástrojovou sondou. U vrtáku nemohlo dojít k vložení do zásobníku nástrojů vzhledem k jeho délce a musel se vložit ručně během programu.

Nejdříve byla vytvořena simulace obrábění, která skončila u první pětiosé operace, jelikož ji tento stroj neumí simulovat. První operace hrubování obvodu stupačky hrubovací frézou a poté frézou hladící proběhlo bez problémů. (23, A) Dále následovala pětiosá operace obrobení obvodu stupačky pod úhlem sedmi stupňů, která nebyla simulována. (obr. 23B)

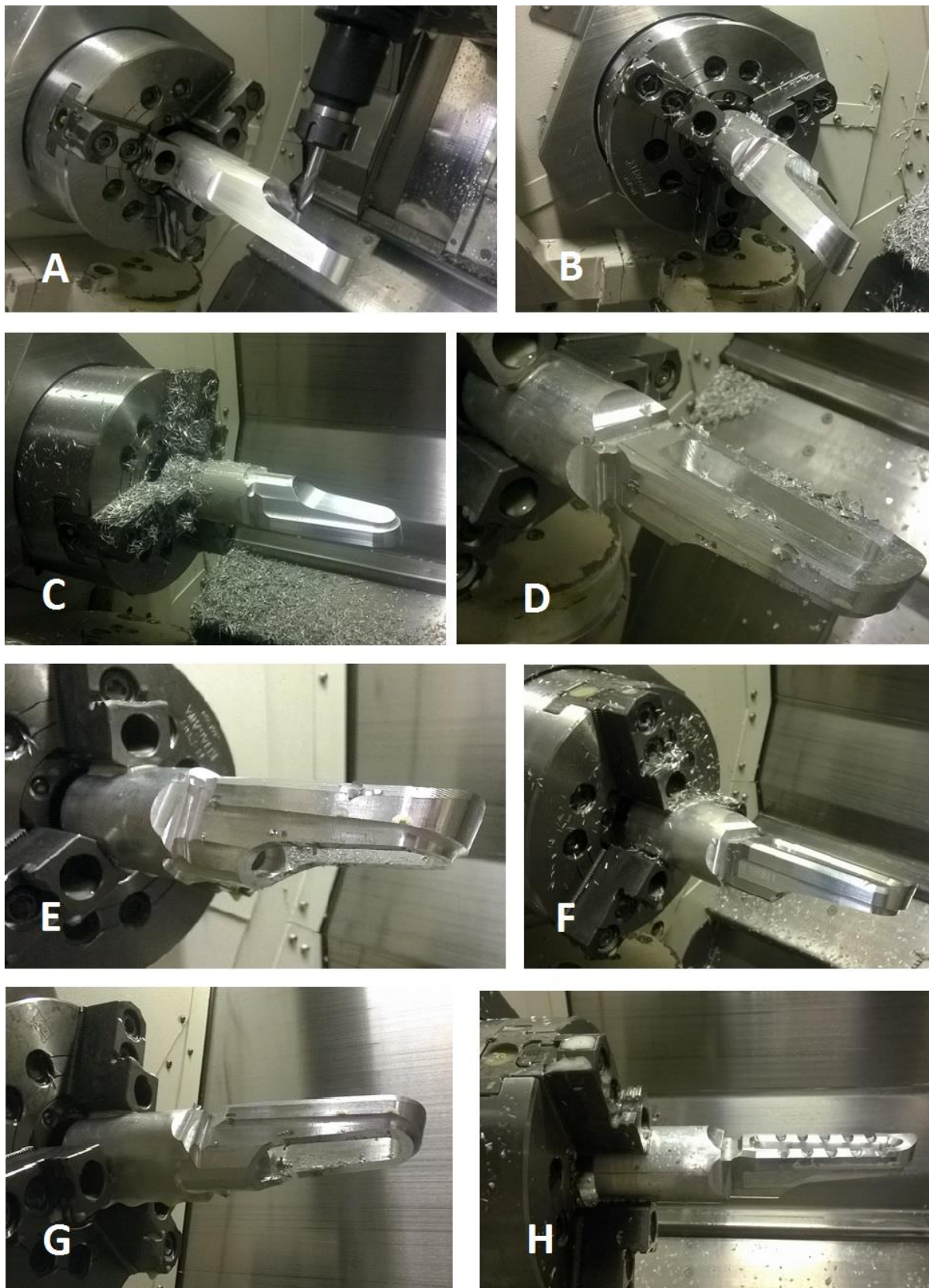
Jako další operace následovalo obrábění pomocí kulové frézy o průměru 8 mm, u něhož se projevila velká délka a velký záběr třísky. Proto musel být program opraven tak, že se přidala dokončovací operace. Přesto u druhé stupačky nástroj na jednom úseku lehce odskakoval. Při další operaci se srážely hrany na dolní straně stupačky pomocí hrubovací frézy o průměru 16 mm, kdy byl zvolen malý nájezd, jenž je vidět na obrobku. (obr. 23C)

U frézování kapsy byl problém se špatně zvolenou frézou, která neměla geometrii na obrábění hliníku, což se projevilo jak zvukově, tak i na povrchu. Kvůli rádiusu na kapse měla být fréza teoreticky menší o 50% než poloměr rádiusu, což prakticky nebylo možné, protože se frézy o takovém průměru, a tak dlouhé nevyrobí, a navíc by došlo k větším vibracím. Vlivem toho, že se tento poměr nedodržel, se musel posuv snížit na 10% a i přesto fréza se „zasekávala“, jež je vidět na obrobeném povrchu. U druhé stupačky se vyměnil nástroj za speciální frézu s geometrií přímo pro hliník a rozdíl byl na povrchu velice znát, i když se v rozích stále zasekávala. Jako další problém se jevil příliš velký úběr materiálu (hloubka záběru 3mm). Tato operace nakonec zabrala nejvíce času. (obr. 23D)

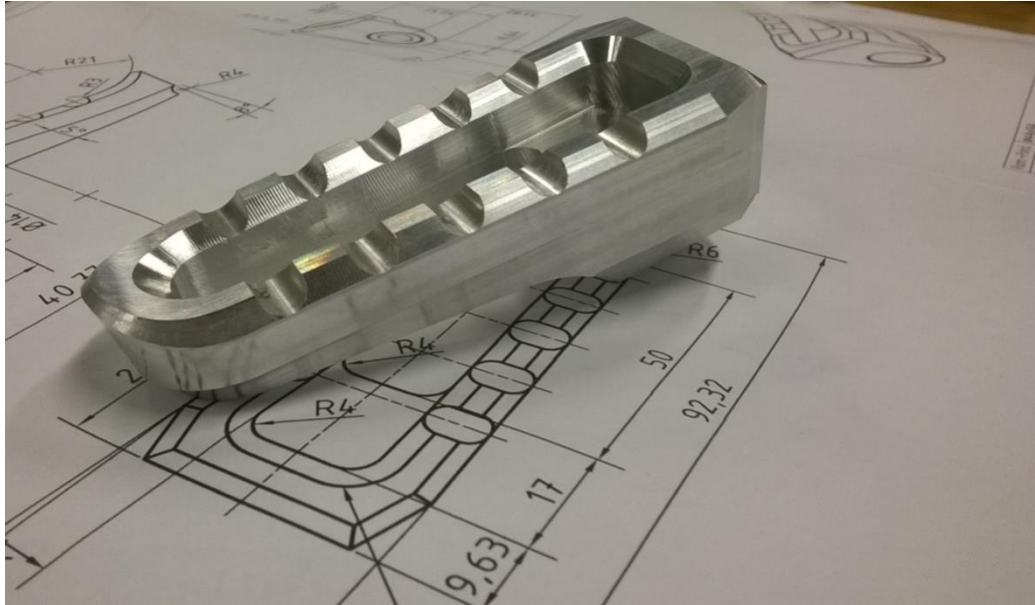
Následná operace vyfrézování díry proběhla bez větších vibrací i přes velmi vysunutou frézu. Poté se musel vyměnit ručně nástroj z výše uvedených důvodů. (obr. 23E) Zbytek operací proběhl téměř ideálně.

Po obrábění zůstal relativně velký zbytek, jelikož průchod vřetene je 43 mm a tyč polotovaru byla o průměru 44 mm. U větších sérií by se tento problém musel řešit stažením tyčí na průměr 43 mm.

Výrobní čas byl cca 58 minut, což je oproti simulaci z EdgeCAMu velký rozdíl, který způsobilo především obrábění kapsy ve stupačce, kdy se musel posuv snížit až na 10% původně zadané rychlosti.



Obrázek 23: Postup obrábění stupačky



Obrázek 24: Obrobená stupačka

Pro obrobení druhé strany stupačky bylo použito frézovací centrum Haas MINIMILL. K upnutí byl zvolen naklápěcí stůl. Vzhledem ke tvaru stupačky musely být vyrobeny speciální upínací podložky, které byly obrobena na konvenční vertikální frézce pod úhlem pěti stupňů.



Obrázek 25: Obrábění upínky

Vzhledem k tomu, že se vyrábí pouze dvě stupačky, byly upnuty pomocí vyrobených upínek a vyrovnány pomocí dvou lišt viz obr. 25. Kdyby byly stupačky vyráběny sériově, musel by být vyroben přípravek na lepší upnutí.



Obrázek 26: Upnutí stupaček na naklápěcí stůl

Po zapnutí stroje se najelo na referenční bod a poté se dali nástroje do výměníku nástrojů. Dále se pomocí nástrojové sondy změřily délky a průměry nástrojů. Na CNC frézku se naklápěcí stůl připevnil upínacími šrouby s maticemi ve tvaru T, které jsou zasunuty v drážkách pracovního stolu frézky. Pro přesné ustavení svěráku se používá číselníkový úchylkoměr, který se upevní na trn ve vřetenu frézky. Pohybem stolu v podélném nebo příčném směru zjišťujeme úchylky v ustavení svěráku.



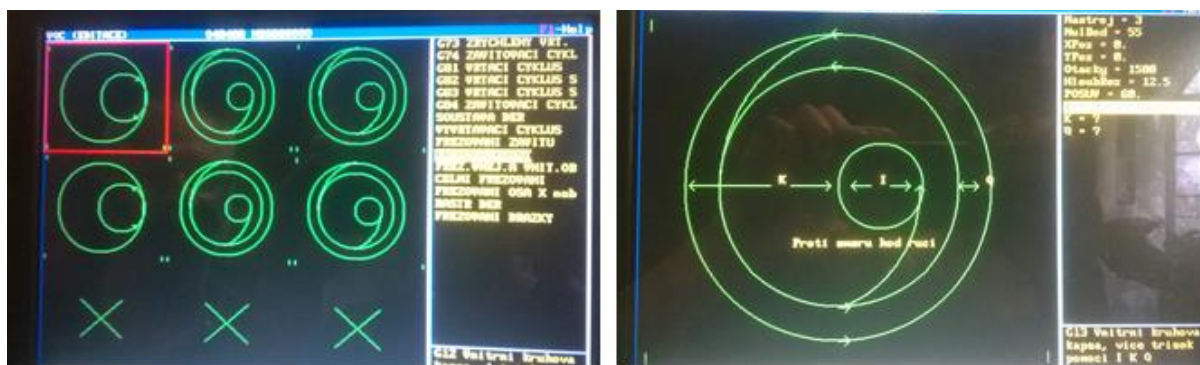
Obrázek 27: Ustavení naklápěcího stolu

Po ustavení stolu byly změřeny nulové body obrobku pro každou stupačku, které byly voleny uprostřed vyvrtané díry z předchozího obrábění na soustružnicko-frézovacím centru.



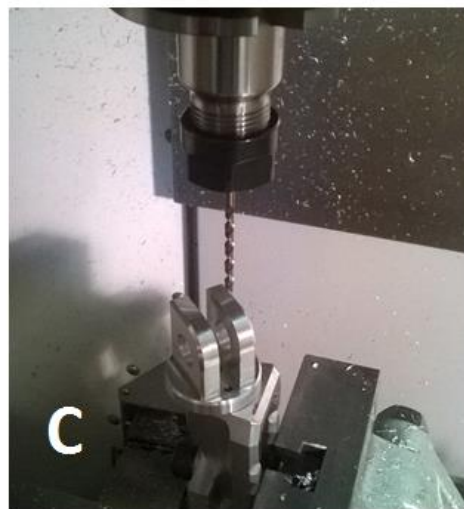
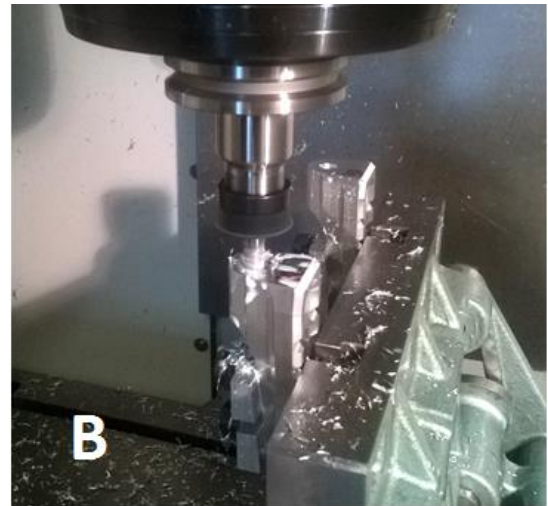
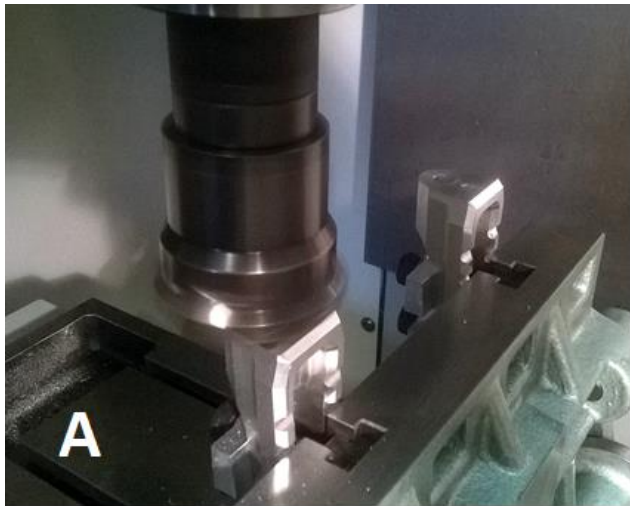
Obrázek 28: Měření nulového bodu

Z důvodu jednoduchého a kusového obrábění se obráběla stupačka pomocí Visual Quick Code, kdy se vybere vhodná operace, a podle obrázku se zadají požadované rozměry, z nichž se automaticky vygeneruje program.



Obrázek 29: Visual Quick Code

Nejdříve bylo obrobena čelo a poté se vyfrézovala díra. (obr. 30A, B) Proto, aby se stupačka neotáčela, byl navržen čep mezi stupačkou a adaptérem. Pro tento čep se díra z důvodu přesnosti obrobila zároveň do stupačky a adaptéru, který se ke stupačce přišrouboval.(obr. 30C)



Obrázek 30: Postup obrábění

4 Závěr

Tato bakalářská práce měla hned několik cílů. Jedním z nich bylo pomocí CAD systému navržení různých stupaček, ze kterých se vybrala nejvhodnější varianta, která se posléze upravila vzhledem k možnostem obráběcího centra Mazak Integrex 100-IV a k dostupným nástrojům. Dalším porovnání výrobního času v simulaci programu EdgeCAM s procesem obrábění. Zde bylo zjištěno, že simulace v EdgeCAMu odpovídá realitě, ale strojní časy neshodují především kvůli sníženým řezným rychlostem, a to jednak částečně ne ideálně zvolenou strategií (například u kapsy stupačky, kde by možná byla lepší strategie frézování odvrtáváním.) a dále špatnou geometrií frézy pro obrábění materiál.

Během tvorby této práce bylo potvrzeno, že vývoj produktu není jednotvárný a musí se neustále vylepšovat. Do sériové výroby by se daný proces obrábění musel doladit tak, aby bylo dosaženo hospodárnosti času stroje a výslední produkt byl rentabilní a prodejný. V porovnání s konkurenční firmou, která se zabývá výrobou doplňků a cenou 5 tisíc korun za pár stupaček bez adaptéru je vidět, že i u této firmy je výroba nákladná. Po doladění obráběcí strategie a nástrojů by byla navržena stupačka konkurenceschopná.



Obrázek 31: Hotová stupačka s adaptérem

Použitá literatura

- [1] KELLER, Petr. *Programování a řízení CNC strojů: Prezentace přednášek - 2. část* [online]. Technická univerzita Liberec, 2005. Dostupné také z: http://www.kvs.tul.cz/download/cnc_cadcam/pnc_2.pdf
- [2] DILLINGER, Josef. *Moderní strojírenství pro školu i praxi*. Praha: Europa-Sobotáles, 2007. ISBN 978-80-86706-19-1.
- [3] ŠTULPA, Miloslav. *CNC obráběcí stroje a jejich programování*. Praha: BEN - technická literatura, 2006. ISBN 80-7300-207-8.
- [4] *Příručka obrábění: kniha pro praktiky*. Praha: Sandvik Coromant, 1997. ISBN 91-972299-4-6.
- [5] CAD studio. *CAD studio* [online]. CAD Studio a.s., 2016 [cit. 2016-06-07]. Dostupné z: <http://www.cadstudio.cz/inventor>
- [6] Nexnet. *Edgcam* [online]. Nexnet a.s., 2016 [cit. 2016-06-07]. Dostupné z: <http://www.edgcamcz.cz/produkty-edgcam/edgcam-5-ose-frezovani>
- [7] Mazak. *Cesta Mazak* [online]. 2015 [cit. 2016-06-07]. Dostupné z: <https://www.mazakeu.cz/o-evropskem-centru-Mazak/globalni-zavazek>
- [8] Katedra výrobních systémů a automatizace. *Programování a výroba na CNC strojích* [online]. [cit. 2016-06-08]. Dostupné z: <http://www.ksa.tul.cz/pro-firmy/programovani-a-vyroba-na-cnc-strojich>
- [9] Mazak. *Yamazaki Mazak UK Ltd.* [online]. 2015 [cit. 2016-06-08]. Dostupné z: <https://www.mazakeu.com/machines/integrex-100-iv/>
- [10] SADÍLEK, Marek. *Počítačová podpora výroby: studijní opora*. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava, 2011. ISBN 978-80-248-2738-4.
- [11] [6] Nexnet. *Edgcam* [online]. Nexnet a.s., 2016 [cit. 2016-06-07]. Dostupné z: <http://www.edgcamcz.cz/o-nas/historie-edgcam>
- [12] Haas Automation, Inc. *CNC Machine Tools* [online]. [cit. 2016-06-12]. Dostupné z: http://int.haascnc.com/about_history.asp?intLanguageCode=1029
- [13] Haas Automation, Inc. *CNC Machine Tools* [online]. [cit. 2016-06-12]. Dostupné z: <http://int.haascnc.com/whatsnew-minimills.asp?intLanguageCode=1029>
- [14] Haas Automation, Inc. *CNC Machine Tools* [online]. [cit. 2016-06-12]. Dostupné z: http://int.haascnc.com/mt_spec1.asp?intLanguageCode=1029&id=MINIMILL&webID=MINI_MILL_VMC
- [15] Rizoma. *Dedicated product line created by Rizoma* [online]. 2016 [cit. 2016-06-12]. Dostupné z: <http://www.rizoma.com/universal/mixed/pe642/en?MOTO=50412321-50462988-R>

[16]VRABEC, Martin. Prostprocessing CL dat. *Manufacturingengineering* [online]. 2008, **VII**(3), 18-20 [cit. 2016-06-19]. Dostupné z: <http://www.fvt.tuke.sk/journal/pdf08/3-str-18-20.pdf>

[17]VITRALAB. *Příručka CNC programování* [online]. 2011, (1.0) [cit. 2016-06-20]. Dostupné z: http://www.sjf.tuke.sk/vitralab/upload/CNC%20prirucka_CZ.pdf

Seznam obrázků

Obrázek 1: Pracovní prostředí programu Autodesk Inventor 2015.....	11
Obrázek 2: Pracovní prostředí EdgeCAMu.....	12
Obrázek 3: Víceosý soustruh [17].....	14
Obrázek 4: Tvorba NC programu pomocí CAD/CAM systému [1]	15
Obrázek 5: Příklad věty pro frézování.....	16
Obrázek 6: Mazak Integrex 100-IV [8]	18
Obrázek 7: Haas MINI MILL [13].....	19
Obrázek 8: Odlévaná stupačka z motocyklu Kawasaki Zephyr 750	20
Obrázek 9: Adaptér na Kawasaki Z750.....	20
Obrázek 10 Stupačka Rizoma	20
Obrázek 11: Návrhy stupaček	21
Obrázek 12: Finální návrh stupačky	21
Obrázek 13: Návrh adaptéru.....	21
Obrázek 14: Sestava stupačky.....	22
Obrázek 15: Postup obrábění v simulaci EdgeCAMu.....	23
Obrázek 16: Simulace vrtání v EdgeCAMu.....	24
Obrázek 17: Postup obrábění stupačky v EdgeCAMu	25
Obrázek 18: Nástrojová odměřovací sonda.....	26
Obrázek 19: Špatné a správné sražení hran.....	27
Obrázek 20: Hrubování zapichovacím nožem	28
Obrázek 21: Obrábění adaptéru.....	28
Obrázek 22: Obrobený adaptér.....	29
Obrázek 23: Postup obrábění stupačky.....	30
Obrázek 24: Obrobená stupačka.....	31
Obrázek 25: Obrábění upínky	31
Obrázek 26: Upnutí stupaček na naklápěcí stůl.....	32
Obrázek 27: Ustavení naklápěcího stolu	32
Obrázek 28: Měření nulového bodu.....	33
Obrázek 29: Visual Quick Code.....	33
Obrázek 30: Postup obrábění.....	34
Obrázek 31: Hotová stupačka s adaptérem	35

Seznam tabulek

Tabulka 1: Příklady G – Funkcí	16
Tabulka 2: Příklady M – Funkcí.....	16
Tabulka 3: Specifikace stroje Mazak Integrex 100 IV [9]	17
Tabulka 4: Specifikace stroje Haas MINI MILL [14].....	19
Tabulka 5: Přehled řezných podmínek pro adaptér.....	23
Tabulka 6: Přehled řezných podmínek pro stupačku.....	25

Obsah přiloženého CD

- text bakalářské práce
 - bakalarska_prace_2016_Pavel_Vokral.pdf
 - bakalarska_prace_2016_Pavel_Vokral.docx
 - kopie_zadani_bakalarska_prace_2016_Pavel_Vokral.pdf
- výkresová dokumentace
 - 3-KSA-BSP-P-01
 - 4-KSA-BSP-P-02
- fotografie
 - fotografie ze simulace programu EdgeCAM a fotografie z výroby součástek
- CAD data z Inventoru 2015
 - adapter1_7.stp
 - stupacka1_8.stp
 - sestava1_7.stp
- CAM data z EdgeCAMu
 - adapter1_7.epf
 - stupacka1_8.epf
 - adapter1_7.eia
 - stupacka1_8.eia