



TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
Fakulta strojní



PROTOTYPOVÁ VÝROBA FUNKČNÍHO CELKU NA CNC OBRÁBĚCÍM CENTRU

Bakalářská práce

Studijní program: B2341 – Strojírenství
Studijní obor: 2301R030 – Výrobní systémy
Autor práce: **Petr Havlík**
Vedoucí práce: Ing. Petr Keller, Ph.D.



ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Jméno a příjmení **Petr H A V L Í K**

Studijní program **B2341 Strojírenství**

obor **2301R030 Výrobní systémy**

zaměření **výrobní systémy**

Ve smyslu zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách se Vám určuje bakalářská práce na téma:

Prototypová výroba funkčního celku na CNC obráběcím centru

Zásady pro vypracování:

(uved'te hlavní cíle bakalářské práce a doporučené metody pro vypracování)

Cílem práce je připravit výrobu součástí navrženého funkčního celku na soustružnicko-frézovacím obráběcím centru Mazak Integrex 100-IV s využitím CAD/CAM systému EdgeCAM. Dále pak pro jednotlivé součásti na tomto centru odladit NC programy a součásti vyrobit.

Doporučené metody pro vypracování:

1. Seznamte se s technologickými možnostmi obráběcího centra Mazak Integrex 100-IV. Navrhněte výrobní postup jednotlivých součástí na tomto centru na co nejmenší počet upnutí materiálu.
2. Proved'te rozbor dostupných funkcí v CAD/CAM systému EdgeCAM pro operace soustružení a frézování s ohledem na navržený postup obrábění.
3. Realizujte technologii obrobení jednotlivých součástí pomocí vhodně vybraných funkcí v CAD/CAM systému EdgeCAM, proved'te simulaci obrobení, kontrolu kolizí a vygenerujte NC programy.
4. Seříd'te potřebné nástroje a polohu polotovaru v pracovním prostoru stroje Mazak Integrex 100-IV, odlad'te vytvořené programy a součásti vyrobte.



Forma zpracování bakalářské práce:

Průvodní zpráva v rozsahu cca 35 stran, včetně příloh.

Text celé bakalářské práce včetně příloh, zdrojových souborů CAD/CAM systému EdgeCAM a NC programů (ve standardu ISO) pro obráběcí centrum Mazak Integrex 100-IV bude v elektronické formě přiložen na CD nosiči k tištěnému svazku originálu i kopii bakalářské práce.

Seznam odborné literatury:

- [1] Keller, P. *Programování a řízení CNC strojů. Presentace přednášek, 2.část. KVS*, FS, TU v Liberci. Liberec 2005
- [2] Dokumentace CAD/CAM systému EdgeCAM
- [3] Dokumentace stroje Mazak Integrex 100-IV
- [4] Články v časopisech a na internetu

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Petr Keller, Ph.D.



Ing. Petr Zelený, Ph.D.
vedoucí katedry

prof. Dr. Ing. Petr Lenfeld
děkan

V Liberci dne 15. března 2014

Platnost zadání bakalářské práce je 15 měsíců od výše uvedeného data (v uvedené lhůtě je třeba podat přihlášku ke SZZ).
Termíny odevzdání bakalářské práce jsou určeny pro každý studijní rok a jsou uvedeny v harmonogramu výuky.

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:

Podpis:

Poděkování

Na tomto místě bych chtěl s úctou poděkovat svému vedoucímu bakalářské práce Ing. Petru Kellerovi Ph.D. a dalším členům Katedry výrobních systémů a Katedry částí a mechanismů strojů za jejich věcné připomínky a rady při vypracovávání této práce. Dále bych rád poděkoval firmám: AmioPlus, s.r.o., Gutekunst+Co.KG, Hoňka s.r.o. a SBD Mladá Boleslav za včasné dodání komponentů a materiálu pro výrobu.

Na závěr bych chtěl poděkovat mé rodině, především za samotnou příležitost absolvování vysoké školy. Hlavně rodičům za jejich trpělivost a podporu v průběhu studií na Technické univerzitě v Liberci.

TÉMA: **Prototypová výroba funkčního celku na CNC obráběcím centru**

ABSTRAKT:

Bakalářská práce je zaměřena na návrh a výrobu funkčního celku obráběním s využitím CAD/CAM systému EdgeCAM 12.5. První část práce popisuje technologické možnosti obráběcího centra Mazak INTEGREX 100-IV a rozebírá dostupné funkce v CAD/CAM systému EdgeCAM pro operace soustružení a frézování. Další část je zaměřena na návrh designu funkčního celku, výběr řezných nástrojů a polotovarů, samotnou tvorbu drah nástrojů s následným vygenerováním NC kódu a výrobu jednotlivých součástí funkčního celku. Nedílnou součástí práce je technická dokumentace. 3D modely, zdrojové soubory systému EdgeCAM a NC kódy jsou přiloženy v elektronické podobě.

Klíčová slova: (CATIA V5, EdgeCAM, CAD/CAM, Prototypová výroba, Mazak INTEGREX 100-IV)

THEME : **Model production of functional unit on CNC production center**

ABSTRACT:

This bachelor thesis is focused on the functional unit design and production taking full advantage of the CAD/CAM EdgeCAM 12.5 system.

There are technological possibilities of the production center Mazak INTEGREX 100-IV depicted in the first part of the work and the analysis of available CAD/CAM functions of the EdgeCAM system for turning and milling operations.

Another part of the work is concentrated on the functional unit design and cutting tools and semi-finished parts assortment. The path of tools is resulting in the NC code generation and functional unit parts production.

The technical documentation is the integral part of in this work. 3D models, EdgeCAM source files and NC codes are included in digital form.

Keywords: (CATIA V5, EdgeCAM, CAD/CAM, Model production, Mazak INTEGREX 100-IV)

Zpracovatel: TU v Liberci, Fakulta strojní, Katedra výrobních systémů

Dokončeno: 2014

Počet stran: 40

Počet příloh: 5

Počet tabulek: 1

Počet modelů nebo jiných příloh: 9

OBSAH

SEZNAM SYMBOLŮ a ZKRATEK.....	9
1 ÚVOD	10
2 Teoretická část.....	11
2.1 CAD/CAM.....	11
2.2 CATIA V5	11
2.3 EDGECAM 2012 R2.....	11
2.4 OBRÁBĚCÍ OPERACE SYSTÉMU EDGECAM	12
2.4.1 Soustružení	12
2.4.2 Frézování	13
2.4.3 Obrábění v rotačním režimu	13
2.5 STROJ	14
3 Vytvoření modelu	15
3.1 VYTVOŘENÍ SKICI	15
3.2 RUČNÍ MĚŘENÍ ROZMĚRŮ	16
3.3 TVORBA MODELŮ, SESTAVY A VÝKRESOVÉ DOKUMENTACE	16
3.3.1 Otočná páčka	17
3.3.2 Víko	17
3.3.3 Základna víka	18
3.3.4 Tvorba sestavy	20
3.3.5 Tvorba výkresové dokumentace.....	20
3.3.6 Konstrukce a funkčnost sestavy	20
4 Tvorba a simulace obráběcího procesu	21
4.1 NAHRÁNÍ POSTPROCESSORU STROJE A GRAFIKY NÁSTROJŮ	21
4.2 IMPORT 3D MODELŮ	21
4.3 USTAVENÍ MODELŮ	21
4.4 POLOTOVAR	22
4.5 OBRÁBĚCÍ PROCES OTOČNÉ PÁČKY	22

4.5.1	Obrábění první strany.....	22
4.5.2	Obrábění druhé strany.....	24
4.6	OBRÁBĚCÍ PROCES VÍKA	26
4.7	OBRÁBĚCÍ PROCES ZÁKLADNY VÍKA.....	28
4.7.1	Obrábění první strany.....	28
4.7.2	Obrábění druhé strany.....	30
5	Výroba součástí	31
5.1	ÚVOD	31
5.2	NASTAVENÍ STROJE	31
5.3	VÝROBA.....	31
5.3.1	Otočná páčka	31
5.3.2	Víko	33
5.4	KONTROLA VYROBENÝCH SOUČÁSTÍ.....	34
8	ZÁVĚR	35
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	36
	SEZNAM OBRÁZKŮ	37
	SEZNAM TABULEK.....	39
	SEZNAM PŘÍLOH.....	40

SEZNAM SYMBOLŮ a ZKRATEK

2D	dvou dimenzionální – rovinný nebo 2osý
3D	tří dimenzionální – prostorový nebo 3osý
5D	5osý
CAA	Computer Aided Analysis – počítačová podpora analýzy
CAD	Computer Aided Desing - počítačová podpora konstrukce
CAD/CAM	počítačový systém s integrovanou podporou konstrukce a výroby součástí
CAE	Computer Aided Engineering
CAM	Computer Aided Manufacturing - počítačová podpora výroby)
CATIA	Computer Aided Three-dimensional Interactive Application
CAX systém	komplexní CAD/CAM/CAE systém
CA..	Computer Aided.. – počítačem podporované / á / é
CIM	Computer Integrated Engineering – integrace počítačových systémů
CNC	Computer Numeric Control - počítačové číslicové řízení
ČSN	označení českých technických norem
EN	Evropská norma
NC	Numeric Control - číslicové řízení
PLM	Product Lifecycle Management - správa životního cyklu výrobku
STL model	Stereolitografický model

1 ÚVOD

Prototypová výroba funkčního celku je proces, při němž se postupuje od prvního návrhu, myšlenky, náčrtu až po hotový prototypový výrobek připravený k měření a testování. Po navržnutí prvotního vzhledu jednotlivých součástí celku je třeba odměřit a určit potřebné rozměry v závislosti na prostoru, ve kterém výrobek bude pracovat, a v závislosti na funkčnosti. Při navrhování vzhledu a rozměrů součástí nesmíme opomenout technologické možnosti stroje, kterými jsme limitováni při jeho výrobě. Při konstrukční činnosti často opomíjíme všechny tyto aspekty a stává se tak často, že při navrhování součástí musíme vrátet pomyslně zpět a postupně součást upravovat jak vzhledově, tak tvarově či materiálově, popřípadě pozměnit technologické možnosti nákupem vhodných nástrojů nebo volbou vhodnějšího strojního zařízení. Tato možnost není však vždy realizovatelná a pro kusovou výrobu nevhodná z finančních důvodů.

Problematika konstrukce a plánování výrobního postupu je v dnešní době ve většině případů realizována v CAD/CAM systémech, ve kterých je možno ověřit funkčnost výrobku či schopnost vyrobení součástí při daných technologických možnostech daného strojního zařízení. Avšak práce v každém CAD/CAM systému přináší velké nároky jak na výpočetní techniku, tak na pracovníky a v neposlední řadě na stroje. Výsledkem těchto značných vstupních nákladů je však vysoká efektivita práce a dokonalá přesnost výrobků, které by v některých případech nebylo možné jinak vyrobit.

Cílem práce je navrhnout a připravit výrobu funkčního palivového víka nádrže pro silniční motocykl značky Kawasaki na soustružnicko-frézovacím obráběcím centru Mazak INTEGREX 100-IV s využitím CAD/CAM systému EdgeCAM. Dále pak pro jednotlivé součásti na tomto centru doladit NC programy a součásti vyrobit. Vyrobené palivové víko nádrže by mělo splňovat požadavky na funkčnost celku, geometrii, tvar, kvalitu povrchu i na vzhled jednotlivých součástí.

Důvodů volby výroby palivového víka je několik: jednak vhodnost tvaru jednotlivých součástí pro obrobění na zvoleném stroji, dále pak možnost odměření potřebných rozměrů a otestování vyrobeného víka na vlastním motocyklu. Nahrazení za originální palivové víko se většinou provádí při používání motocyklu na závodním okruhu, kde požadujeme rychlé otevření a uzavření při zachování zajištění víka v uzavřené poloze a snížení celkové hmotnosti motocyklu. Na českém trhu je momentálně jen několik málo firem, které nabízejí takovýto druh palivového víka, větší výběr je k nalezení na zahraničním trhu. I to je jeden z důvodů pro volbu výroby palivového víka.

2 Teoretická část

2.1 CAD/CAM

CAD/CAM systémy jsou aplikace, které podporují a urychlují pomocí PC realizaci výrobku. Tyto systémy jsou součástí oblasti CIM integrace počítačových systémů, které je součástí oblasti PLM a popisuje celý pohyb výrobku po trhu. [1]

CAD systémy slouží k tvorbě konstrukce, designu výrobku a jeho výkresové dokumentace. Tyto systémy umožňují vytvářet 3D modely, které dále slouží jako základ pro generování NC dat (CAM) nebo další analýzu (CAA). Počítačový 3D model se dnes stává nedílným prvkem v procesu návrhu, analýzy a výroby součástí. [2]

CAM systémy podporují za pomoci PC výrobu součástí. Slouží pro tvorbu technologie pro obráběcí, tvářecí a jiné stroje, obvykle z importovaného 3D modelu s ohledem na danou technologii, následně její verifikaci a generování NC kódu. Systémy můžeme rozdělit podle několika hledisek – nejčastěji dle počtu programovatelných os (2-5) nebo dle technologie. [1]

2.2 CATIA V5

Pro vytvoření jednotlivých modelů funkčního celku byl použit software CATIA V5. CATIA je velmi obsáhlý CAD/CAM/CAE a CAx software společnosti Dassault Systemes, existuje ve třech platformách P1, P2 a P3. Ve většině případů je provozována na platformě Windows, existuje jak ve 32-bitové, tak i v 64-bitové verzi. Jazykové verze existují, ale bohužel ne v českém jazyce, dostupná je angličtina, němčina, francouzština, ruština a několika dalších východních jazyků. [3]

CATIA V5 je systém, který je schopen pokrýt kompletní životní cyklus výrobku (tzv. PLM), tzn. od koncepčního návrhu designu, přes vlastní konstrukci, různé analýzy, simulace a optimalizace až po tvorbu dokumentace a NC programů pro vlastní výrobu. [4]

Systém obsahuje velké množství modulů, lze ho tak nasadit do zcela rozdílných oblastí strojírenství. Může to být např. automobilový či letecký průmysl, výroba spotřebního zboží a stejně tak i výroba obráběcích strojů nebo investičních celků těžkého strojírenství. [4]

2.3 EdgeCAM 2012 R2

Pro vytvoření obráběcího postupu a simulace průběhu obrábění byla použita školní licence softwaru EdgeCAM, jedná se o CAM systém, umožňující programování frézovacích, soustružnických a soustružnicko-frézovacích strojů. Programování strojů je realizováno zapojením postprocesoru požadovaného stroje, tím se docílí převedení prostředí, vlastností a grafického zobrazení stroje. Nedílnou součástí je také zavedení vlastností a grafiky samotných nástrojů potřebných pro obrábění. Po vytvoření výrobní operace výrobku, lze pomocí aplikace *Editor NC kódu* generovat NC program pro 2-5osé stroje.

EdgeCAM je kompletní softwarové CAM rozhraní, umožňující produkční obrábění, tak i výrobu tvarových forem a zápustek. Software disponuje rozsahem 2-5osých frézovacích operací pro soustružení a soustružnicko-frézovací centra, v kombinaci s CAD integrací a automatickými nástroji. [5]

EdgeCAM je schopen zvládat programování jednoduchých i velmi složitých součástí a nabízí plnou podporu pro poslední verze CAD systémů, obráběcích strojů, nástrojů a nejmodernějších technologií. EdgeCAM je produkt společnosti VERO SOFTWARE. [5]

2.4 Obráběcí operace systému EdgeCAM

Zde je vypsán seznam použitých obráběcích operací dostupných v systému EdgeCAM. Systém nabízí mnoho dalších operací pro třískové obrábění, ty však v této práci nejsou použity.

2.4.1 Soustružení

- Hrubování pravoúhlé

Cyklus se používá pro sražení čela obrobku v axiálním směru, může být však použit i při obrábění podél osy soustružení. Sražením čela obrobku se většinou obráběcí postup začíná. v cyklu je odebíraná obdélníková oblast, která je vymezena dvěma body úhlopříčky obdélníku. Nástroj odebírá materiál postupnými záběry ve směru kratší strany obdélníku. Tuto operaci je možno použít s přídavkem na průměr i čelo profilu součásti. [7]

- Hrubování na profil

Cyklus se používá k odstranění materiálu od obrysu polotovaru, kontury vytvořené rotací obrobku nebo od výchozího bodu nástroje, k cílovému tvaru (profilu) obrobku. Cyklus odebírá materiál postupnými záběry se zadanou hloubkou třísky. Operaci je možno použít s přídavkem na průměr i čelo profilu součásti. v následujícím obráběcím postupu je tato operace jedna z nejpoužívanějších. [7]

- Dokončení dle profilu

Cyklus používá k dokončení profilu-kontury obrobku. Operace je možno vytvořit i s určitým přídavkem, ale ten se při dokončovacích úpravách povrchu většinou nezadá. Cyklus lze uplatnit jak pro drátové modely (vytvořené z čar), tak i pro soustružnické útvary na objemových modelech (solidech). Charakteristickým rysem je možnost zařadit korekci na poloměr zaoblení nože tak, aby souřadnice v kódu stroje odpovídaly geometrii profilu, nebo použít ekvidistantní dráhy. [7]

- Hrubování a dokončení zápichu

Operace hrubování zápichu vyhrubuje zápich různými způsoby odebíráním materiálu v zápichu, z určeného bodu startu nástroje nebo dle polotovaru. Podle principu obrábění se rozlišují dva hlavní způsoby soustružení zápichů a vybrání:

- Tvarovým nožem, kdy jeho ostří má přímo tvar zápichu.
- Úběrem třísky, kdy tvar nože neodpovídá přímo tvaru zápichu. Hrubování je v tomto případě provedeno zapichovacím obráběním nebo rozjížděním. [7]

Operace *Dokončení zápichu* obrobí zápich načisto po předchozím hrubování nebo vybrání načisto. Zadání cyklu je obdobné jako u hrubování. [7]

- Soustružení upichováním

Tento cyklus slouží k upíchnutí - oddělení materiálu od polotovaru. Při jeho zadávání se určuje bod upíchnutí obrobku, otáčení vřetena stroje a řízení upichovacího nástroje volbou pravým nebo levým ostřím. [7]

2.4.2 Frézování

- Frézování hrubováním

Hrubování je univerzálně použitelný cyklus pro obrobky vymodelované drátovou geometrií, obecnými plochami, objemovými modely nebo STL modely. Hrubuje se postupnými záběry v ose Z, přičemž dráhy nástroje v záběrech mohou být koncentrické (sledují tvar obvodu záběru), řádkovací, nebo spirální. Význačným rysem cyklu je možnost určení pro každou obráběnou oblast bod, ve kterém se začne daná oblast hrubovat. Cyklus byl optimalizován pro vysokorychlostní obrábění s návazně tečnými přejezdy nástroje a optimální výškou přejíždění. Je možno též použít trochoidní pohyb nástroje při šířce hrubování na plný průměr frézy. Cyklus je použit i k odstranění zbytků materiálu po předchozím větším hrubovacím nástroji s možností označit předchozí hrubovací dráhy, které jsou brány při odstranění zbytků do úvahy. [7]

- Frézování profilováním

Cyklus se používá k dokončení tvaru obrobků objížděním nástroje podél rovinných profilů. Dráhy nástroje se tvoří s kontrolou a vyloučením podříznutí modelu obrobku. Lze ho použít na rovinnou i prizmatickou (2D, 2.5D) geometrii, obecné plochy, solidy a STL modely. Pokud je modelem pouze drátový rovinný profil, lze k němu nadefinovat i boční stěnu a podle jejího průběhu obrobí profil do hloubky i včetně vnitřních ostrovů. [7]

2.4.3 Obrábění v rotačním režimu

Při rotačním frézování se použijí rovinné nebo prizmatické obráběcí cykly radiálně kolem válce, nebo axiálně na jeho čelní ploše. Rotační osou obrábění je osa válce. [7]

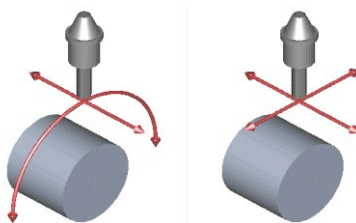
Rozlišujeme dva režimy obrábění:

- *Rotační režim* - zadává se délková a úhlová souřadnice a simulace pohybu nástroje je kolem rotační osy.
- *Rovinný režim* - zadávají se pravoúhlé souřadnice se simulací pohybu nástroje v rozvinuté obalové rovině.

Dále se podle polohy nástroje vzhledem k rotační ose obrobku rozeznává:

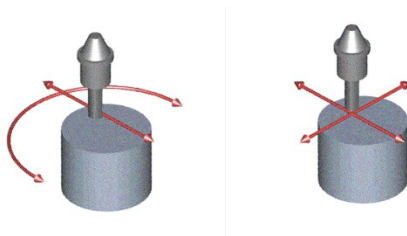
- Radiální rotační obrábění:
 - *Rotační režim*: Obrábění probíhá s rotací obrobku a pohyb nástroje je rovnoběžně a úhlově k ose rotace.

- *Rovinný režim:* Obrábění probíhá v rovině XY a dráhy se potom nabalují na povrch obrobku.



obr. č. 1 - Radiální rotační obrábění - rotační a rovinný režim [7]

- Axiální rotační obrábění:
 - *Rotační režim:* Obrábění s délkovou a úhlovou souřadnicí a simulací pohybu nástroje.
 - *Rovinný režim:* Obrábění rovinné s pravoúhlými souřadnicemi. [7]



obr. č. 2 - Axiální rotační obrábění – rotační a rovinný režim [7]

2.5 Stroj

Stroj Mazak INTEGREX IV-100 je 5osé obráběcí centrum, kde je možné obrábět na jedno upnutí frézováním nebo soustružením. Zařízení je vybaveno CNC řídicím systémem MAZATROL Matrix. Jeho konstrukce je taková, aby nabídla vyšší produktivitu a výkonnější obrábění. Vřeteno nástroje je možné naklopit kolem osy B, je tak možné ho utavit do požadovaného úhlu v rozsahu 225°. [6]



obr. č. 3 - stroj Mazak INTEGREX 100-IV [6]

Vřeteno nástroje má vlastní motor pro upnutí pevných i poháněných nástrojů. Jeho součástí je šnekový převod s valivými segmenty bez vůlí. Mohutné lože mají skvělé vlastnosti při tlumení kmitů, což umožňuje využití výkonu stroje v plném rozsahu. [6]

Pro využití maximálních otáček stroje je hlavní vřeteno uloženo ve velkodimenzových ložiscích. Jelikož je stroj vybaven osou C, je tak možné obrábět i tvarově složitější obrobky. [6]

Stroj je také vybaven osou Y, jelikož konstrukce je taková, že řeznou sílu rozkládá do dvou směrů, tuhost při obrábění se zvyšuje. Pojezdem v ose Y lze obrábět i mimo osu. [6]

V zásobníku stroje je 20 pozic, avšak v pracovním prostoru je pouze jeden nástroj upnutý v nástrojovém vřetenu. Ostatní nástroje jsou v zásobníku, a tak nezabírají místo v pracovním prostoru. Kombinace upnutí nástrojů pro různé operace umožňují obrobení na jedno upnutí. [6]

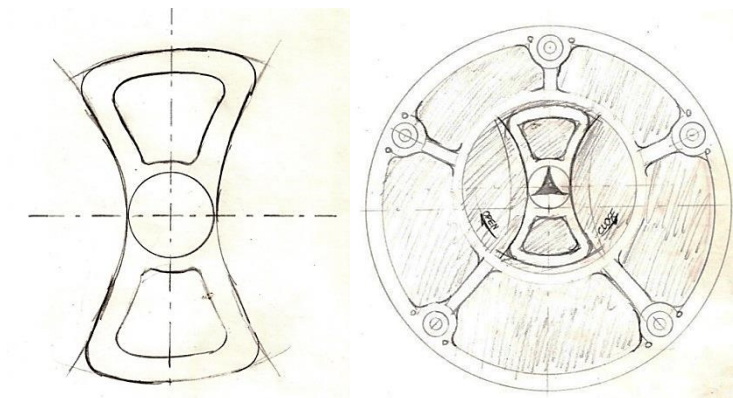
Tab.č. 1 - Technické parametry Mazak INTEGREX 100-IV [6]

Typ stroje INTEGREX	100-IV
Velikost hlavního vřetenového sklíčidla	6°
Max. strojní průměr (osa X) [mm]	545
Max. strojní délka (osa Z) [mm]	570
Y osa zdvih [mm]	70
B osa zdvih [mm]	-30/+195
Rychlost hlavního vřetena [1/mm]	6000
Rychlost nástrojového vřetena [1/mm]	12000
Kapacita zásobníku	20

3 Vytvoření modelu

3.1 Vytvoření skici

Cílem bylo vytvořit vlastní, vzhledově zajímavý návrh palivového víka nádrže motocyklu, který by byl funkční a výrobitelný. Inspirací byly výrobky již prodávané na trhu. První úkol bylo navrhnout tvar otočné páčky, kterou se víko otevře, a dále tvar základny celého víka, které je upevněno k nádrži motocyklu. Zde jsou první skici palivového víka, ze kterých se vycházelo při tvorbě modelů.



obr. č. 4- návrh vzhledu otočné páčky a celého palivového víka

3.2 Ruční měření rozměrů

Aby bylo možné vytvořit funkční 3D model celku, je nutné znát všechny důležité rozměry. K odměření rozměrů posloužilo originální palivové víko nádrže a otvor v palivové nádrži. Bohužel k originálnímu palivovému víku není dostupná výkresová dokumentace, proto bylo nutné všechny důležité rozměry odměřit ručně. K měření byla použita dvě posuvná měřítka o rozsahu 0-150[mm] s přesností 0,05[mm] a rozsahu 0-200[mm] s přesností 0,02[mm]. Rozměry, které nemají vliv na správnou funkčnost víka, byly buď navrhnuty, nebo později vyplnuly z navrhování v modelovacím softwaru.

Měření byla provedena opakovaně, při prvním měření se nepodařilo změřit všechny potřebné rozměry. Až při tvorbě 3D modelu v CATIA V5 se zjistilo, že některé rozměry chybí nebo jsou chybně změřeny. K tvorbě modelu také velmi pomohly fotografie, a to pro správnou představu o vzhledu a tvaru součástí.



obr. č. 5 - originální palivové víko



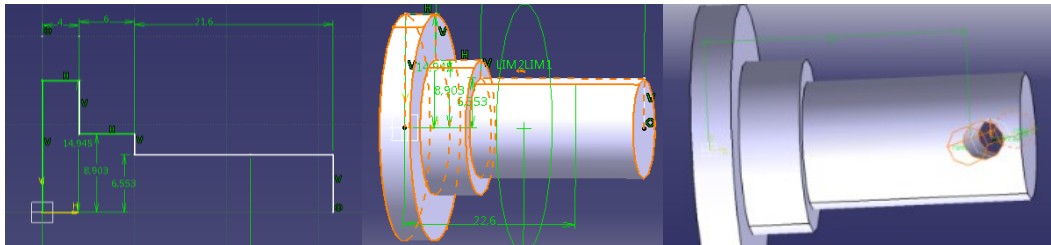
obr. č. 6 - otvor pro upevnění víka v nádrži

3.3 Tvorbě modelů, sestavy a výkresové dokumentace

Sestava palivového víka se skládá ze tří hlavních vymodelovaných součástí: otočná páčka, víko a základna víka. Dalšími součástmi jsou jistící kolík, pružina, těsnící O-kroužky a ploché těsnění, které jsou normalizované a do sestavy přidány z katalogů výrobců. Model a sestava jsou tvořeny v softwaru CATIA V5 R19. Tvorba samotných modelů probíhá modulu *Part desing*, což je modul určený pro tvorbu solidů, objemových modelů. Pro vytvoření sestavy výrobku byl použit modul *Assembly Design* a pro vytvoření výkresové dokumentace modul *Drafting*.

3.3.1 Otočná páčka

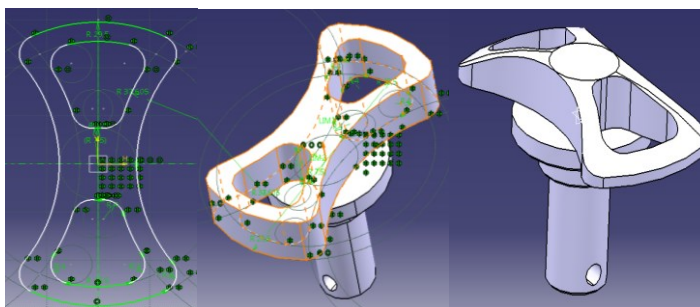
Součást tvoří v horní části samotná rukojeť páčky podle navrženého tvaru a spodní válcová část s osazením pro opření tlačné pružiny a otvoru pro jistící tyčku. Válcová část je vytvořena nakreslením osazeného profilu do roviny XY a vymodelována rotační funkcí (*Shaft*) kolem osy Y.



obr. č. 7 tvorba válcové části a tvorba otvoru

Otvor pro jistící tyčku je vytvořen prvkem *odebrání vysunutím* (*Pocket*).

Následně je vytvořena v horní části páčka nakreslením profilu na horní plochu válcové části a pomocí funkce *přidání vysunutím* (*Pad*) a *odebrání rotací* (*Groove*) je vytvořen konečný tvar kličky. Sražení hran je provedeno prvkem (*Chamfer*).

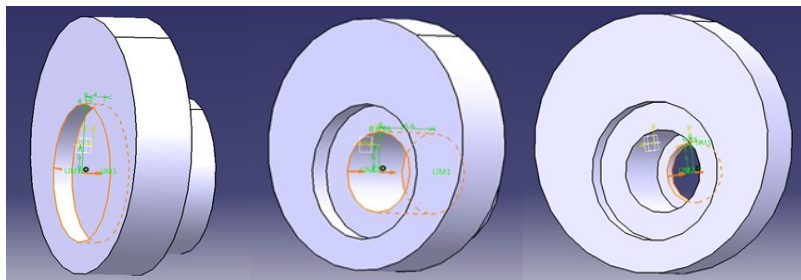


obr. č. 8 - tvorba tvarové rukojeti a hotový model otočné páčky

3.3.2 Víko

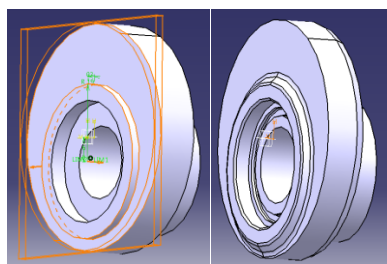
Víko je vytvořeno postupně rotační funkcí (*Shaft*) z nakreslených profilů v rovině XY. Profily rotují kolem dvou os X, které jsou od sebe vzdálené 6mm, což odpovídá vyosení válcových ploch.

Osazené otvory na čelní stěně jsou vytvořeny prvkem *odebrání vysunutím* (*Pocket*) do hloubky 4mm o průměru 30mm a hloubky 15,6mm o průměru 18mm, následně je vytvořen další otvor o průměru 13,2mm skrz celý obrobek, tím je vytvořen prostor a dosedací plocha pro pružinu.



obr. č. 9 - tvorba otvorů

Posledním krokem je vytvoření vyvýšení okolo čelního otvoru, to je vytvořeno prvkem *odebrání vysunutím* (*Pocket*) okolního materiálu. Na závěr je provedeno sražení a zaoblení hran funkcemi (*Chamfer*) a (*Edge Fillet*).

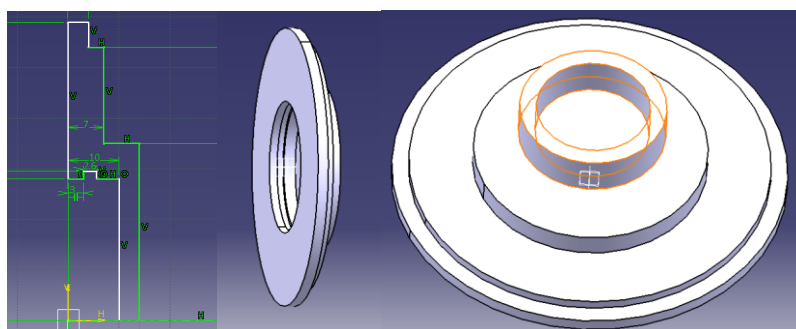


obr. č. 10 – odebrání materiálu a hotové víko po zaoblení a sražení hran

3.3.3 Základna víka

Základna víka je válcová součást s excentrickým otvorem skrz celý materiál, která je nutná pro přístup k otvoru v nádrži motocyklu. Celý model je tedy potřeba vyhotovit vytvořením dvou válcových ploch, které jsou od sebe vzdálené o hodnotu vyosení.

Nakreslením profilu v rovině XY je pomocí rotační funkce (*Shaft*) vytvořena první válcová část. Tím vznikne i první část otvoru v hloubce 10mm a zároveň i drážka pro těsnění.



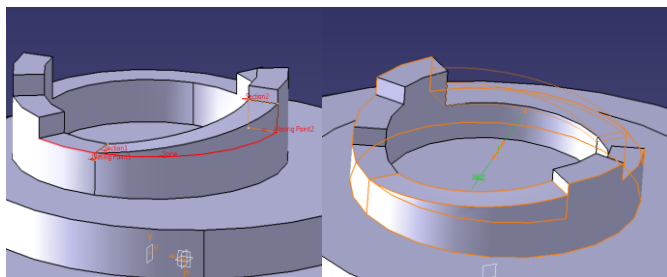
obr. č. 11 - tvorba první válcové části rotací a druhé válcové plochy vytážením

Vytvoření druhé válcové plochy je docíleno nakreslením profilu na spodní podstavu vytvořeného válce a funkcí *přidání vysunutím* (*Pad*). Nakreslením mezikruží vznikne válcová část i s otvorem.

Druhá válcová plocha je dále upravena pro posouvání a usazení jistící tyčky při otevírání a zavírání palivového víka.

Plocha je upravena nakreslením profilu do roviny YZ a prvkem odebrání vysunutím. Tento odebraný prvek je následně pomocí funkce (*Circular Pattern*) přenesen po kružnici o 180°. Postup je obdobný i při odebírání plochy z roviny XY.

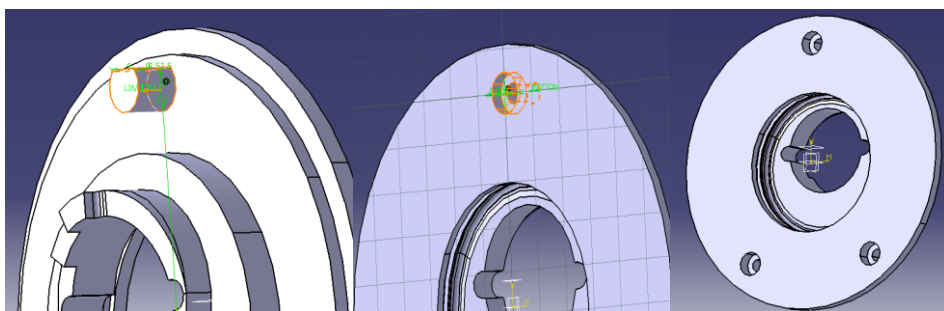
Náběžná plocha pro posunutí jistící tyčky z otevřené do uzavřené polohy je vytvořena nakreslením dvou obdélníkových profilů o různé výšce v rovinách YZ a XZ. Pro nakreslení jednoho z profilů je potřeba vytvořit pomocnou plochu funkcí (*Plane*) o hodnotu 6mm, což odpovídá velikosti vyosení otvoru druhé válcové plochy. Tyto dva profily jsou pak pomocí prvku (*Multi-section Solid*) spojeny zadáním hranice válcové plochy je vytvořena potřebná zkosená plocha. Ta je poté prvkem (*Circular Pattern*) přenesena po kružnici o 180°.



obr. č. 12 - tvorba náběžné zkosené plochy a přenesení plochy

Funkcí *odebrání vysunutím* (*Pocket*) je vytvořena drážka pro ustavení jistící tyčky v uzavřené poloze víka. Následně je na čelní plochu modelu (rovina XY) nakreslen profil budoucího otvoru který je průchozí a má tvar kružnice s drážkou pro jistící tyčku, která zajistí možnost otevírání a zavírání víka. Otvor je proveden prvkem *odebírání vysunutím* (*Pocket*).

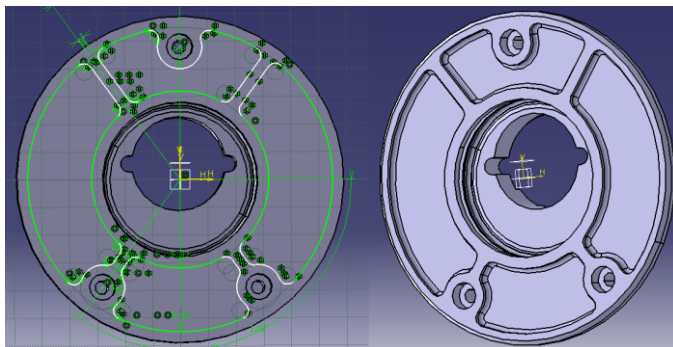
Na zadní straně jsou dále vytvořeny nálitky průchozích otvorů montážních šroubů, které zároveň slouží pro dosednutí základny víka na nádrž motocyklu. Nálitky jsou vymodelovány funkcí *přidání vysunutím* (*Pad*) a otvory jsou z druhé strany vyhotoveny funkcí (*Hole*). Všechny tyto prvky jsou pak přeneseny prvkem (*Circular Pattern*) o potřebný úhel a dále přeneseny zrcadlením prvkem (*Mirror*).



obr. č. 13 - tvorba nálitků a otvorů pro montážní šrouby

Na závěr je vytvořeno vybrání čelní plochy materiálu a zkosení hrany. Čelní vybrání je provedeno nakreslením profilu do roviny XY a zhotovení prvkem (*Pocket*) a sražení hrany je provedeno prvkem (*Chamfer*).

Konečnou operací je vytvoření otvoru v boku palivového víka, který zamezí nárůstu tlaku v palivové nádrži. To je provedeno operací (*Pocket*) nakreslením profilu otvoru do roviny YZ.



obr. č. 14 - vybrání čelní plochy a hotový model

3.3.4 Tvorba sestavy

Vytvořené a stažené modely jsou nyní potřeba sestavit do jednoho celku, pro tento úkol je použit modul *Assembly Design*. Zde jsou volbou *Insert Existing Component* vloženy modely a pomocí příkazů (*Coincidence Constraint*, *Contact Constraint*, *Offset Constraint*, *Angle Constraint* a *Fix Component*) nadefinovány jejich vazby a ustálení. v modulu *Assembly Design* je po vytvoření sestavy možnost kontroly geometrie a rozměrů jednotlivých modelů a jejich vliv na funkčnost celku.

3.3.5 Tvorba výkresové dokumentace

Pro tvorbu výkresové dokumentace je v nabídce softwaru CATIA V5 modul *Drafting*. Při jeho použití je možno vytvořit výkres součásti nebo sestavení na různé velikosti formátů plochy. Pro jednotlivé modely a sestavu byl použit formát A3 na šířku a formát A4 na výšku, což vyhovuje mezinárodní normě ČSN EN ISO 5457. Popisové pole výkresu je vygenerováno z databáze softwaru CATIA V5. Výkresová dokumentace součástí a sestavy je připojena v přílohách této práce.

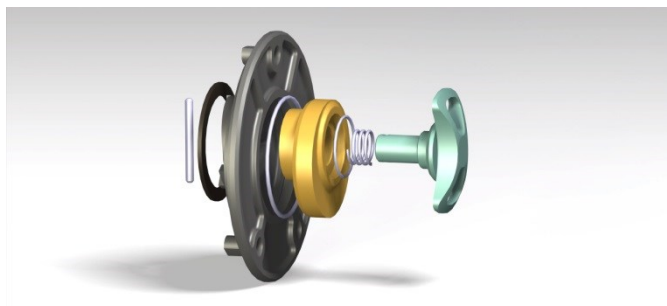
3.3.6 Konstrukce a funkčnost sestavy

Palivové víko nádrže bylo navrženo tak, aby bylo lehce a rychle otevíratelné a uzavíratelné, bez nutnosti použít klíč zapalování motocyklu, jak je tomu u originálního palivového víka. To je docíleno použitím tří hlavních součástí, které jsou v sobě uloženy.

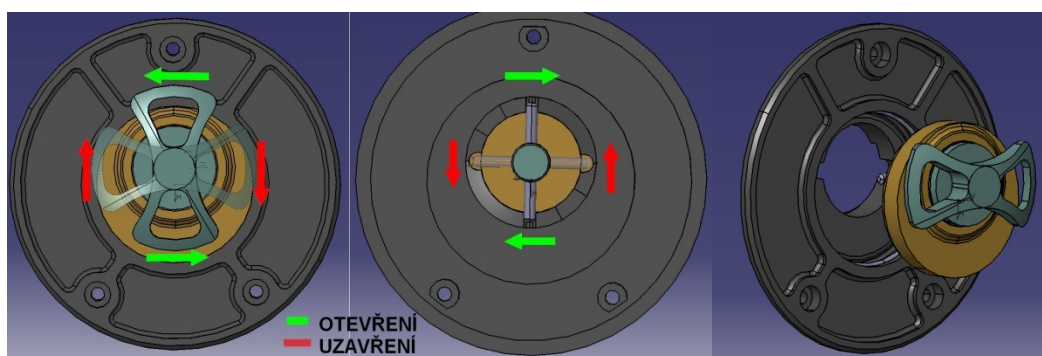
Základna víka je pevně připevněna pomocí třech šroubů k nádrži motocyklu. Do otvoru této základny dosedá vysouvací víko, které je pomocí jistícího kolíku a pružiny rotačně a posuvně uloženo. Pružina je usazena v otvoru mezi víkem a otočnou páčkou. v otvoru základny jsou vyhotoveny drážky pro jistící kolík, ty zajišťují pouze jednu polohu otočné páčky pro otevření a uzavření palivového víka. Zajištění zavřené polohy je provedeno usazením jistícího kolíku silou stlačené pružiny v drážce. Posun jistícího kolíků do uzavřené polohy je proveden zkosenou plochou nebo stlačením a otočením páčky.

Těsnost palivového víka obstarávají tři těsnění, která jsou mezi jednotlivými součástmi a mezi palivovým víkem a nádrží. Palivová nádrž však nemůže být úplně uzavřena a utěsněna z důvodu vypařování paliva

v nádrži. Při větším zahřátí nádrže, např. na slunci, by tak hrozilo její přetlakování a poničení některých komponentů. Z tohoto důvodu je v základně víka vyvrtán malý otvor, který zajišťuje odvětrání palivové nádrže a případně i jako přepad sloužící k odvedení přebytečného paliva.



obr. č. 15 - rozložené palivové víko



obr. č. 16 – princip otevírání a uzavírání palivového víka

4 Tvorba a simulace obráběcího procesu

4.1 Nahrání postprocesoru stroje a grafiky nástrojů

První a velmi důležitou částí je zapojit postprocesor Integrex přímo pro náš požadovaný stroj Mazak INTEGREX 100-IV. Díky tomu je možno převést prostředí, vlastnosti a grafické zobrazení stroje přímo do programu EdgeCAM. Dále bylo nutné, pro přesné zobrazení simulace, zavést vlastnosti a grafické zobrazení samotných nástrojů, které odpovídají skutečnému stavu.

4.2 Import 3D modelů

Vymodelované 3D díly v softwaru CATIA V5 byly uloženy ve formátu STP neboli STEP. Souborový formát STEP je mezinárodní standard pro výměnu CAD dat, který je vhodný pro import do EdgeCam.

4.3 Ustavení modelů

Po importování modelů do softwaru EdgeCAM je potřeba nejprve modely ustavit do polohy pro soustružení. K tomu slouží funkce v záložce *Modely > Polohovat pro soustružení*, která dále vyzývá ke zvolení

rotační stěny v ose rotace obrobku, čelní plochy pro umístění modelu v ose Z a stěny pro určení orientace modelu v ose C. Volbu lze potvrdit kliknutím na tlačítko *Hotovo*, nebo kliknutím pravým tlačítkem myši libovolně do prostoru.

4.4 Polotovar

Volba rozměrů a geometrie polotovaru je závislá na rozměrech a tvaru budoucího obrobku, dále pak na použitém stroji pro obrábění. v případě použití soustružnicko-frézovacího obráběcího centra Mazak INTEGREX 100-IV, je vhodné použít válcový tvar polotovaru. Pro volbu polotovaru v softwaru EdgeCam slouží funkce *Polotovar/Upínka* v záložce Geometrie. v otevřeném dialogovém okně lze navolit tvar a rozměr polotovaru či upínky. Po navolení těchto parametrů program požaduje označení dvou bodů definujících osu (platí pro válcový polotovar). Tyto body lze vybrat kliknutím na již vytvořené body nebo přesné souřadnice bodů zadat.

4.5 Obráběcí proces otočné páčky

Tvorba obráběcího procesu pro otočnou kličku začíná otevřením modelu a jeho následným ustálením pro soustružení. Tvar modelu neumožňuje vytvořit obráběcí proces na jedno upnutí, je proto nutné vytvořit dva obráběcí postupy.

4.5.1 Obrábění první strany

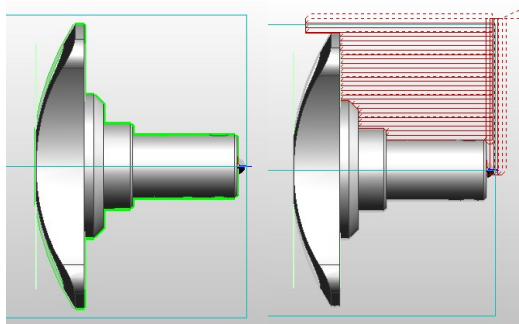
- Soustružení obrysu

Tato operace je vytvořena z důvodu efektivního odebrání velkého množství materiálu nahrubo. Při dalších operacích se tedy odebírá méně materiálu a nástroje jsou méně zatížené.

Trajektorie nástroje je vytvořena operacemi *Hrubování pravoúhlé* a *Hrubování na profil*. U operace *Hrubování pravoúhlé* se nejprve volí počáteční poloha a poté cílový bod. Těmito dvěma body je vymezena úhlopříčka obdélníku, který určuje potřebnou oblast pro obrobení. Při obrábění obvodu je použita operace *Hrubování na profil*, u které se nejprve vybírá profil pro obrobení a dále se určuje počáteční a koncový bod, nakonec startovací bod. Profilem je obráběná kontura, která vznikne rotací modelu kolem osy Z a je vytvořena pomocí prvku *Rozpoznat útvar*.

Nejprve se obrábí polotovar radiálním zarovnáním čela operací *Hrubování pravoúhlé*, poté se obrábí podélně kontura celého modelu operací *Hrubování na profil*. Operace jsou provedeny levým hrubovacím nožem sklopeným pod úhlem 70° kolem osy C.

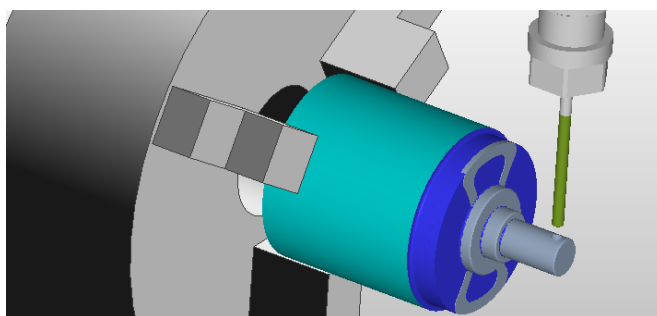
Následně je po těchto operacích hrubovací nůž vyměněn za kopírovací nůž, vhodný pro dokončení. Dokončení čelní i obvodové plochy obrobku je provedeno příkazem *Dokončení na profil*.



obr. č. 17 - kontura a trajektorie nástroje soustružení obrysu

- Vrtání otvoru

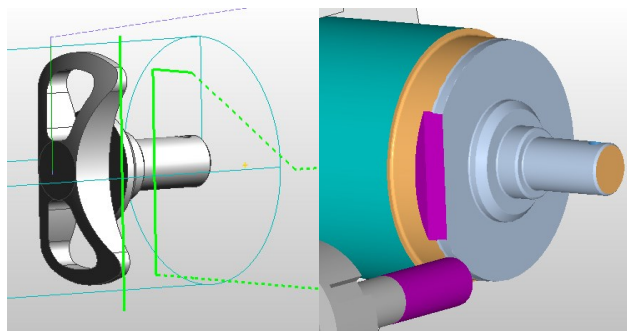
Před vrtáním je třeba ustavit nástroj kolmo k ose obrobku Z, v dialogovém okně je proto zvolena radiální orientace nástroje. Nástrojem pro tuto operaci je poháněný vrták o průměru 5mm. Otvor pro jistící kolík je vytvořen vrtáním do hloubky 4mm z obou stran obrobku. Nástroj proto koná pouze posuvný pohyb a obrobek se natočí o 180° kolem osy Z, mezi jednotlivými operacemi. Tím je docíleno vytvoření průchozího otvoru pro jistící kolík.



obr. č. 18 - vrtání otvoru pro jistící kolík

- Frézování pomocné plochy

Poslední úkolem před upíchnutím obrobku je vytvoření pomocné drážky, která umožní zachovat správnou orientaci natočení obrobku při pře-upnutí. Drážka je vytvořena frézováním operací *Podle profilu (2D)*. Profilem je zde vytvořena úsečka dvěma body, která je orientována mimo největší průměr rukojeti otočné páčky a nezasahuje tak do konečného tvaru a rozměru obrobku. Nástrojem je zde válcová fréza průměru 12mm, ustavena radiálně v rovině ZY. Tato plocha je při dalším obrábění odebrána.



obr. č. 19 - tvorba pomocné plochy

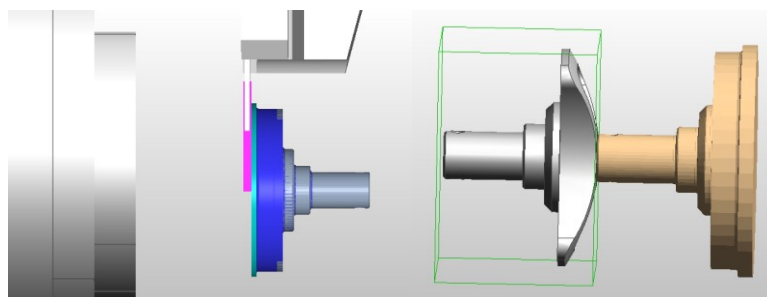
- Upíchnutí a pře-upnutí

Jelikož je tato součást tvarově složitá z obou dvou stran, nelze ji obrobít na jedno upnutí. Z tohoto důvodu je potřeba po výše popsaných operacích obrobek upíchnout, vytvořit nový polotovar a vytvořit nový obráběcí postup.

Pro upíchnutí je zvolen upichovací nůž s planžetou a je vytvořena operací *Dokončit zápich*. v této operaci se nejprve volí profil k upíchnutí, směr, počáteční a koncový bod. Obrobek je však z druhé strany tvořen kulovou plochou a při rozpoznávání soustružnických útvarů se nevytvořil vhodný přímkový profil. Z toho to důvodu byl profil pro upíchnutí vytvořen úsečkou v modulu *Design*.

Vytvoření nového polotovaru pro pře-upnutí je docíleno v okně *Simulace obrábění*, kde při dokončení simulace je možnost uložit obrobek ve formátu STL. Takto vytvořený soubor lze v novém obráběcím postupu načíst pomocí funkce *Vložit soubor STL*, v záložce *Vložit*. Po vložení je potřeba STL útvary v menu *Úpravy* transformovat rotací, posunutím, zrcadlením nebo změnou velikosti.

Upnutí takto vytvořeného polotovaru je provedeno za nejmenší průměr obrobku, tím je umožněno obrobení i druhé strany.



obr. č. 20 - upíchnutí obrobku a transformování vloženého STL útvaru

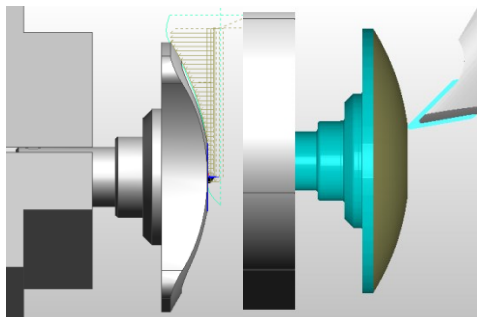
4.5.2 Obrábění druhé strany

- Soustružení obrysu

Druhá strana otočné páčky je tvořena samotnou rukojetí, její čelní plocha je kulová, je tak možno tuto plochu obrábět soustružením. Z předchozího obráběcího postupu se při upíchnutí ponechal přídavek na

čelo obrobku 2mm, ten je pravým hrubovacím nožem pomocí operace *Hrubování pravoúhlé*, odebrán. Stejným nástrojem je odebrán i materiál nad kulovou plochou, operací *Hrubování na profil*. Profilem je obráběná kontura, která vznikne rotací modelu kolem osy Z.

Dokončení profilu je provedeno pravým kopírovacím nožem operací *Dokončení na profil*.

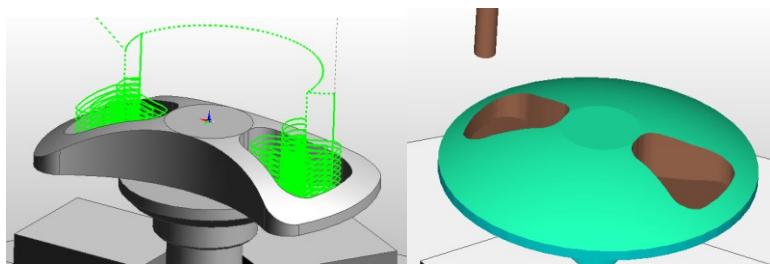


obr. č. 21 - trajektorie nástroje soustružení na profil

- Frézování rukojeti páčky

Rukojeť je partie modelu tvořena dvěma slepými otvory, tzv. kapsy a její obvod válcovými plochami, které jako celek tvoří otevřený frézovací útvar. Před samotnou operací se musí nástroje ustavit kolmo k rovině *Axiální XY*.

Kapsy rukojeti se obrábí válcovou frézou průměru 4mm pomocí operace *Hrubování*. Nejprve se vybírá profil pro obrobení, dále se určuje hranice pro obrábění. Profilem je zde promítnutý obrys otvoru do roviny XY v nulovém bodě obrobku, který je vytvořen prvkem *Geometrie z modelu*. Hranicí pro obrábění je zvolen obrys polotovaru obrobku.

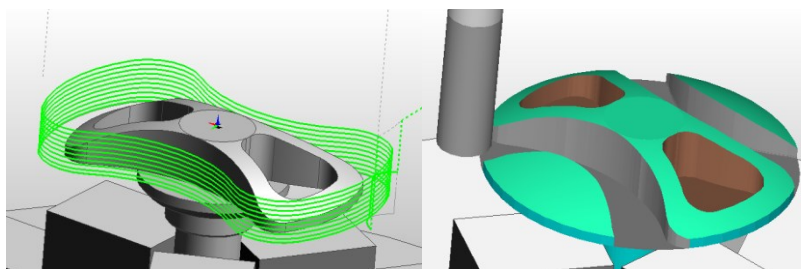


obr. č. 22 - trajektorie nástroje frézování kapes rukojeti

Samotný obrys rukojeti jako otevřený frézovací útvar se obrábí operací *Profilování*. Okolní materiál by bylo možné obrobit operací *Hrubování*, ale to je značně nevýhodné z hlediska strojního času a nutnosti odebrání většího množství materiálu. Při zvolení dostatečného průměru frézy operací *Profilování* a dosažení konečné hloubky se zbylý materiál oddělí.

Operace *Profilování* se zadává nejprve profilem pro obrábění a následně se určuje hranice pro obrábění. Profilem je obrys vnějšího obvodu rukojeti páčky, který je vytvořen prvkem *Geometrie z okrajů a hran*. Hranicí je zvolena vytvořená kružnice prvkem *Oblouk* o průměru 80mm v rovině XY. Díky takto zvolené hranici EdgeCam vygeneruje dráhu nástroje okolo celého obvodu rukojeti páčky a dojde tak k obrobení

i zaoblených hran. Při zvolení *Hranice pro obrobení* profilu polotovaru by tak k obrobení těchto hran nedošlo.



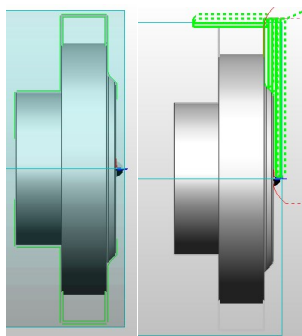
obr. č. 23 - trajektorie nástroje frézování obvodu rukojeti

4.6 Obráběcí proces víka

Při ustálení modelu do polohy pro soustružení je jako rotační stěna v ose rotace obrobku zvolena spodní válcová stěna. Následně vytvořený polotovar má tak totožnou osu rotace s touto plochou, to umožňuje obrobení součásti na jedno upnutí i přes nutnost většího úběru materiálu. Celkový strojní čas je tedy kratší a odpadá vedlejší čas nutný na upnutí obrobku.

- Soustružení obrysu

Při tvorbě polotovaru je vytvořen přídavek na čelo o hodnotě 2mm, ten se soustruží jako první. Jelikož na čele obrobku je vytvořeno vyvýšení okolo čelního otvoru se zkosením a zaoblením hran, je tento přídavek odebrán operací *Hrubování na profil* a v dialogovém okně zvolen způsob soustružení na čelo. Operace *Hrubování na profil* je použita také při odebrání materiálu po obvodě, zde je profilem kontura vzniklá rotací horní válcové plochy kolem osy Z. Pro tyto operace byl zvolen levý hrubovací nůž natočený pod úhlem 70° kolem osy C. *Dokončení na profil* je následně provedeno pravým kopírovacím nožem.



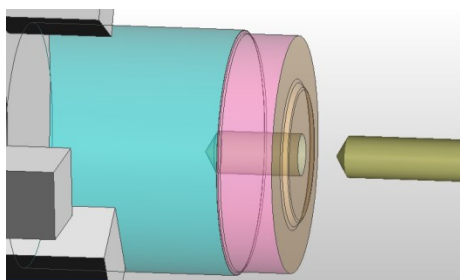
obr. č. 24 - profil a dráhy soustružení obrysu

- Vnitřní soustružení

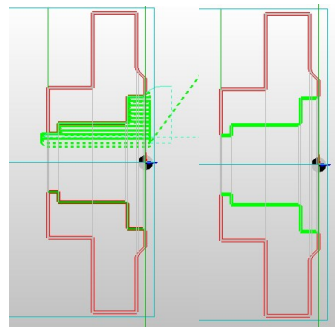
Z důvodu vnitřní rovinné plochy pro opření tlačné pružiny, je potřeba vnitřní plochy obrábět soustružením. Nejprve je vytvořen otvor operací *Vrtání* o průměru 12mm v ose rotace obrobku, prostřednictvím

operace *Obrábění děr*. Tento otvor zaručí bezpečné najetí vnitřního nože do počáteční polohy pro vnitřní obrábění.

Vnitřní plochy jsou obrobeny funkcí *Hrubování na profil*, ale jelikož při automatickém rozpoznávání útvarů se potřebný profil nevygeneroval, je potřeba vytvořit ručně prvkem *Soustružnický útvar* v záložce *Modely* a modulu *Design*. Po hrubování je profil dokončen operací *Dokončení na profil* stejným vnitřním nástrojem.



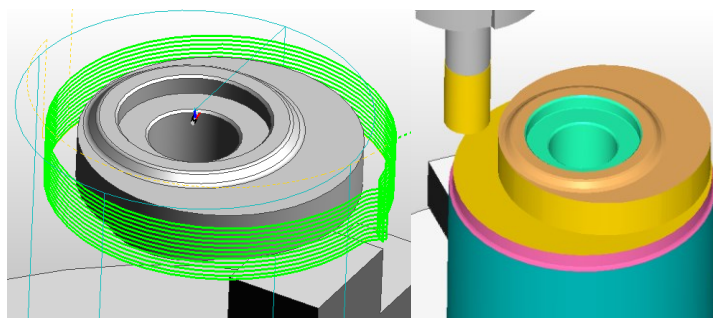
obr. č. 25 - vrtání otvoru pro vnitřní soustružení



obr. č. 26 - profil a trajektorie nástroje vnitřního soustružení

- Frézování obvodu válcové plochy

Excentricky uložená horní válcová plocha byla soustružena podle profilu kontury vytvořené rotací kolem osy Z. Konečný profil válcové plochy je ale nutné vytvořit frézováním a k tomu je použita operace *Profilování*. Profil pro obrábění je zvolen 2D náletkem horní válcové plochy a hranice pro obrábění je zvolena geometrie kružnice vytvořená funkcí *Oblouk*, ležící v ose XY. Nástrojem je válcová fréza průměru 12mm, která je ustavena axiálně vůči rotaci obrobku. Dokončení je provedeno operací *Profilování* bez přídatku na model.

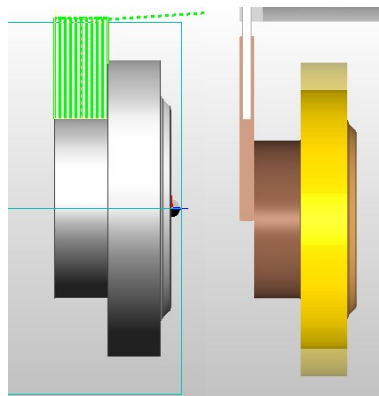


obr. č. 27 - frézování profilováním

- Upíchnutí válcové plochy

Spodní válcová plocha je totožná s osou rotace obrobku, je tedy možné ji obrobit soustružením. Obrobení je provedeno upíchnutím nožem, operací *Hrubovat zápich* a následně dokončení operací *Dokončit zápich*. Dráhou nástroje je profil válcové plochy.

Upíchnutí obrobku je provedeno stejným upichovacím nástrojem jako pro upíchnutí předchozí válcové plochy, to zkrátí výrobní čas o čas potřebný k výměně nástroje. Profil dráhy pro upíchnutí je vytvořen geometrií úsečky přiléhající k zadní čelní stěně obrobku.



obr. č. 28 - upíchnutí válcové plochy a celého obrobku

4.7 Obráběcí proces základny víka

Model základny víka je nejsložitější ze tří obráběných součástí, jeho obráběcí postup je proto zdlouhavější a stejně jako u otočné páčky je nutné postup rozdělit na dvě části.

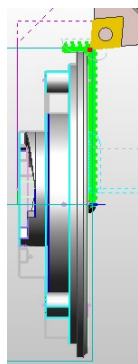
4.7.1 Obrábění první strany

- Soustružení čela a obvodu

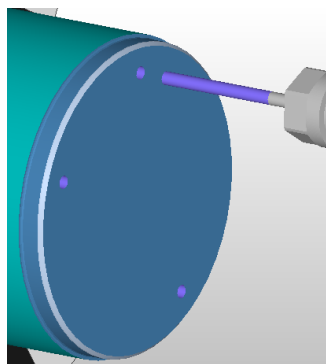
Soustružení vnějších válcových ploch je provedeno operacemi *Hrubování pravoúhlé* a *Hrubování na profil* levým hrubovacím nožem natočeným pod úhlem 70° . Dokončení ploch je provedeno operací *Dokončení dle profilu* pravým kopírovacím nožem. Zadání parametrů je analogické jako u předchozích postupů.

- Vrtání otvorů pro šrouby

Otvory pro šrouby jsou vytvořeny poháněným vrtákem průměru 5mm operací *Obrábění děr*. Po zadání jedné z ploch otvoru se dráhy nástroje automaticky vytvoří i pro zbylé dva otvory.



obr. č. 29 - soustružení čela a obvodu



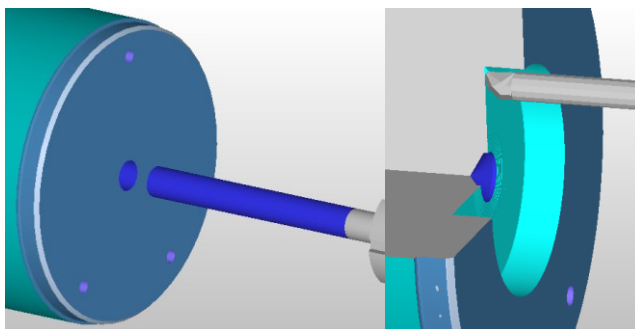
obr. č. 30 - vrtání děr pro šrouby

- Vrtání a soustružení vnitřních ploch

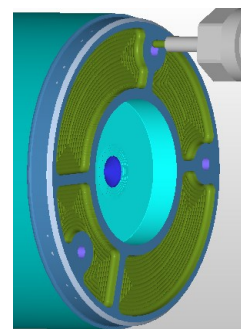
Před zahájením soustružení vnitřních ploch je nutné vrtat otvor průměru 12mm, který dovolí najetí vnitřního kopírovacího nože. Otvor je vytvořen operací *Obrábění děr* a soustružení vnitřních ploch operací *Hrubování na profil* a následně dokončena *Dokončení na profil*.

- Frézování čelních kapes

Kapsy na čelní straně obrobku mají na spodních hranách zaoblení R1,5, je proto zvolena fréza s kulovou hlavou o průměru 3mm. z estetického důvodu je vybrána operace *Hrubování* bez jakékoliv přídávky v ose Z nebo přídávky na model. Tím je docíleno při ukončení operace viditelnost drah nástroje na obráběných plochách.



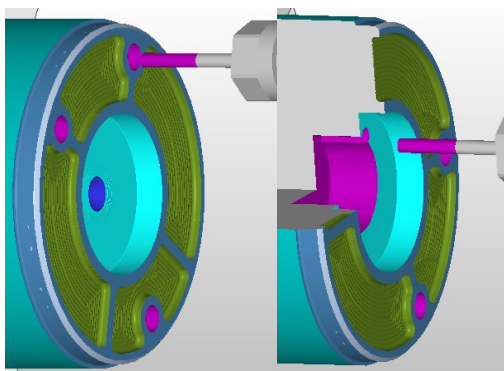
obr. č. 31 - vrtání díry a vnitřní soustružení



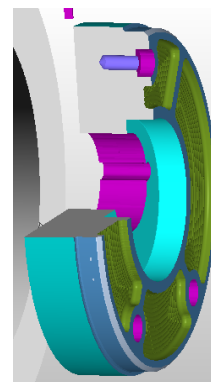
obr. č. 32 - frézování čelních kapes

- Frézování zahloubení pro hlavy šroubů a otvoru pro víko

Zahloubení pro válcové hlavy šroubů jsou vytvořeny čelní válcovou frézou průměru 5mm, která zároveň dovoluje obrobení otvoru pro víko s drážkami. Zahloubení je provedeno operací *Profilování*, stejně jako při vrtání děr pro šrouby je automaticky vytvořena dráha pro všechny zahloubení. Následně je vytvořen otvor pro víko operací *Hrubování*, se *Spirálně* zvolenou strategií drah nástroje, která dosahovala při simulaci nejlepší kvality obráběných ploch.



obr. č. 33 - frézování zahloubení a otvoru



obr. č. 34 - upíchnutí obrobku

- Upíchnutí a pře-upnutí

Po dokončení frézovacích operací je následně obrobek upichovacím nožem upíchnut operací *Dokončit zápich s* přídávkem 2mm na čelo. v modu *Simulator* je vytvořena a zkontrolována simulace. Analogicky jako u postupu v kapitole (4.5.1) obrobení otočné páčky, je uložen STL model a vložen do nového obráběcího postupu.

4.7.2 Obrábění druhé strany

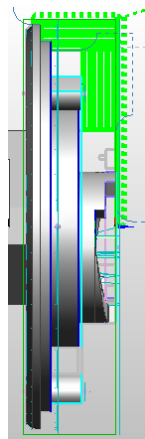
- Soustružení čela a obvodu

Profillem pro operaci *Hrubování na profil* je obráběná kontura, která vznikne rotací modelu kolem osy Z a je vytvořena pomocí prvku *Rozpoznat útvar*. Čelní obrábění je provedeno operací *Pravouhlé hrubování*, poté jsou operací *Dokončení dle profilu* obvod i čelo dokončeny pravým kopírovacím nožem.

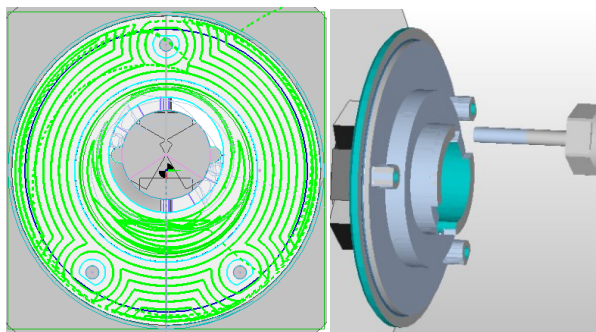
- Frézování vnějších válcových ploch

Pro obrobení materiálu okolo nálitků na zadní válcové ploše je potřeba použít frézování, stejně tak pro excentricky uloženou válcovou plochu a tvarové plochy pro vedení a zajištění jistícího kolíku. Zadní strana základny víka nevyžaduje zvlášť kvalitní povrch. Plochy jsou proto pouze hrubovány bez následného dokončení. Takto frézovaný povrch z předešlých zkušeností dostačuje.

Při operaci *Hrubování* jsou objekty pro obrábění vybrány solid modely, které byly automaticky vygenerovány prvkem *Rozpoznat útvary*. Pouze u obrábění tvarových ploch pro ustavení jistícího kolíku byla vybrána drátová geometrie a vlnovitá strategie obrábění, u které docházelo k nejlepším výsledkům v porovnání obrobených ploch.



obr. č. 35 – soustružení čela a obvodu



obr. č. 36 - frézování válcových ploch

5 Výroba součástí

5.1 Úvod

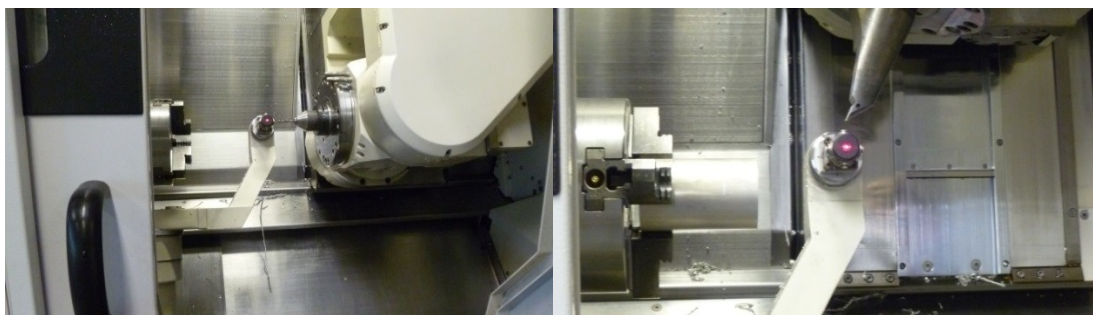
K výrobě součástí je použit materiál slitiny hliníku, obchodně označený jako dural. Jde o materiál s označením dle EN: EN AW 2007 s hutním označením: AlCu4PbMgMn. Materiál je dodaný společností AlmioPlus s.r.o., která u tohoto materiálu zaručuje dobrou obrobiteľnosť. Při obrábění je u většiny operací použita procesní kapalina k docílení lepší kvality povrchu, odvodu tepla řezu, snížení třecího odporu, odpálení třísek a zvětšení trvanlivosti nástrojů.

Před samotou výrobou jednotlivých dílů je možné spustit simulaci obráběcího postupu a kontrolu kolize nástroje a držáku přímo v řídicím systému stroje MAZATROL Matrix. Nejprve se určuje rozměr polotovaru, průměr, délka a materiál. Následně je vybrán NC kód, který má být použit pro simulaci. Jelikož při této simulaci nedošlo u žádného z obráběných součástí k problémům či kolizím, je možné nastavit stroj a pokračovat ve výrobě.

5.2 Nastavení stroje

Nejprve je třeba určit nulový bod nástroje P a nulový bod obrobku W, oba se určují měřicími sondami. Nulový bod obrobku W lze popřípadě určit i najetím špičky nástroje na čelo polotovaru a odečtení aktuální polohy nástroje z obrazovky řídicího panelu. Tato metoda není tolik přesná, ale je rychlejší než při použití měřicí sondy. Dále se musí určit poloha nástrojové hlavy najetím do referenčního bodu R, aby stroj Mazak INTEGREX 100-IV znal polohu nástroje v pracovním prostoru.

Před každým obráběcím cyklem je potřeba zkontrolovat stav nástrojů v zásobníku, případně jejich doplnění, zavedení a nastavení.



obr. č. 37 - určení nulového bodu nástrojů

5.3 Výroba

5.3.1 Otočná páčka

Výrobu otočné páčky není možné provést na jedno upnutí, postup je tak rozdělen do dvou částí na obrábění první a druhé strany.

Obrábění první strany probíhá nejdříve upnutím materiálu do sklíčidla následné určení nulového bodu obrobku W. Po upnutí a roztočení sklíčidla je pohledem zjištěno určité házení čela, to je způsobené nepřesným řezem při dělení materiálu. Čelo polotovaru je proto nejdříve sraženo hrubovacím nožem, dříve než se spustí NC program v CNC režimu.

První obráběcí operací NC programu je soustružení čela a obrysu. Ostřík procesní kapalinou je spuštěn až při dokončování povrchu kopírovacím nožem. Je proto možné fotografovat hrubování za běhu stroje. Další obrábění jsou provedena již při použití procesní kapaliny a jsou tak zobrazeny pouze stavy mezi jednotlivými operacemi.



obr. č. 38 - sražení čela



obr. č. 39 - hrubování na profil

Druhou operací je vrtání otvoru pro jistící kolík, zde byla nutná opatrnost, jelikož upínací hlava nástroje se velmi přiblížila ke sklíčidlu. Při vrtání je nástroj ustaven radiálně v rovině ZY a vzhledem k menší délce upnutého materiálu bylo nebezpečí kolize nástrojové hlavy se sklíčidlem. Operace byla proto manuálně zpomalena a kontrolována, aby v případě blížící se kolize bylo obrábění zastaveno. Vrtání otvoru však proběhlo v pořádku bez jakékoliv kolize.



obr. č. 40 - vrtání otvoru

Po frézování pomocné plochy je obrobek upíchnut, samotné upíchnutí není však provedeno až na osu rotace obrobku, ale je ponechán určitý průměr, který zajistí, že obrobek nespadne a zamezí se tak jeho případnému poškození. Obrobek je následně opatrně odříznut ruční pilkou po zastavení vřeten.

Na upnutí obrobku z druhé strany je použita kleština průměru 14mm a speciálně vyrobeného přípravku pro upnutí mezi čelisti sklíčidla. Po upnutí je třeba obrobek správně polohovat rotací kolem osy Z, tak aby vytvořený otvor a smysl rukojeti páčky odpovídaly modelu.



obr. č. 41 - speciální přípravek upínací přípravek



obr. č. 42 - polohování obrobku po pře-upnutí

Obrábění druhé strany začíná opět sražením čelní strany, jelikož po předchozím upíchnutí a odříznutím na obrobku zůstalo osazení, které je potřeba odstranit. Následně je soustružen profil rukojeti a jsou frézovány otvory a obrys rukojeti. Při frézování obrysu se i přes použití většího průměru frézy, zbylý materiál neoddělil. Podobná situace nastala i při frézování otvorů rukojeti, kdy na dně po obrobení zbyla tenká vrstva materiálu. Tento materiál byl následně rukou odstraněn a malým pilníkem a smirkovým papírem byly zabroušeny ostré hrany.



obr. č. 43 - zbylý materiál na dně otvorů rukojeti

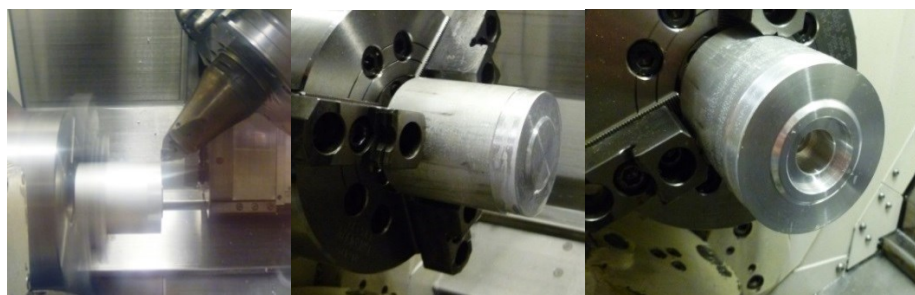


obr. č. 44 - hotová otočná páčka

5.3.2 Víko

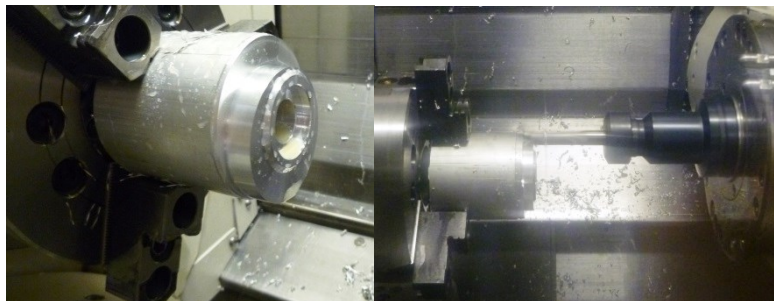
Po nahrání NC programu do řídicího systému nastal problém při pokusu o simulaci drah nástrojů. Po kontrole NC programu byla nalezena chyba v kruhové interpolaci, kde program vypsal parametr R, místo I J K. Chyba byla ručně opravena a poté již simulace bez problému fungovala.

Před samotným spuštěním programu bylo nutné zavést a nastavit nulový bod nástroje pro vnitřní kopírovací nůž a vrták průměru 12mm pomocí měřicí sondy. Následně byl upnut polotovár do sklíčidla a sražena čelní hrana.



obr. č. 45 - soustružení vnějších a vnitřních ploch

Další problém nastal při sledování dráhy nástroje při frézování profilováním obvodu, kdy se nástroj zařezával do plného materiálu rovnoběžně v ose Z místo boční hranou nástroje, tak jak bylo zobrazeno v simulaci. Operace však i přes to byla dokončena, jelikož použitá fréza je vybavena čelními zuby a dovoluje proto takovýto způsob najetí do materiálu.



obr. č. 46 - frézování obvodu

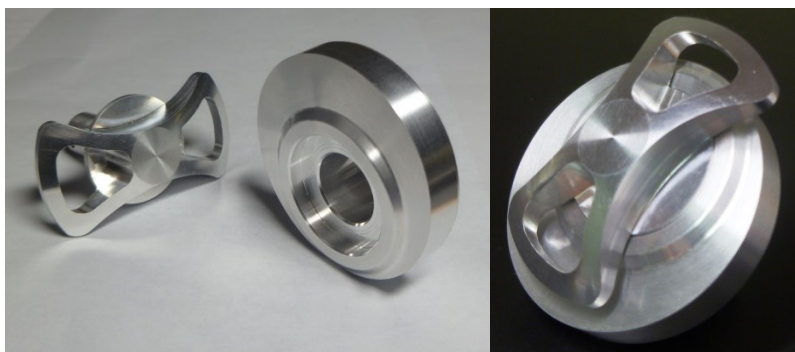
Další operace sražení hrany, upíchnutí válcové plochy a upíchnutí celého obrobku již proběhly bez problému. Výrobu vysouvacího víka se tak podařilo obrobřit na jedno upnutí i přes nutnost obrobění většího množství materiálu z důvodu volby většího průměru polotovaru.



obr. č. 47 - hotové vysouvací víko

5.4 Kontrola vyrobených součástí

Kontrola jednotlivých součástí probíhala měřeními průměrů, které jsou předepsány tolerancí, a kontrolou kvality obrobených ploch pohledem. Naměřené hodnoty odpovídají předepsaným tolerancím a kvalita povrchu je vyhovující.



obr. č. 48 - vyrobené jednotlivé a sestavené součásti

8 ZÁVĚR

Cílem bakalářské práce bylo vytvořit návrh a přípravu výroby prototypu funkčního palivového víka nádrže pro motocykl značky Kawasaki s využitím CAD/CAM systémů. Pro jednotlivé součásti navrhnout vzhled, tvar a geometrii tak, aby byla zajištěna funkčnost celku a na základě toho vytvořit 3D modely, sestavu a výkresovou dokumentaci. Dále v systému EdgeCAM navrhnout výrobní postupy jednotlivých součástí proveditelné pokud možno při minimálním počtu upnutí na soustružnicko-frézovacím obráběcím centru Mazak INTEGREX 100-IV.

V teoretické části se práce zabývá definicí CAD/CAM systémů, představením CAD/CAM/CAE systému CATIA V5, který je použit při tvorbě 3D modelů, sestavy a výkresové dokumentace. Teoretická část práce se dále zabývá představením CAD/CAM systému EdgeCAM a rozбором dostupných operací, použitých ve výrobním postupu. Nechybí zde ani seznámení s obráběcím centrem Mazak INTEGREX 100-IV, jeho popis včetně technických parametrů stroje.

Praktická část práce začíná vytvořením první skici a promýšlením konečné podoby, konstrukce a funkčnosti celého palivového víka. Konečná konstrukce a funkčnost celku je popsána v kapitole 3.3.6. Po navržnutí vzhledu a konstrukce jsou pomocí softwaru CATIA V5 vytvořeny 3D modely jednotlivých součástí, 3D sestava a výkresová dokumentace. v neposlední řadě se praktická část zabývá tvorbou výrobního postupu v softwaru EdgeCAM a následnou výrobou součástí na obráběcím centru.

Při návrhu palivového víka je konstrukce inspirována výrobky již prodávány na trhu zahraničními výrobci jako jsou např. Rizoma USA Inc., OPP Racing Inc., Vortex Racing Inc. a další. i přesto se mi však podařilo navrhnout a vytvořit vlastní vzhled i konstrukci. Kvůli možnostem a vybavenosti stroje bylo ovšem obtížné sjednotit návrh s konstrukcí a vytvořením výrobního postupu. Přesto výroba otočné páčky a vysouvacího víka byla nakonec úspěšná. Při výrobě samotné nedocházelo k větším problémům a povedlo se dodržet požadovaný tvar, geometrii i kvalitu povrchu.

Jelikož se jednalo o prototypovou výrobu, byly z důvodu ochrany stroje a nástrojů průběžně snižovány velikosti posuvů na řídicím panelu stroje. Proto nejsou u jednotlivých operací uvedeny technologické hodnoty a strojní čas. v případě zavedení do sériové výroby by bylo nutné nastavit přesné technologické hodnoty a provést úpravu drah nástrojů, aby se strojní čas zkrátil a snížily se náklady na výrobu.

Zpracováním bakalářské práce jsem se seznámil s problematikou prototypové výroby od prvotního návrhu po konečný proces výroby. Byla mi přínosem ve zjištění nových poznatků při řešení problematiky tvorby optimálního výrobního procesu v CAD/CAM systému EdgeCAM a v bližším seznámení s tímto softwarem. Také jsem si ověřil teoretické znalosti volby normalizovaných součástí a vhodného materiálu v praxi.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] Keller, P., *Programování a řízení CNC strojů. Prezentace přednášek, 2.část*. KVS, TU v Liberci. Liberec 2005
- [2] FABIAN, Michal a Emil SPIŠÁK. *Navrhování a výroba pomocí CA.. technologií*. Brno: CCB, 2009. ISBN 9788085825657, s.56
- [3] CATIA V5. *TECHNODAT, CAE - systémy, s.r.o.* [internet]. 2013 [cit. 2014-05-06].
Dostupné z: <http://www.technodat.cz/catia-v5>
- [4] CATIA V5. *CATIA V5* [internet]. 2010 [cit. 2014-05-06].
Dostupné z: <http://www.technodat.cz/catia-v5>
- [5] MUSIL, M.: *Popis EdgeCAM 12*, 2008, [cit. 2014-05-08]
Dostupné z: http://plarmy.org/cadwiki/index.php/MUSIL_Michael_-_Popis_EdgeCAM_12/
- [6] *Popis stroje Mazak INTEGREX 100-IV*, Misan, 2002-2010. [cit. 2014-05-15],
Dostupné z: <http://www.misan.cz/>
- [7] *Nápověda programu EdgeCAM, EdgeCAM úvod*, Nexnet, 2012 [cit. 2014-05-03]
Dostupné z: <http://www.edgecamcz.cz/>

SEZNAM OBRÁZKŮ

obr. č. 1 - Radiální rotační obrábění - rotační a rovinný režim [7].....	14
obr. č. 2 - Axiální rotační obrábění – rotační a rovinný režim [7].....	14
obr. č. 3 - stroj Mazak INTEGREX 100-IV [6]	14
obr. č. 4- návrh vzhledu otočné páčky a celého palivového víka	16
obr. č. 5 - originální palivové víko	16
obr. č. 6 - otvor pro upevnění víka v nádrži.....	16
obr. č. 7 tvorba válcové části a tvorba otvoru	17
obr. č. 8 - tvorba tvarové rukojeti a hotový model otočné páčky	17
obr. č. 9 - tvorba otvorů.....	18
obr. č. 10 – odebrání materiálu a hotové víko po zaoblení a sražení hran	18
obr. č. 11 - tvorba první válcové části rotací a druhé válcové plochy vytažením.....	18
obr. č. 12 - tvorba náběžné zkosené plochy a přenesení plochy.....	19
obr. č. 13 - tvorba nálitků a otvorů pro montážní šrouby.....	19
obr. č. 14 - vybrání čelní plochy a hotový model	20
obr. č. 15 - rozložení palivové víko	21
obr. č. 16 – princip otevírání a uzavírání palivového víka.....	21
obr. č. 17 - kontura a trajektorie nástroje soustružení obrysu	23
obr. č. 18 - vrtání otvoru pro jistící kolík.....	23
obr. č. 19 - tvorba pomocné plochy.....	24
obr. č. 20 - upíchnutí obrobku a transformování vloženého STL útvaru	24
obr. č. 21 - trajektorie nástroje soustružení na profil	25
obr. č. 22 - trajektorie nástroje frézování kapes rukojeti	25
obr. č. 23 - trajektorie nástroje frézování obvodu rukojeti.....	26
obr. č. 24 - profil a dráhy soustružení obrysu	26
obr. č. 25 - vrtání otvoru pro vnitřní soustružení.....	27
obr. č. 26 - profil a trajektorie nástroje vnitřního soustružení.....	27
obr. č. 27 - frézování profilováním	27
obr. č. 28 - upíchnutí válcové plochy a celého obrobku	28

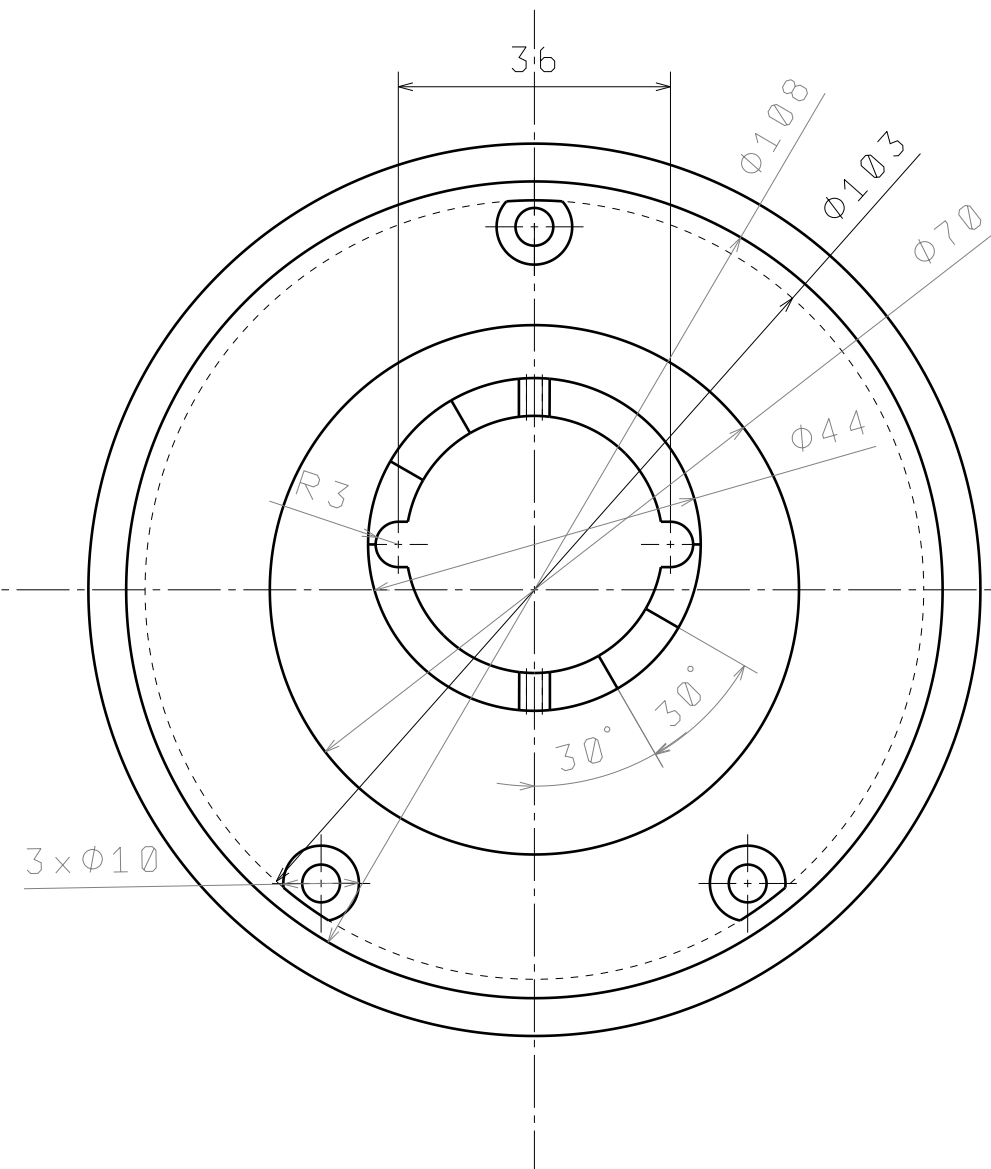
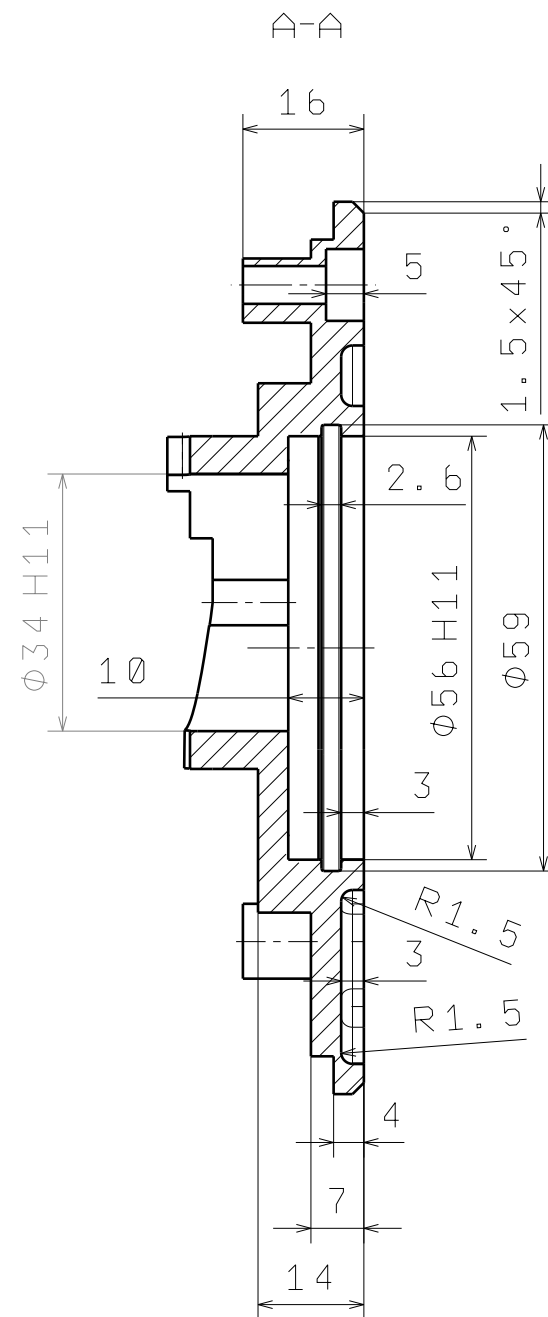
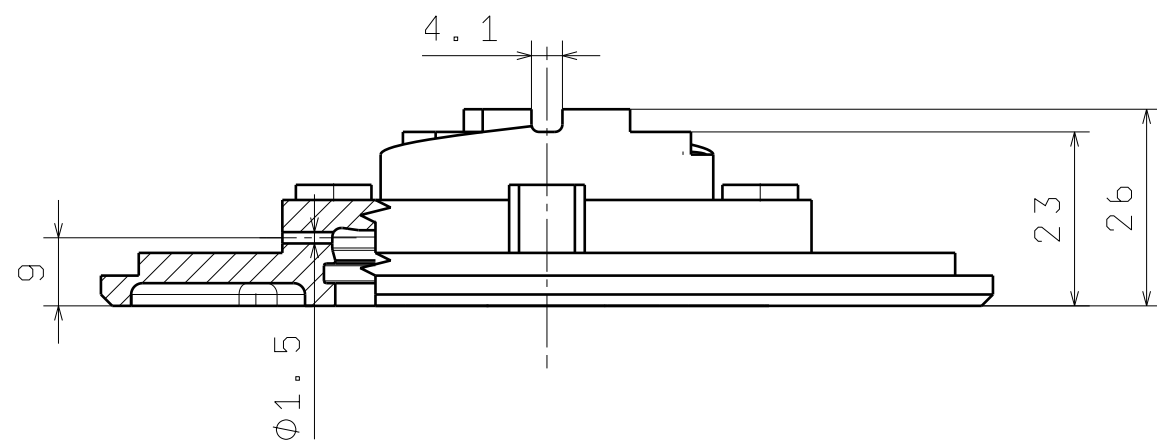
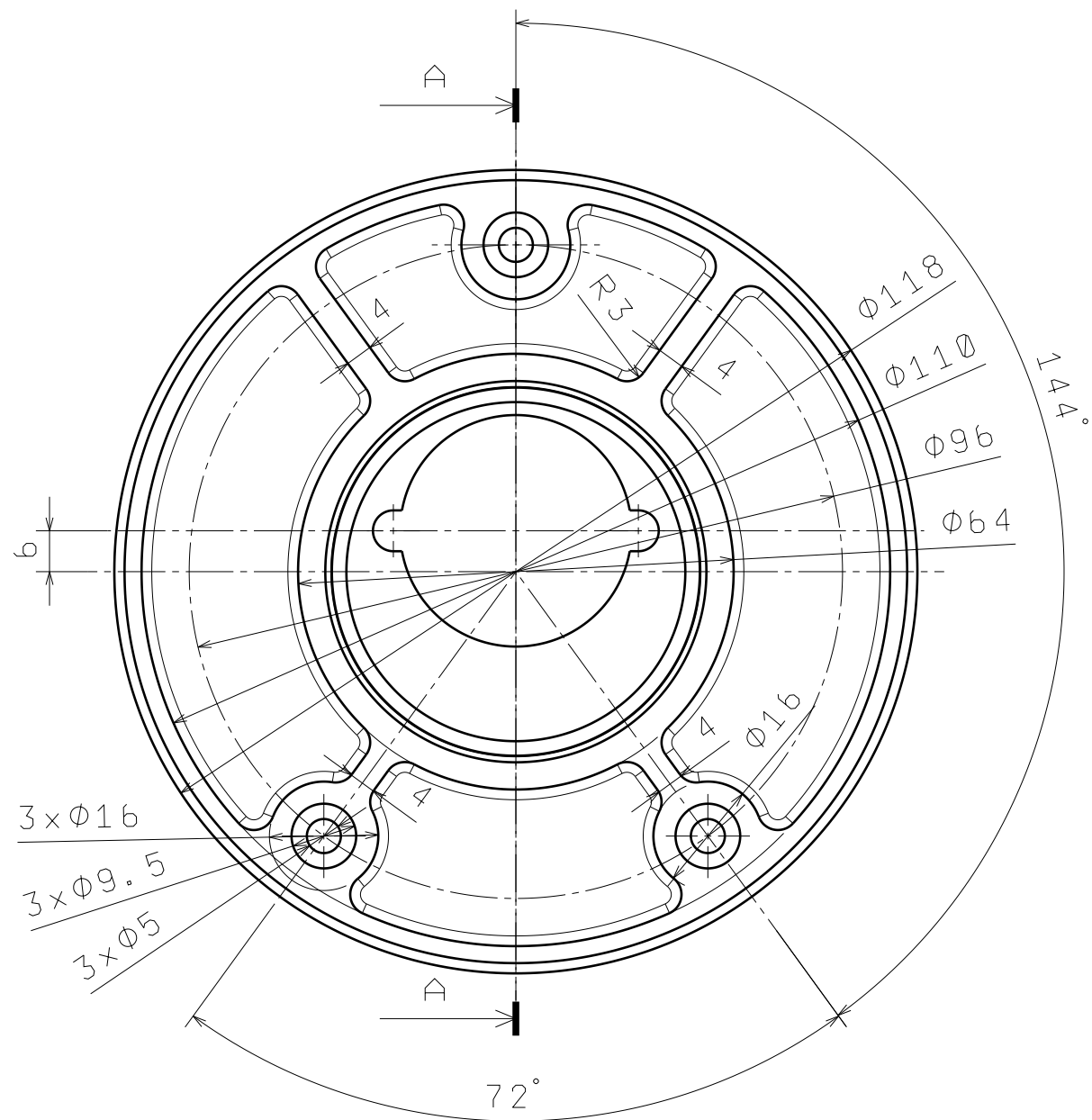
obr. č. 29 - soustružení čela a obvodu	28
obr. č. 30 - vrtání děr pro šrouby.....	28
obr. č. 31 - vrtání díry a vnitřní soustružení.....	29
obr. č. 32 - frézování čelních kapes.....	29
obr. č. 33 - frézování zahloubení a otvoru	29
obr. č. 34 - upíchnutí obrobku.....	29
obr. č. 35 – soustružení čela a obvodu.....	30
obr. č. 36 - frézování válcových ploch	30
obr. č. 37 - určení nulového bodu nástrojů	31
obr. č. 38 - strážení čela.....	32
obr. č. 39 - hrubování na profil	32
obr. č. 40 - vrtání otvoru.....	32
obr. č. 41 - speciální přípravek upínací přípravek	33
obr. č. 42 - polohování obrobku po pře-upnutí	33
obr. č. 43 - zbylý materiál na dně otvorů rukojeti	33
obr. č. 44 - hotová otočná páčka	33
obr. č. 45 - soustružení vnějších a vnitřních ploch	33
obr. č. 46 - frézování obvodu.....	34
obr. č. 47 - hotové vysouvací víko	34
obr. č. 48 - vyrobené jednotlivé a sestavené součásti	34

SEZNAM TABULEK

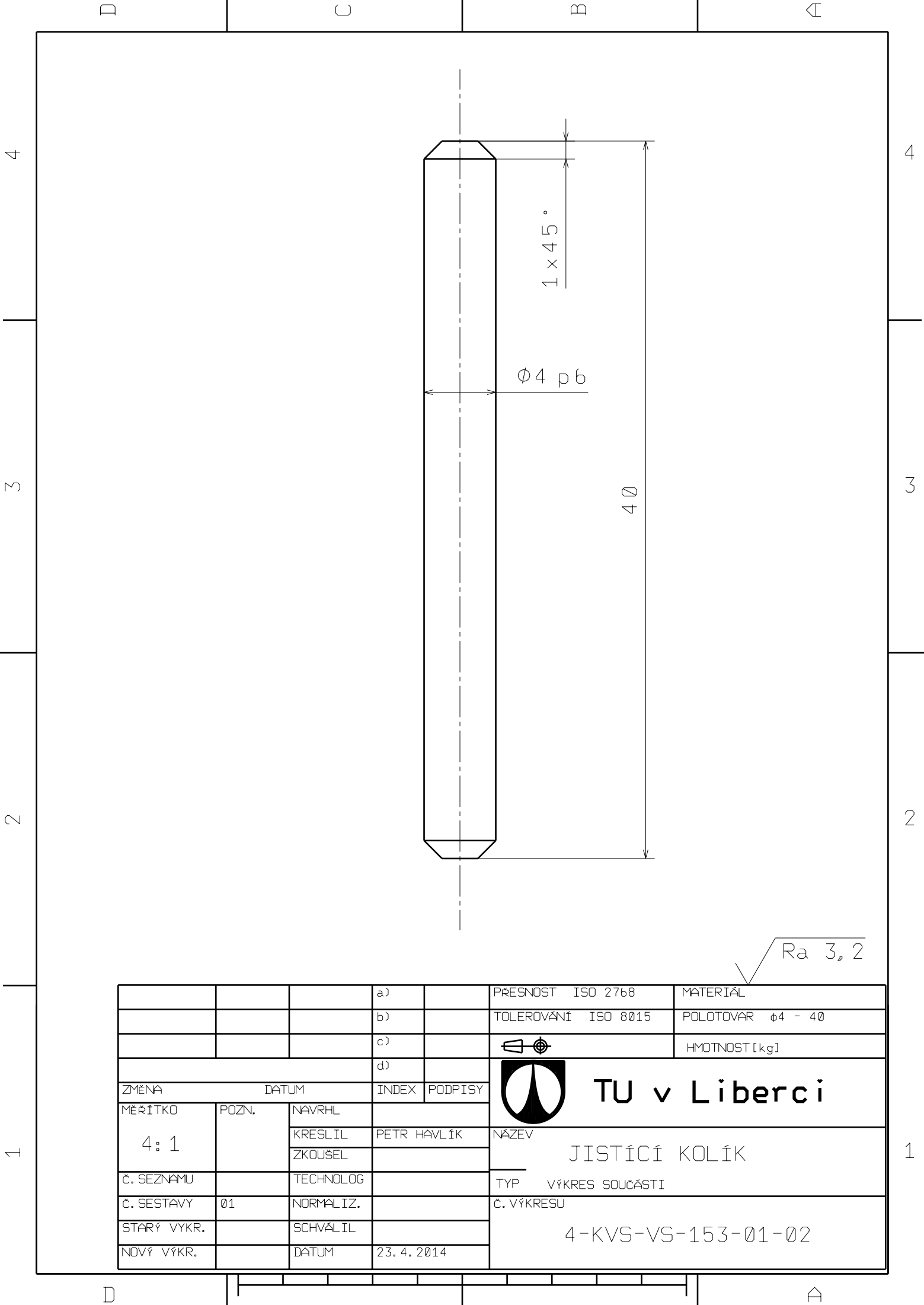
Tab.č. 1 - Technické parametry Mazak INTEGREX 100-IV [6]	15
--	----

SEZNAM PŘÍLOH

- Příloha 1: Výkresová dokumentace, základna víka
- Příloha 2: Výkresová dokumentace, jistící kolík
- Příloha 3: Výkresová dokumentace, vysouvací víko
- Příloha 4: Výkresová dokumentace, otočná páčka
- Příloha 5: Výkresová dokumentace, výkres sestavení palivového víka
- Příloha 6: 3D modely (obsah CD)
- Příloha 7: Zdrojové soubory systému EdgeCAM (obsah CD)
- Příloha 8: NC programy vyrobených součástí (obsah CD)

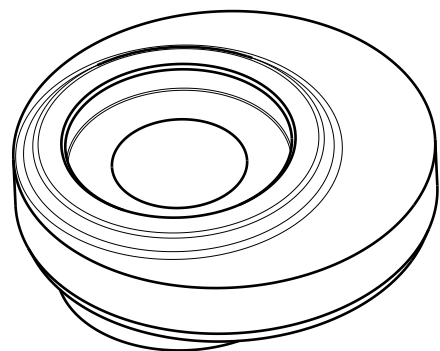
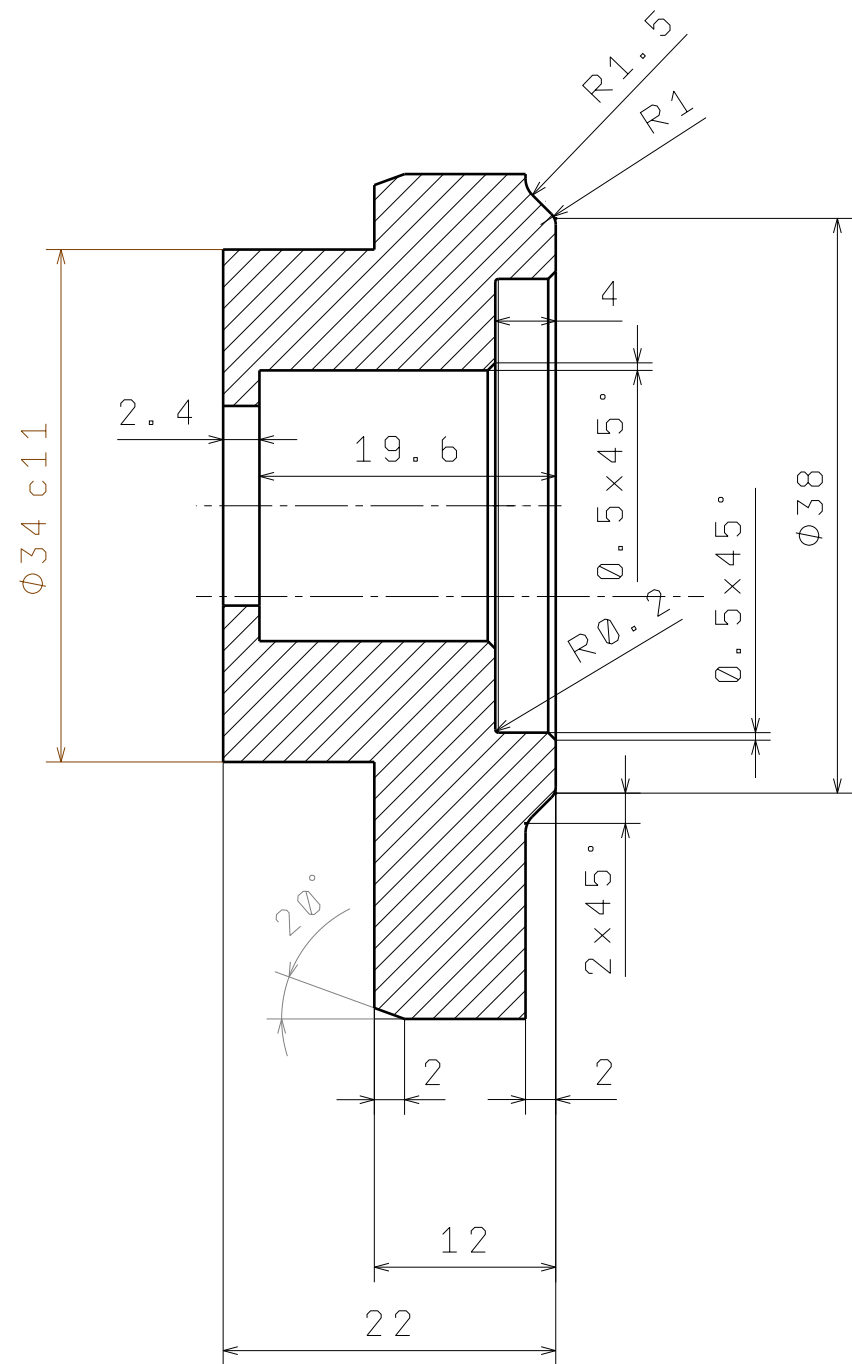
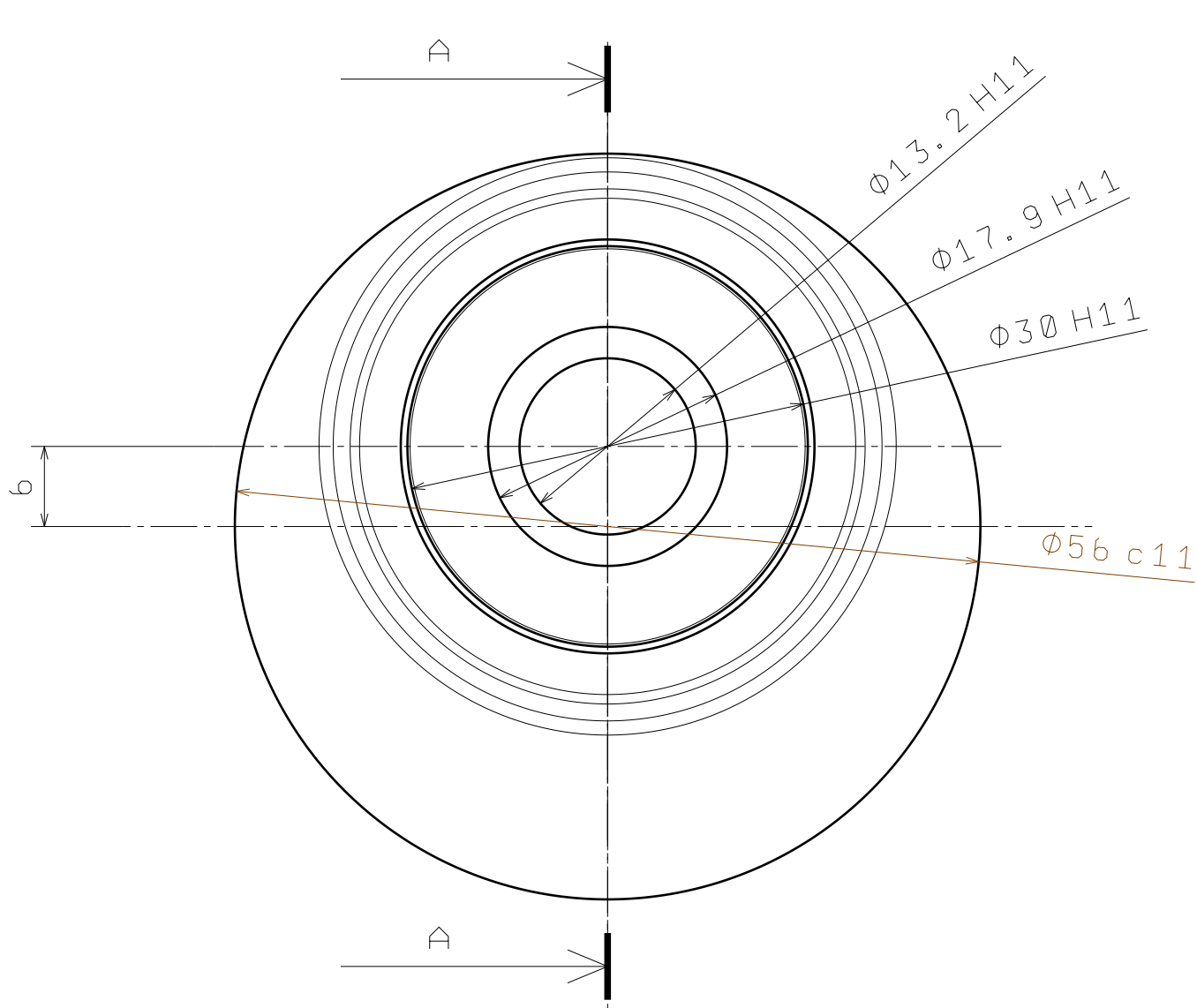


			a)		PŘESNOST ISO 2768	MATERIÁL EN AW-2007
			b)		TOLEROVÁNÍ ISO 8015	POLOTOVAR $\phi 120,5 - 90,5$
			c)			HMOTNOST [kg]
			d)		 TU v Liberci	
ZMĚNA		DATUM	INDEX	PODPISY		
MĚŘÍTKO 1 : 1	POZN.	NAVRHL				
		KRESLIL	PETR HAVLÍK	NÁZEV		
		ZKOUŠEL		ZÁKLADNA VÍKA		
Č. SEZNAMU		TECHNOLOG		TYP	VÝKRES SOUČÁSTI	
Č. SESTAVY	01	NORMALIZ.		Č. VÝKRESU		
STARÝ VYKR.		SCHVÁLIL		3-KVS-VS-153-01-01		
NOVÝ VÝKR.		DATUM	23. 4. 2014	1/1		
				LIST		



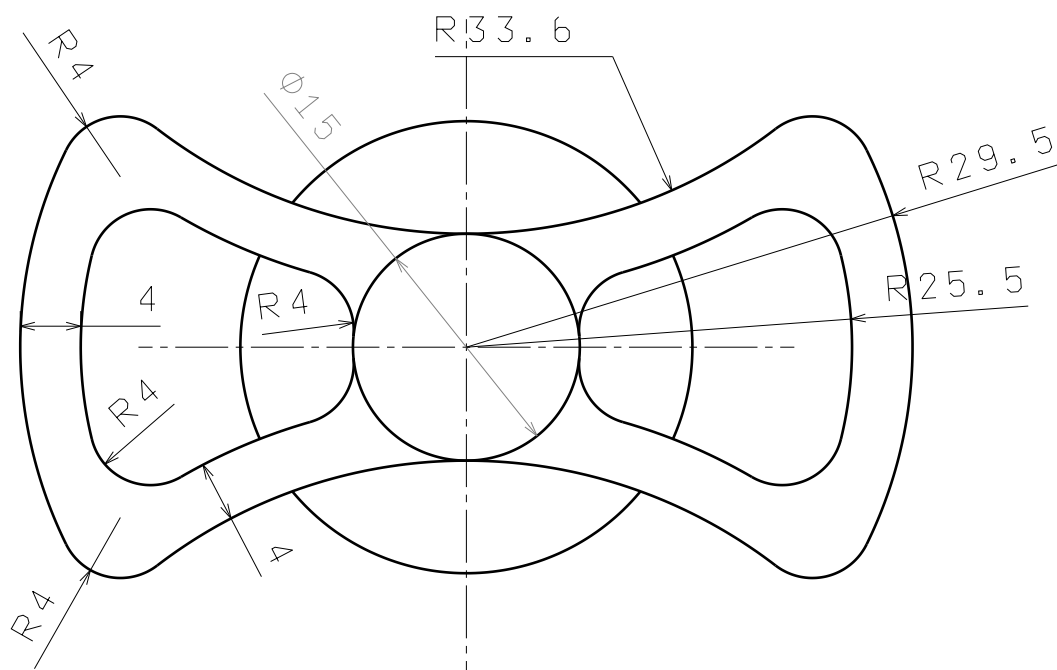
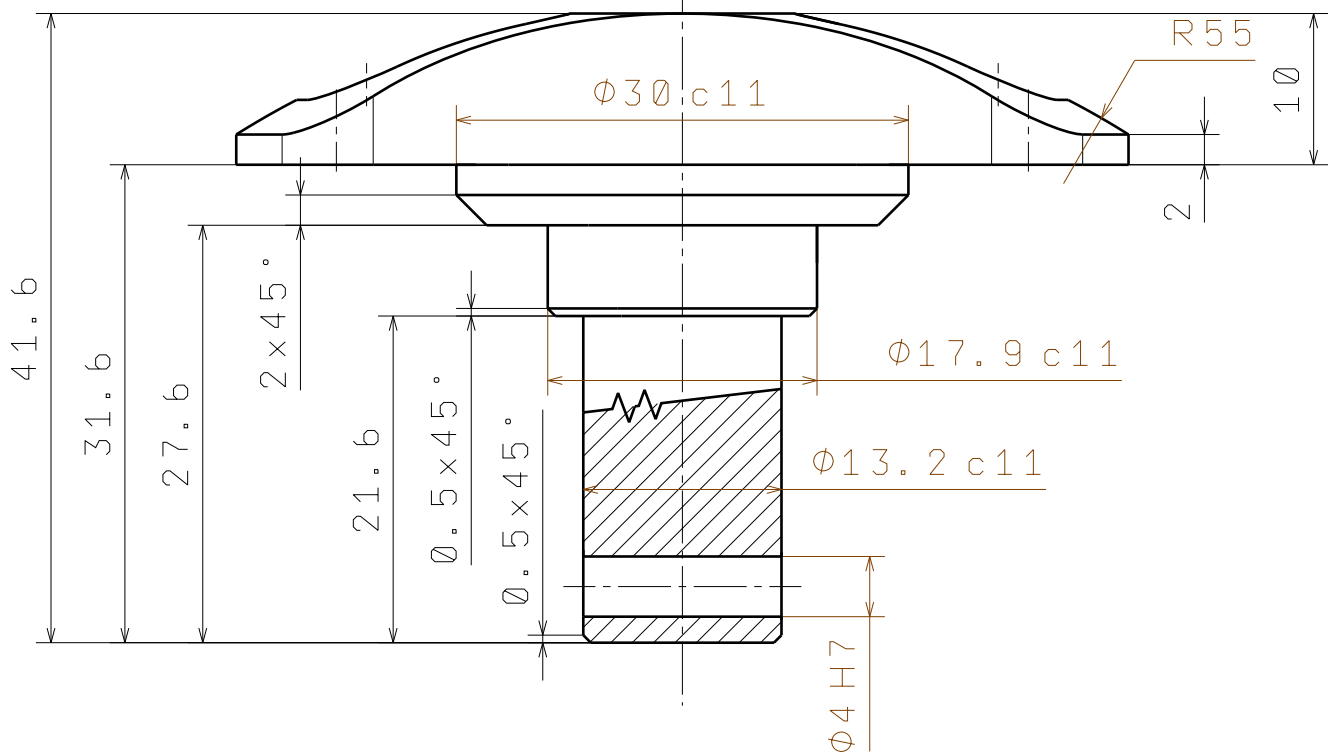
Ra 3,2

			a)		PŘESNOST ISO 2768	MATERIÁL	
			b)		TOLEROVÁNÍ ISO 8015	POLOTOVAR $\phi 4 - 40$	
			c)			HMOTNOST [kg]	
			d)		 TU v Liberci		
ZMĚNA		DATUM	INDEX	PODPISY			
MĚŘÍTKO 4 : 1	POZN.	NAVRHL			NÁZEV	JISTÍCÍ KOLÍK	
		KRESLIL					PETR HAVLÍK
		ZKOUŠEL					
Č. SEZNAMU		TECHNOLOG			TYP	VÝKRES SOUČASTI	
Č. SESTAVY	01	NORMALIZ.			Č. VÝKRESU	4-KVS-VS-153-01-02	
STARÝ VYKR.		SCHVÁLIL					
NOVÝ VÝKR.		DATUM	23. 4. 2014				



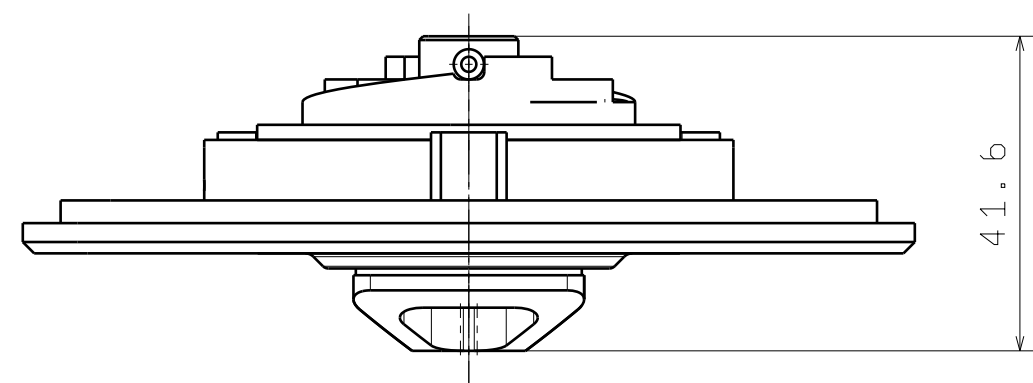
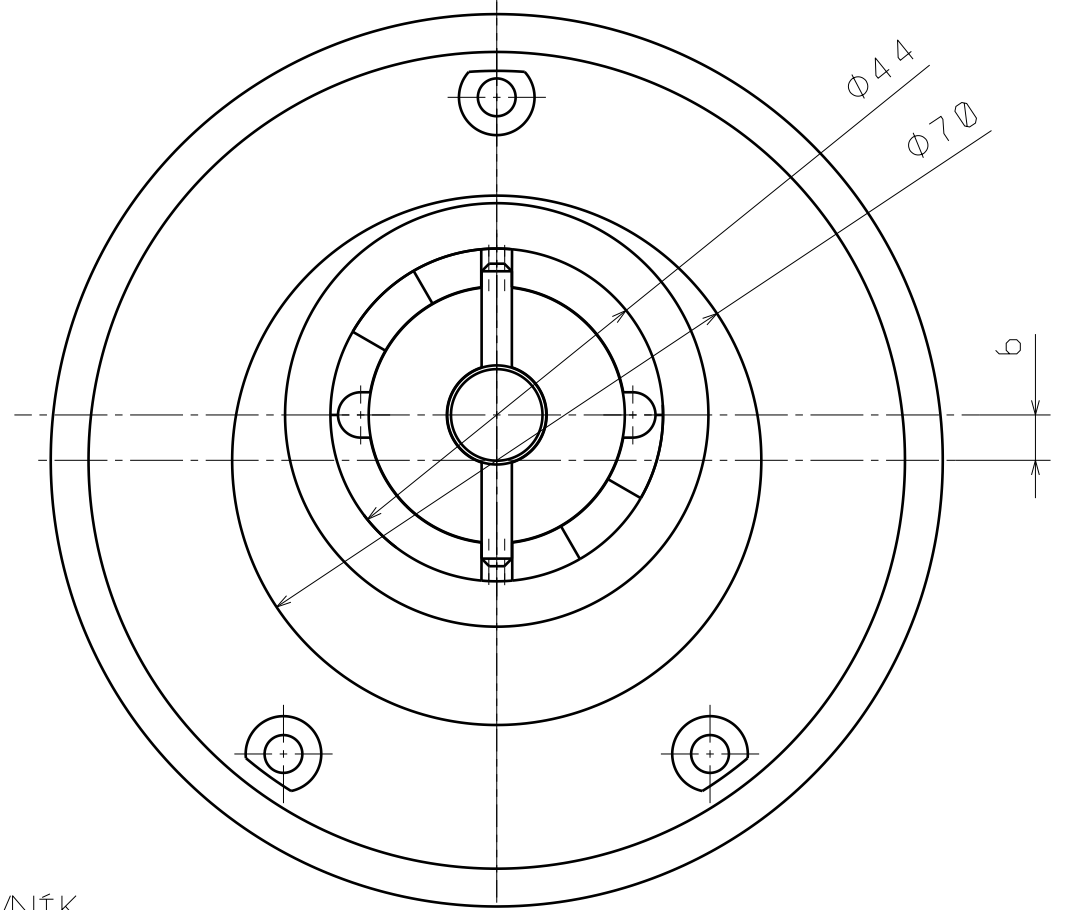
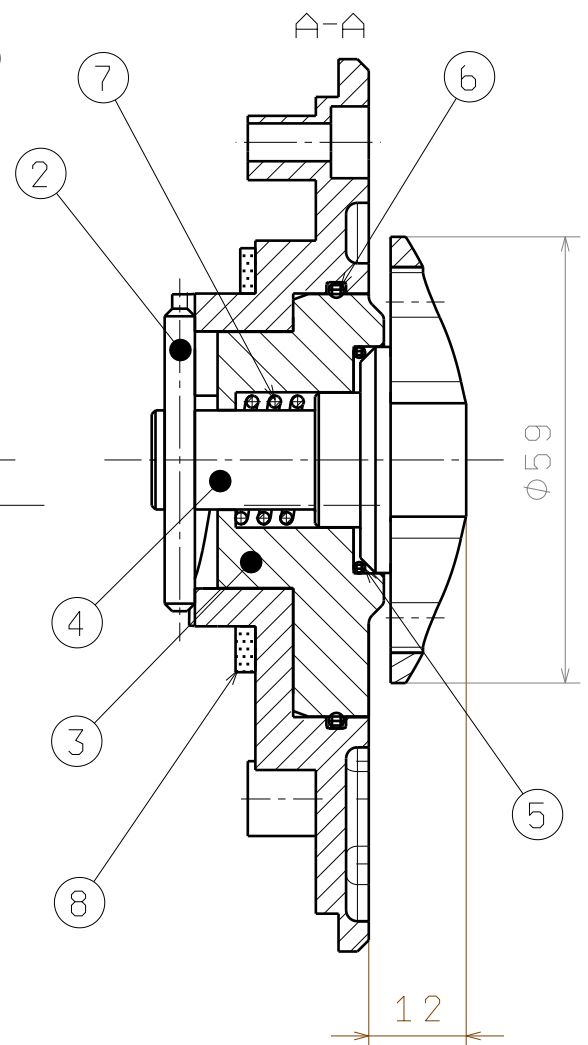
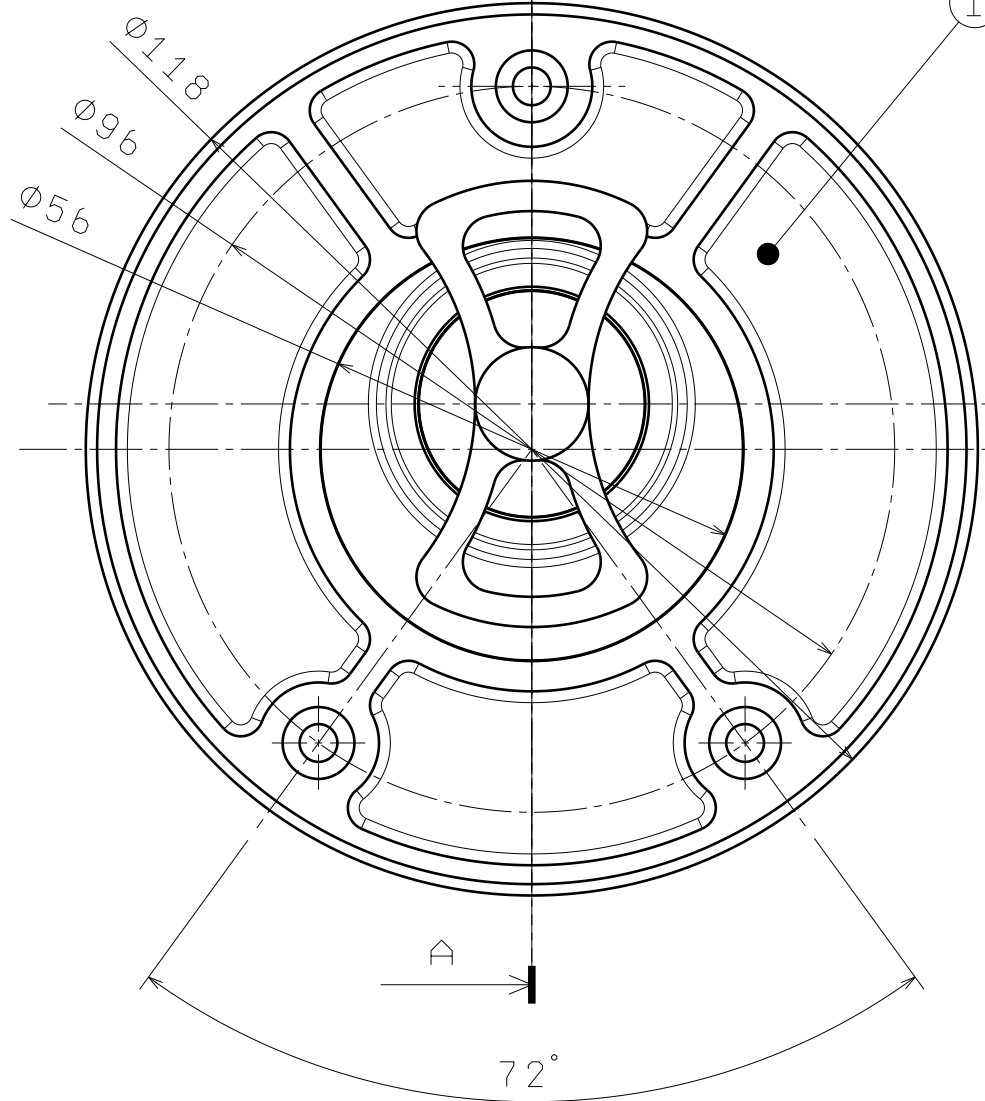
M 1:1

			a)		PŘESNOST ISO 2768	MATERIÁL EN AW-2007	
			b)		TOLEROVÁNÍ ISO 8015	POLOTOVAR $\phi 70 - 81,5$	
			c)			HMOTNOST [kg]	
				d)	TU v Liberci		
ZMĚNA		DATUM		INDEX			PODPISY
MĚŘÍTKO 2: 1	POZN.	NAVRHL	KRESLIL PETR HAVLÍK				NÁZEV VÍKO VYSOUVACÍ
		ZKOUSEL					
Č. SEZNAMU		TECHNOLOG					TYP VÝKRES SOUČASTI
Č. SESTAVY	01	NORMALIZ.			Č. VÝKRESU		
STARÝ VYKR.		SCHVÁLIL			3-KVS-VS-153-01-03		
NOVÝ VÝKR.		DATUM	23. 4. 2014				
						1/1	



Ra 3, 2

			a)		PŘESNOST ISO 2768	MATERIÁL EN AW-2007
			b)		TOLEROVÁNÍ ISO 8015	POLOTOVAR $\phi 63 \times 101$
			c)			HMOTNOST [kg]
			d)		 TU v Liberci	
ZMĚNA	DATUM		INDEX	PODPISY		
MĚŘÍTKO	POZN.	NAVRHL			NÁZEV	OTOČNÁ PÁČKA
2:1		KRESLIL	PETR HAVLÍK		TYP	
Č. SEZNAMU		ZKOUŠEL			Č. VÝKRESU	4-KVS-VS-153-01-04
Č. SESTAVY	01	TECHNOLOG				
STARÝ VÝKR.		NORMALIZ.				
NOVÝ VÝKR.		SCHVÁLIL				
		DATUM	23. 4. 2014			



KUSOVNÍK

ODK.	OZNAČENÍ VÝKRES	POLOTOVAR MATERIÁL	ČÍS. ZÁSOBNÍKU POZNÁMKA	MN.
1	ZÁKLADNA VÍKA 3-KVS-VS-153-01-01	Ø120,5 - 90,5 EN AW 2007		1
2	JISTIČÍ KOLÍK 4-KVS-VS-153-01-02	Ø4 - 40		1
3	VÍKO VYSOUVACÍ 3-KVS-VS-153-01-03	Ø70 - 81,5 EN AW 2007		1
4	OTOČNÁ PÁČKA 4-KVS-VS-153-01-04	Ø63 - 101 EN AW 2007		1
5	O-KROUŽEK 28x1,5			1
		FPM80	DIN 3770	
6	O-KROUŽEK 56x2			1
		FPM80	DIN 3770	
7	PRUŽINA TLAČNÁ ČSN EN 13906-1	ČSN EN 10270		1
8	TĚSNĚNÍ 56x44x2			1
		ČSN 62 001		

ZMĚNA		DATUM		INDEX	PODPISY	 TU v Liberci
MĚŘITKO 1: 1	POZN.	NAVRHL			NÁZEV PALIVOVÉ VÍKO NÁDRŽE	
		KRESLIL ZKOUSEL	PETR HAVLÍK			
Č. SEZNAMU		TECHNOLOG			TYP VÝKRES SESTAVENÍ Č. VÝKRESU 3-KVS-VS-153-01	
Č. SESTAVY	01	NORMALIZ.				
STARÝ VYKR.		SCHVÁLIL				
NOVÝ VÝKR.		DATUM	23. 4. 2014			
					1/1	
					LIST	