ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

FAKULTA STROJNÍ

Studijní program: B 2341 Strojírenství

Studijní zaměření: Programování NC strojů

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Technologická příprava výroby středního sedla kontrolního přípravku

Autor: **Jindřich Farský**

Vedoucí práce: **Ing. Jiří Vyšata, Ph.D.**

Akademický rok 2014/2015

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
Fakulta strojní
Akademický rok: 2014/2015

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení:	**Jindřich FARSKÝ**
Osobní číslo:	**S11B0278P**
Studijní program:	**B2341 Strojírenství**
Studijní obor:	**Programování NC strojů**
Název tématu:	**Technologická příprava výroby středního sedla kontrolního přípravku**
Zadávající katedra:	**Katedra technologie obrábění**

Zásady pro vypracování:

1. Úvod
2. Analýza součásti
3. Návrh výroby
4. Tvorba programu pro CNC stroje
5. Závěr

Rozsah grafických prací: **dle potřeby**

Rozsah pracovní zprávy: **30 - 40 stran**

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná**

Seznam odborné literatury:

- **JANDEČKA, K., ČESÁNEK, J., KOŽMÍN, P.: Programování NC strojů. Plzeň : ZČU, 2000.**
- **VRABEC, M., MÁDL, J.: NC programování v obrábění. Praha : ČVUT, 2004.**
- **STANĚK, J., NĚMEJC, J.: Metodika zpracování a úprava diplomových prací. Plzeň : ZČU, 2005.**

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Jiří Vyšata, Ph.D.**
Katedra technologie obrábění

Konzultant bakalářské práce: **Ing. Jiří Vyšata, Ph.D.**
Katedra technologie obrábění

Datum zadání bakalářské práce: **20. října 2014**

Termín odevzdání bakalářské práce: **26. června 2015**

L.S.

Doc. Ing. Milan Edl, Ph.D.
děkan

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

V Plzni dne 20. října 2014

Prohlášení o autorství

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

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

V Plzni dne: ……. . . . . . .

podpis autora

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval všem, kteří přispěli k vypracování bakalářské práce.

Především děkuji Ing. Jiřímu Vyšatovi, Ph.D., za poskytnuté cenné rady, konzultace a odborné vedení práce.

Dále pak panu Ing. Josefu Skleničkovi a Ing. Luboši Kroftovi za cenné rady ohledně praktické části práce.

ANOTAČNÍ LIST DIPLOMOVÉ (BAKALÁŘSKÉ) PRÁCE

AUTOR	**Příjmení** Farský	**Jméno** Jindřich	
STUDIJNÍ OBOR	„Programování NC strojů“		
VEDOUCÍ PRÁCE	**Příjmení (včetně titulů)** Ing. Vyšata, Ph.D.	**Jméno** Jiří	
PRACOVIŠTĚ	ZČU - FST - KTO		
DRUH PRÁCE	~~**DIPLOMOVÁ**~~	**BAKALÁŘSKÁ**	**Nehodící se škrtněte**
NÁZEV PRÁCE	Technologická příprava středního sedla kontrolního přípravku		

FAKULTA	strojní		**KATEDRA**	KTO		**ROK ODEVZD.**	2015

POČET STRAN (A4 a ekvivalentů A4)

CELKEM	58		**TEXTOVÁ ČÁST**	48		**GRAFICKÁ ČÁST**	10

STRUČNÝ POPIS (MAX 10 ŘÁDEK) **ZAMĚŘENÍ, TÉMA, CÍL POZNATKY A PŘÍNOSY**	Bakalářská práce se zabývá technologickou přípravou výroby středního sedla kontrolního přípravku. Její součástí je i vytvoření vhodného návrhu výroby, který je zaměřen na problematické upnutí součásti. Rovněž je zde uvedena tvorba NC dat v CAM systému Catia V5 pro výrobu této součásti.
KLÍČOVÁ SLOVA **ZPRAVIDLA JEDNOSLOVNÉ POJMY, KTERÉ VYSTIHUJÍ PODSTATU PRÁCE**	Střední sedlo, tvarově složitá součást, analýza, návrh, upnutí, CAD/CAM, Catia V5, NC data, kusová výroba

SUMMARY OF DIPLOMA (BACHELOR) SHEET

AUTHOR	**Surname** Farský	**Name** Jindřich
FIELD OF STUDY	23-35-8 "Transport and handling machinery"	
SUPERVISOR	**Surname (Inclusive of Degrees)** Ing. Vyšata, Ph.D.	**Name** Jiří
INSTITUTION	ZČU - FST - KTO	

TYPE OF WORK	~~**DIPLOMA**~~	**BACHELOR**	**Delete when not applicable**
TITLE OF THE WORK	Preparation of production technology for middle seat of inspection device		

FACULTY	Mechanical Engineering		**DEPARTMENT**	Machining Technology		**SUBMITTED IN**	2015

NUMBER OF PAGES (A4 and eq. A4)

TOTALLY	58		**TEXT PART**	48		**GRAPHICAL PART**	10

BRIEF DESCRIPTION **TOPIC, GOAL, RESULTS AND CONTRIBUTIONS**	This bachelor thesis deals with preparation of the technological for middle seat of inspection device. It includes a proposal to create an appropriate production, which is aimed at clamping problematic components . There is also shown the formation of NC data in the CAM system CATIA V5 for the production of this komponent.
KEY WORDS	Middle seat, dimensionally complicated part, analysis, proposal, clamping, CAD/CAM, Catia V5, NC data, unit production

Obsah

Seznam použitých zkratek a symbolů ... 3
1 Úvod ... 4
2 Analýza výchozí situace ... 5
2.1 Popis tvaru a rozměrů součásti ... 5
2.2 Informace související se zadanou součástí ... 5
2.3 Technologičnost konstrukce součásti ... 6
2.3.1 Z hlediska materiálu a polotovaru ... 6
2.3.2 Z hlediska tvaru, rozměrů a kvality ... 8
2.3.3 Z hlediska upnutí ... 9
2.4 Výrobní prostředky ... 9
2.4.1 Stroje ... 9
2.4.2 Nástroje ... 11
2.5 CAD/CAM systémy ... 12
3 Návrh výroby ... 14
3.1 Výběr výrobních prostředků ... 14
3.1.1 Výběr NC frézky ... 14
3.1.2 Výběr nástrojů ... 14
3.1.3 Výběr CAD/CAM systému ... 19
3.1.4 Ostatní výrobní prostředky ... 19
3.2 Návrh variant ... 20
3.2.1 Popis první varianty ... 20
3.2.2 Popis druhé varianty ... 21
3.2.3 Popis třetí varianty ... 22
3.2.4 Zhodnocení variant a výběr výrobní varianty ... 22
4 Tvorba programu pro NC stroj ... 24
4.1 První upnutí ... 25
4.2 Druhé upnutí ... 30
4.3 Třetí upnutí ... 32
4.4 Generování NC dat a výroba součásti ... 37
5 Závěr ... 39
Seznam použité literatury ... 40

Seznam použitých obrázků..... 41
Seznam použitých tabulek..... 42
Seznam příloh..... 42

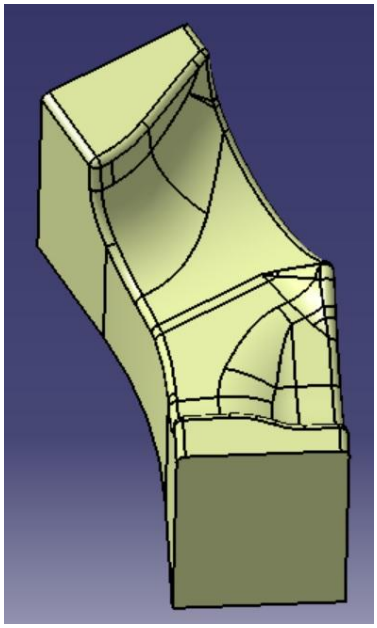
Seznam použitých zkratek a symbolů

NC	Numerical kontrol (číslicově řízený)	
CAD	Computer aided design (počítačem podporované projektování)	
CAM	Computer aided manufacturing (počítačem podporované obrábění)	
KTO	Katedra technologie obrábění	
POM-H	Polyacetal homopolymer	
CL data	Cutting Location (řezná poloha)	
VBD	Výměnné břitové destičky	
stp.	3D STEP CAD soubor	
M	Metrický závit	
v_c	Řezná rychlost	[*m/min*]
v_f	Velikost posuvu	[*mm/min*]
n	Otáčky vřetene	[min^{-1}]
f_z	Posuv na zub	[*mm/*]
f_n	Posuv na otáčku	[*mm/ot*]
a_p	Hloubka záběru třísky	[*mm*]
a_e	Boční přísuv	[*mm*]
⌀	Průměr	[*mm*]
mm	Milimetr	
°	Stupeň	

1 Úvod

Základním úkolem výrobce, respektive podnikatele, je tvořit zisk a být konkurenceschopný. Proto je potřeba, aby sladil své zájmy se zájmy zákazníků, které chce získat a udržet. Výrobce i zákazník přitom mají společný zájem na co nejmenších nákladech výrobku, to se na straně zákazníka projeví nižší cenou a u výrobce vyšším ziskem. Je však potřeba přihlédnout ke skutečnosti, že i snaha o nalezení optimálních parametrů výroby je sama o sobě prací odborníka s jistou náročností vyžadující kvalifikaci a projevující se tak do celkových nákladů. V případě kusové výroby mohou náklady na technickou přípravu výroby představovat značně vysoký podíl celkových nákladů, proto je potřeba tuto činnost pokud možno redukovat jen na nejnutnější práce.

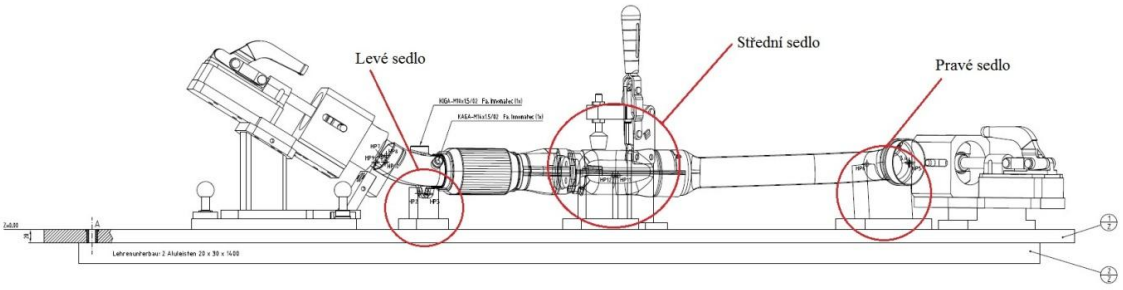
Mezi práce, které jsou v přípravě výroby nutné alespoň v omezeném rozsahu, rozhodně patří volba výrobních prostředků a parametrů či podmínek výroby. Tato činnost se nemusí u kusové výroby provádět podrobně a systematicky, postačí odhad požadavků na stroje a nástroje a letmé přihlédnutí k vytíženosti jednotlivých pracovišť. Pokud součásti, které jsou předmětem zakázky, obsahují navíc například tvarově složité plochy, je mimoto zapotřebí vytvořit program pro příslušný obráběcí stroj s NC řízením.



Obr. 1 Součást

Právě taková je situace v případě součásti „střední sedlo“ (*Obr. 1*), jejíž návrh výroby je předmětem této práce, včetně programů a jejich odladění. Součást „střední sedlo“ je tvarově složitá, protože některé z jejích ploch nejsou zadány základními okótovanými jednoduchými plochami, jako je rovina nebo rádius a podobně, nýbrž prostřednictvím SPLINE ploch. Obrábění takové součásti proto nutně vyžaduje zpracování programu pomocí CAM systému.

Sedlo se nachází ve střední části měřicího přípravku zobrazeného na obrázku (*Obr. 2*). Přípravek slouží pro měření základních rozměrů a těsnosti výfuku v automobilovém průmyslu. Výfuk je při kontrolní operaci umístěn na přípravku tak, že dosedá celkem na tři sedla. Při formulaci požadavku zákazník dodal vlastní polotovar z polyoxymetylenu a poskytl nejen model součásti, ale i výkres sestavy s výrobními výkresy jednotlivých dílů (*viz. vložená příloha*).



Obr. 2 Umístění sedel

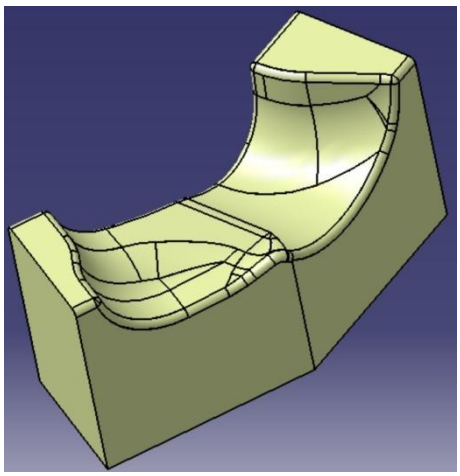
2 Analýza výchozí situace

2.1 Popis tvaru a rozměrů součásti

Střední sedlo (*Obr. 3*) má základní tvar obdélníkový, který je uprostřed odkloněn v úhlu 28°. Na vnitřní straně je tento přechod řešen zaoblením o poloměru 100 mm, na protější straně je řešen špičkou.

Spodní plocha, která slouží k připevnění středního sedla k měřícímu přípravku, je rovinnou plochou, která má v sobě čtyři neprůchozí otvory pro připevnění. Dva mají průměr ⌀ 6H7 o hloubce 9 mm a slouží k ustavení sedla, zbylé dva jsou se závitem M8 vyvrtány do hloubky 17 mm s délkou závitu 12 mm. Tyto otvory jsou od krajů vzdáleny 10 mm a nalézají se proti sobě na dvou úhlopříčkách.

Horní plocha je rozdělena na dvě rovinné plochy na koncích součásti a jedno tvarové vybrání, které tyto rovinné plochy spojuje. Rovinné plochy jsou ve stejné výšce 63 mm a kromě jedné strany jsou zaobleny na rádius 2 mm. Tvarové vybrání má tvar dvou válců o jiných průměrech, při rozdílných výškách os od spodní plochy, kdy tyto osy jsou vůči sobě mimoběžné. U hlubšího vybrání je plocha válcová přecházející do rovinné plochy. U druhé poloviny vybrání je plocha tvarová s výstupkem a vybráním, přecházející do rovinné plochy. Mezi dvěma válci je na vnější straně ostrůvek.



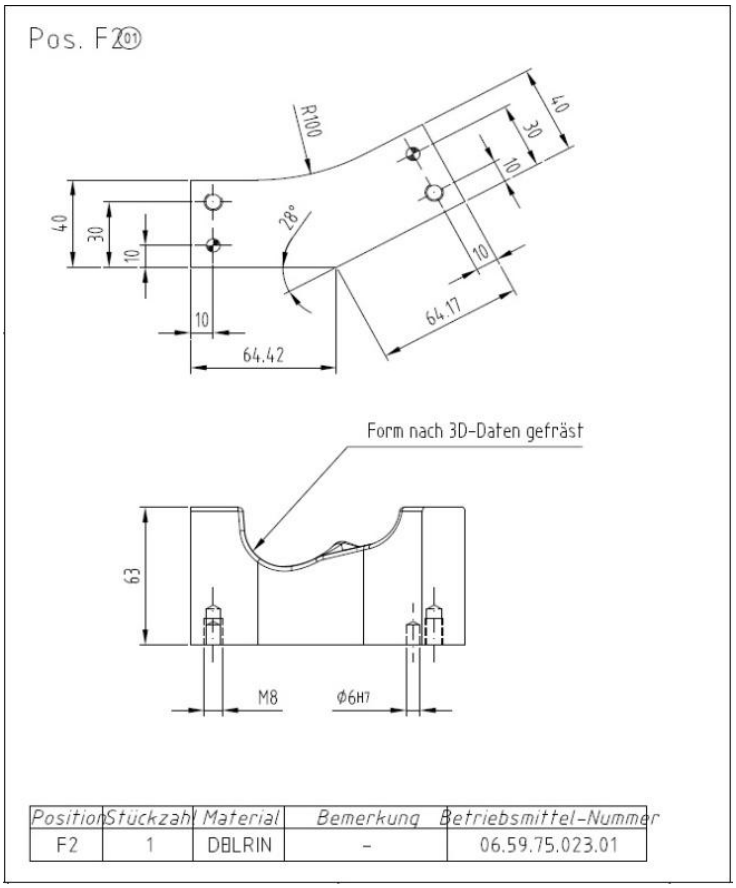
Obr. 3 Model součásti

2.2 Informace související se zadanou součástí

Pro vypracování zakázky dodal zákazník výkresovou dokumentaci ve formě výkresu sestavy, kde je zobrazeno umístění jednotlivých sedel a upnutí měřeného kusu. K sestavě dodal výkresy jednotlivých součásti, kdy pro tuto práci je důležitý výkres s označením „Pos. F2“, který je zobrazen na obrázku (*Obr. 4*). Na něm je zobrazen tvar součásti se základními rozměry a odkazem na tvarovou plochu, která je popsána ve formě 3D dat. Proto byl poskytnut i model součásti ve formátu stp, neboli „3D STEP CAD soubor“. Na modelu lze případně doměřit rozměry, které nejsou zakótovány na výkresu.

Na výkrese (*Obr. 4*) má zákazník tolerovaný pouze jeden rozměr, a to pro neprůchozí otvory o průměru ⌀ 6 mm v toleranci H7. Tomu je tedy při výrobě potřeba věnovat zvláštní pozornost.

Při převzetí zakázky byly poskytnuty doplňující požadavky zákazníka. Tyto požadavky musejí být dodrženy, i když nejsou uvedeny na výkrese. Jedním z požadavků je, aby byla dodržena hladkost na funkčních plochách. Tento požadavek je důležitý z důvodu zamezení poškození výfuku při kontaktu se sedlem. Dále pak bylo požadováno dodržení tvaru s maximální odchylkou ±0,05 mm. U bočních neboli pohledových stran byl vznesen pouze požadavek, aby byly vizuálně bez vad na povrchu, otřepů, a aby zajištěn plynulý přechod na zaoblení. Velmi důležitým požadavkem je termín zhotovení zakázky. Zákazník požadoval vyrobení sedel do tří týdnů od zadání zakázky.



Position	Stückzahl	Material	Bemerkung	Betriebsmittel-Nummer
F2	1	DELRIN	-	06.59.75.023.01

Obr. 4 Výkres součásti

Pro uskutečnění výroby byl od zákazníka dodán polotovar. Tvar dodaného polotvaru byl kvádr o rozměrech 72,8x72,2x137 mm, který je z „DELRINU“ neboli z plastu s názvem polyacetal homopolymer (POM-H). Tento údaj je čitelný i ve výkresové dokumentaci součásti (*Obr. 4*) z razítka v dolní části výkresu.

2.3 Technologičnost konstrukce součásti

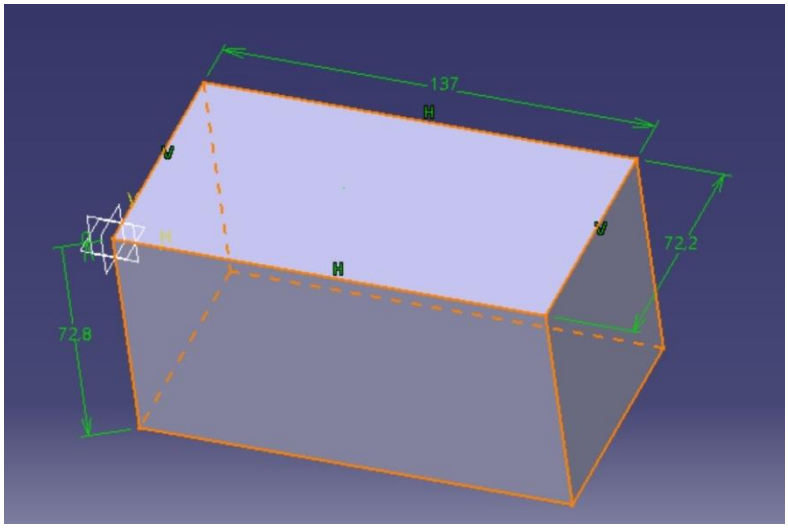
2.3.1 Z hlediska materiálu a polotovaru

Střední sedlo je součástí měřícího přípravku jako jedna z dosedacích ploch pro měřenou součást. Proto je potřeba dbát na kvalitu povrchu, aby nedošlo k poškození měřeného kusu při výrobě i při ukládání do přípravku. Je také nutno zabránit možným nežádoucím chemickým reakcím mezi materiálem měřené součásti a sedla při jejich vzájemném kontaktu. V takovém případě by mohlo dojít i k pozdějšímu projevení závady koroze materiálu. Je také potřeba zajistit co nejmenší hmotnost středního sedla kvůli snadné manipulaci s ním a především

s celým přípravkem. Z těchto požadavků plyne, že materiál dodaný ve formě polotovaru se jeví jako vhodně zvolený. U plastů je zaručeno, že nedojde k nežádoucím chemickým reakcím mezi měřeným dílem a sedlem. Také zaručuje dostatečnou pevnost potřebnou k zamezení deformace při provozních podmínkách. Velmi výhodnou vlastností u plastů je jejich nižší hmotnost ve srovnání s kovovými materiály

Součást se vyrábí z materiálu s označením „Delrin“, jedná se o jeden z obchodních názvů pro polyacetal homopolymer ve zkratce POM-H. Chemický vzorec toho plastu je $(CH2O)_n$. Jde o materiál, který lze zařadit do skupiny technických plastů. Charakteristickými vlastnostmi tohoto plastu, které nepochybně hrály zásadní roli při jeho volbě, jsou vysoká mechanická pevnost, tuhost i tvrdost. Vyznačuje se také svou odolností proti otěru, což je u dotykových ploch pro měřící přípravek vysoce žádoucí vlastností. Také má vynikající rozměrovou stabilitu, která je u měřících přípravků nezbytně nutná. Další výhodou je vysoká odolnost vůči chemickým látkám, ropným produktům i ředidlům. Velmi podstatnou vlastností materiálu pro výrobu je obrobitelnost. Plasty jsou obvykle nepříjemně houževnaté, to může vést při volbě špatných řezných podmínek k tzv. „zalepení zubové mezery“ a poškození nástroje, nebo k nevyhovující kvalitě povrchu. Podstatnou otázkou pak je, jak je to přímo s materiálem POM-H? Podle zjištěných vlastností, které uvádějí výrobci tohoto materiálu, se jedná o plast s vysokou rázovou houževnatostí, ale i s vynikající třískovou obrobitelností. Tyto vlastnosti určují, že při výrobě bude potřeba použít vyšší otáčky a že je možno odebírat větší tloušťku materiálu než u běžných ocelí.

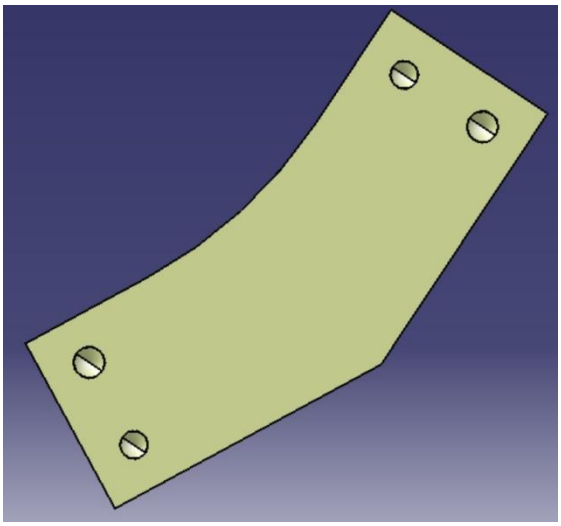
Jak již bylo zmíněno, polotovar byl dodán od zákazníka ve formě kvádru o rozměrech 72,8x72,2x137 mm. Jeho počáteční stav nebyl znám a proto nelze určit, jaká byla jeho výchozí forma. Podle nabídek prodejců polotovaru se mohlo jednat o polotovar, který se dodává ve formě tabulí, hranolů, válců nebo dutých tyčí. Z důvodů výroby jednoho kusu a dodání polotovaru od zákazníka není potřeba se tím více zabývat. Podle rozměrů polotovaru a výroby jednoho kusu lze uvažovat, že se jednalo o zbytkový materiál, který byl předpřipraven na potřebné rozměry s dostatečně velkým přídavkem na obránění i technologickým přídavkem na dostatečně tuhé prvotní upnutí. Zároveň byl polotovar volen tak, aby bylo zajištěno co nejmenší procento odpadového materiálu ve formě třísek. Volba tvaru polotovaru ve formě kvádru je pro první upnutí vhodná proto, že zaručuje dostatečnou rovnoběžnost dvou protilehlých stěn, která je zapotřebí pro možnost upnutí do svěráku. Z tohoto důvodu není potřeba polotovar dále opracovávat.



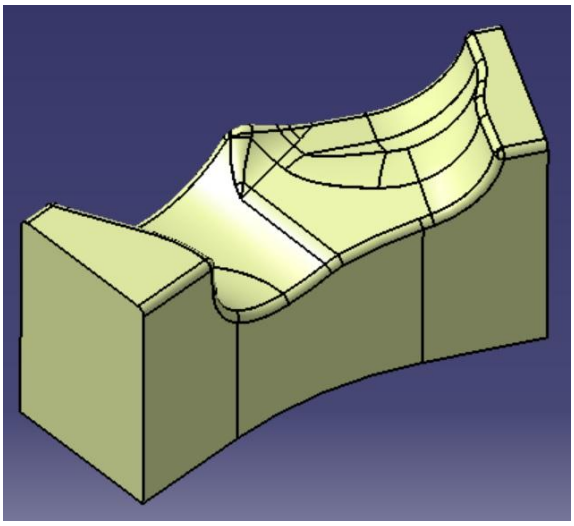
Obr. 5 Polotovar

2.3.2 Z hlediska tvaru, rozměrů a kvality

Základní tvar středního sedla je nerotační. Má tvar písmene „V“ s velmi tupým úhlem rozevření. Základní neboli obvodový tvar lze vyrobit na konveční frézce za pomocí otočného stolu nebo na číslicové řízené frézce. Tento tvar je vyobrazen na obrázku (*Obr. 7*) a skládá se z devíti rovinných ploch a jedné rádiusové, která spojuje dvojici rovinných ploch. Na horní straně středního sedla je tvarové vybrání, jehož plocha je natolik obecná a složitá, že ji nelze vyrobit na konvečních strojích. Proto a také z důvodu dodržení tolerancí a přesností je potřeba tvarové vybrání obrobit na číslicově řízené frézce. Na spodní straně středního sedla, které je zobrazeno na obrázku (*Obr. 6*), je rovinná plocha se čtyřmi neprůchozími otvory, kdy dva jsou v přesnosti H7 a ve dvou je metrický závit M8. Výrobu těchto otvorů lze provést na číslicově řízené frézce nebo na konveční či číslicově řízené vrtačce.



Obr. 6 Střední sedlo - spodní část



Obr. 7 Střední sedlo - obecný pohled

Tvar součásti spolurozhoduje o technologičnosti z hlediska upínání. Právě popisovaná součást je jedním z případů, kdy tvar značně negativně ovlivní možnosti spolehlivého upnutí. Jak již bylo zmíněno, základní tvar součásti je charakterizován tvarem písmene „V“ se značně tupým úhlem rozevření. Pro upínání ve svěráku je tak problematické nalézt dvě protilehlé rovnoběžné a rovinné plochy, za něž by bylo možno součást upnout po celé délce a zamezit tak možnému výskytu nežádoucích jevů, jako je např. chvění. Podrobněji bude tento problém zmíněn a řešen v následujících kapitolách *2.3.3* a *3.2* .

Polotovar je menších rozměrů, jelikož jeho největší rozměr je 137 mm a další rozměry jsou 72,2x72,8 mm. To může usnadnit upínání, protože se součást snáze vejde do prostoru čelistí, a také manipulaci spojenou s výrobou nebo upnutím jak polotovaru tak i hotovým středním sedlem. Rozměry také určují velikost pracovního prostoru, kdy u těchto rozměrů nejsou kladeny speciální požadavky na výběr stroje.

Na výkrese (*Obr. 4*) je požadován jeden tolerovaný rozměr pro dvojici otvorů o průměru ⌀ 6 mm s tolerancí H7. Aby byly vyrobeny tyto dva otvory v požadované toleranci, bude potřeba použít k výrobě výstružník. Jelikož se jedná o průměr do 10 mm, není potřeba tyto otvory před vystružováním vyhrubovat výhrubníkem. Na výkrese jsou uvedeny dva otvory s metrickým závitem M8. Aby byl vyroben závit M8 v otvoru, bude potřeba použít k výrobě vrták o průměru ⌀ 6,8 mm, jelikož pro správné vyrobení závitu M8 je potřeba mít vyrobený otvor v doporučeném průměru ⌀ 6,8 mm. Pro ostatní plochy nejsou uvedeny

žádné tolerance a drsnosti, pouze u tvarové plochy musí být dodržena po smluvní domluvě se zákazníkem hladkost a hladké propojení jednotlivých ploch. Tyto plochy lze vyrobit na běžném číslicově řízeném stroji, aby byly dodrženy veškeré požadavky, z důvodu vyhovující přesnosti opakovaného najetí v řádech setin milimetru. Není tedy nutno používat žádné speciální dokončovací technologie (například broušení nebo honování).

2.3.3 Z hlediska upnutí

S náročností upnutí souvisí především tvar součásti, ale také jeho rozměry. V souvislosti se základním tvarem součásti, který připomíná písmeno „V“ se značně tupým úhlem rozevření, je upnutí problematické. Proto je zapotřebí věnovat zvláštní pozornost upnutí součásti. Jelikož rozměry součásti nejsou příliš malé nebo naopak příliš velké oproti běžným součástem, není potřeba věnovat zvláštní pozornost rozměrům součásti při upínání. Upnutí by mohlo být realizováno více variantními způsoby. Bude vhodné si je postupně představit, zvážit je a vybrat z nich ten nejvhodnější z hlediska tuhosti, ekonomičnosti a počtů kusů.

Jak již bylo zmíněno v předchozí kapitole, jedná se o nerotační součást. Proto lze vyloučit upnutí do sklíčidla. Z hlediska tvaru polotovaru, který má rovnoběžné protilehlé plochy, lze uvažovat o upnutí do strojního svěráku nebo pomocí upínek či jiného systému upnutí, který využívá rovnoběžnost protilehlých ploch. Při upnutí základního tvaru, který je charakterizován písmenem „V“, je potřeba vycházet z vlastností jednotlivých ploch, které tvoří toto těleso. Na horní straně je dvojice rovinných ploch, za něž je možno toto těleso upnout. Na místě je však otázka, jestli rozměry těchto ploch jsou dostatečně velké pro dodržení tuhosti upnutí při výrobě a zdali nebude toto upnutí vadit při výrobě. Pro upnutí součásti lze také využít rovnoběžných ploch, které jsou na vnější a vnitřní straně součásti charakterizované písmenem „V“. Upnutí bude patrně realizováno pomocí strojního svěráku a upínek, nebo za pomocí přípravku. Jednotlivé varianty upnutí součásti a jejich zhodnocení bude podrobněji popsáno v kapitole (*3.2*), která se zabývá návrhem variant upnutí.

2.4 Výrobní prostředky

2.4.1 Stroje

Tvar součásti je nerotační obsahující plochu definovanou pomocí „SPLINE“ ploch. Z analýzy technologičnosti vyplynula nutnost jeho výroby na frézce s NC řízením. Ostatní plochy na takovém stroji lze bez problémů také vyrobit. Z těchto důvodů tedy bude pro výrobu součásti použita NC frézka. Pracoviště, jímž je halová laboratoř ZČU, disponuje dvěma provozuschopnými stroji s NC řízením, které jsou vhodné pro výrobu součásti. Jedním je tříosé vertikální obráběcí centrum MCV 750A od společnosti KOVOSVIT MAS, druhým je moderní pětiosé obráběcí centrum DMU 65 monoBLOCK od společnosti DMG/MORI SEIKI.

KOVOSVIT MAS MCV 750 A

Jak bylo již zmíněno, jeden ze strojů je tříosé vertikální obráběcí centrum MCV 750A (*Obr.* 8) umístěné v halové laboratoři KTO. Jeho technické parametry jsou uvedeny v tabulce (*Tabulka 1*). Velmi důležitým parametrem jsou maximální otáčky, které jsou bez předehřátí vřetena omezeny na 8 000 ot/min. S předehřátím vřetena, které trvá přibližně hodinu, lze dosáhnout až 13 000 ot/min. Dále pak velikost posuvů a také velikost pracovní plochy. Výhodou u tohoto stroje je možnost zakrytovat prostor okolo a pod pracovním prostorem

(tzv. „vanu“) tak, aby se zabránilo přístupu třísky do těchto prostorů a aby bylo snazší odstranit plastové třísky pouze z takto lokálně omezeného prostoru. Tím se může ušetřit čas celkového čištění prostoru pro třísky, které je nutné vždy odstranit, když se přechází na materiál s jinou třídou odpadu. Stroj je již řadu let v provozu, proto lze očekávat jeho nižší tuhost. Dosavadní zkušenosti ukazují, že snížení tuhosti při obrábění plastu nemá pozorovatelný vliv.

Obr. 8 MCV 750 A

Druh	Vertikální obráběcí centrum
Výrobce	KOVOSVIT MAS
Typ	MCV 750 A
Počet os	3
Velikost pracovního prostoru (X,Y,Z)	750x500x500 mm
Max. zatížení stolu	450 kg
Max. zatížení nástroje	6 kg
Počet nástrojů v zásobníku	20
Jmenovitý výkon	11,5 kW
Rozsah otáček vřetena	20 – 13 000 ot/min
Pracovní posuv (X,Y,Z)	1 – 15 000 mm/min
Rychloposuv (X,Y,Z)	45 000 mm/min
Řídící systém	Heidenhain iTNC 426

Tabulka 1 Technické parametry MCV 750 A [1]

DMG/MORI SEIKI DMU 65 monoBLOCK

Dalším strojem, který je možno použít pro výrobu středního sedla, je pětiosé obráběcí centrum DMU 65 monoBLOCK (*Obr. 9*) umístěné ve Vědeckotechnickém parku. Technické parametry jsou uvedeny v tabulce (*Tabulka 2*). Důležitým parametrem jsou jako u předchozího stroje maximální otáčky. DMU 65 monoBLOCK dosáhne 10 000 ot/min. Tyto otáčky jsou sice nižší než teoreticky dosažitelné otáčky u předchozího stroje, ale lze jich dosáhnout bez předehřátí vřetena. Dále pak velikosti posuvů, které jsou v případě pracovního

posuvu vyšší a lze dosáhnout až 40 m/min. Nevýhodou tohoto stroje je, že nelze zakrytovat tzv. „vanu“ jako u předchozího stroje. Další nevýhodou je, že tento stroj je velmi vytížen zakázkami a i hodinová sazba provozu stroje je vyšší. Výhodou je, že tento stroj je nový, takže je zaručena tuhost stroje a i jeho technické parametry.

Obr. 9 DMU 65 monoBLOCK [2]

Druh	Obráběcí centrum
Výrobce	DMG/ MORI SEIKI
Typ	DMU 65 monoBLOCK
Počet os	5
Velikost pracovního prostoru (X,Y,Z)	650x650x560 mm
Max. zatížení stolu	1000 kg
Jmenovitý výkon	13 kW
Otáčky vřetena	10 000 ot/min
Točivý moment	83 Nm
Pracovní posuv (X,Y,Z)	40 000 mm/min
Rychloposuv (X,Y,Z)	40 000 mm/min
Řídící systém	Heidenhain iTNC 530

Tabulka 2 Technické parametry DMU 65monoBLOCK [3]

2.4.2 Nástroje

Při volbě nástrojů je potřeba vycházet z tvaru součásti a ze strategií, které pro jeho výrobu frézováním přicházejí v úvahu. Tvar součásti určuje, jaké typy nástrojů je nutno použít, aby

bylo obrábění co nejefektivnější. Dále záleží na tom, jaké nástroje jsou k dispozici v halové laboratoři KTO. Podle tvaru středního sedla a požadovaných tolerancí byl vybrán užší výběr nástrojů. V následující tabulce (*Tabulka 3*) jsou geometrické parametry možných fréz, které lze použít pro výrobu. Jedná se o frézy čelní válcové a frézy kulové, oba typy nástrojů jsou v provedení monolitním i s výměnnými břitovými destičkami.

Frézy			
Typ frézy	**Typ frézy**	**Průměr [mm]**	**Počet zubů**
Čelní válcová	VBD	50	5;6;7
		20	3
		16	3
		14	3
	Monolitní	20	4
		16	4
		14	3;4
		12	4
		10	3;4
		8	4
Kulová	VBD	16	1
		12	1
	Monolitní	16	2
Kuželová	Monolitní	12	4

Tabulka 3 Seznam fréz

V další tabulce (*Tabulka 4*) jsou geometrické parametry všech ostatních nástrojů, které je možno použít pro jiné než frézovací operace. Jedná se o šroubovité vrtáky, kuželovou frézu na srážení hran, strojní závitníky a výstružníky. Všechny tyto nástroje je možno při výrobě smysluplně použít a použití některých z nich je pro dosažení požadovaných vlastností obrobku nutností.

Ostatní nástroje			
Nástroj	**Typ nástroje**	**Průměr [mm]**	**Dopňující informace**
Vrták	Šroubovitý	6,8	Dvoubřitý, monolitní
		5,8	
	Výstružník	6	6H7
Závitník	Strojní	M8	M8x1,25; M8x1

Tabulka 4 Ostatní nástroje

2.5 CAD/CAM systémy

Aby součást mohla být vyrobena, je potřeba nejdříve vytvořit NC data v tzv. „CAM systému“. V úvahu připadají dva systémy, v nichž je možno vytvořit NC data pro výrobu středního sedla. Jedním z nich je SolidCAM 2013, který je modulem v CAD systému SolidWorks 2013, jako další připadá v úvahu systém CATIA V5R20. Hlavním důvodem pro výběr z těchto dvou systémů je skutečnost, že jsou k dispozici v laboratořích KTO, a také dosavadní, alespoň částečná zkušenost práce s nimi.

CATIA V5R20

„CATIA je integrovaný systém počítačového návrhu konstruování a výroby vyvinutý francouzskou společností Dassault Systèmes. Zkratka CATIA znamená Computer-Aided Three-Dimensional Interactive Application (v překladu počítačem podporovaná trojrozměrná interaktivní aplikace). Jedná se o systém, který je schopen pokrýt vše od návrhu součásti přes konstrukci a různé analýzy až po vytvoření NC dat pro výrobu součásti. Systém CATIA V5 disponuje širokým spektrem různých modulů, které umožňují tento systém využít ve zcela rozdílných oblastech strojírenství, jako je například letecký průmysl, automobilový průmysl, strojírenský průmysl, energetika, atd.

U tohoto systému nás nejvíce zajímá aplikace NC obrábění, kdy tento modul umožňuje pokrýt činnosti spojené s výrobou na NC strojích. Obsahuje konkrétně:

- prizmatické frézování
- tříosé frézování
- pětiosé frézování
- soustružení
- programování multiprofesních obráběcích center“ [4, 5]

SolidCAM 2013

„SolidCAM je plně integrovaný CAM systém v prostředí CAD systému SolidWorks. Funkce pro definici obráběcích operací jsou integrovány v komfortním a ergonomicky propracovaném grafickém prostředí SolidWorks. Veškeré úkony spojené s ovládáním 3D modelu dílu nebo sestavy jsou řešeny nástroji a funkcemi SolidWorks. Nástroje SolidWorks umožňují práci s geometrií, modelování dílu, složení sestavy a generování výkresů.

SolidCAM poskytuje jako zásuvný modul funkce pro definování obráběcích operací, simulaci a kontrolu obrábění a generování CNC programu. S využitím výkonných funkcí SolidCAM v uživatelsky snadno ovladatelném prostředí SolidWorks je programování CNC strojů velmi snadné a efektivní.

SolidCAM je určen především pro oblast CNC výroby se zaměřením na třískové obrábění. Mezi obráběné materiály patří nejčastěji kovy, ale také umělé hmoty, dřevo a jiné alternativní materiály. Klíčovou vlastností programu SolidCAM je vysoká míra přizpůsobitelnosti uživatelským požadavkům. Kromě typických úloh v oblasti třískového obrábění může SolidCAM najít efektivní uplatnění v dalších souvisejících výrobních metodách, kde je použito CNC řízení strojů.

Charakteristika CAD/CAM systému, která je spojena s programováním NC dat:

- plná integrace 3D CAD SolidWorks a SolidCAM
- komplexní 3D CAD nástroje, hybridní modelování, sestavy, výkresy
- modulární uspořádání CAM funkcí
- CAM programování od 2,5 do 5osého obrábění
- frézovací a soustružnické funkce“ [6]

3 Návrh výroby

Při návrhu výroby je potřeba vycházet z dosud nashromážděných informací předchozích kapitol. Na základě provedené analýzy výchozího stavu součásti, technologičnosti její konstrukce, a na základě analýzy disponibilních výrobních prostředků lze uskutečnit návrh výroby této součásti v několika variantách. Než budou představeny možné varianty návrhů výroby, je proveden výběr výrobních prostředků a CAD/CAM systému na základě rozboru provedeného v kapitolách 2.4 a 2.5 . Návrhy výroby součásti pak již mohou využít tento výběr prostředků.

3.1 Výběr výrobních prostředků

Jak již bylo uvedeno, nejdříve je proveden výběr výrobních prostředků. Na základě výběru a nashromážděných informací z předchozích kapitol je možno návrh výrobních variant konkretizovat již na vybrané výrobní prostředky, jako je stroj, jednotlivé nástroje a ostatní výrobní prostředky. Nejprve je vhodné vybrat vhodnou číslicově řízenou frézku, protože z volby stroje vychází některé další výrobní prostředky, které se na tomto stroji používají nebo jsou jeho součástí. Na základě výběru stroje je uskutečněn výběr dalších výrobních prostředků, jako jsou nástroje použité pro výrobu a ostatní výrobní prostředky. Také je zde proveden výběr CAD/CAM systému pro naprogramování NC.

3.1.1 Výběr NC frézky

Hlavním kritériem pro výběr z výše uvedených strojů je materiál středního sedla. Protože u pětiosého obráběcího centra DMU 65 monoBLOCK nelze zakrýt vanu pro odtok chladicí emulze, docházelo by k jejímu znečištění plastovými třískami. Bylo by nutno po vyrobení středního sedla vyměnit veškerou chladící emulzi a vyčistit filtry vzduchotechniky. Proto bylo pro výrobu zvoleno tříosé vertikální obráběcí centrum MCV 750 A. U tohoto stroje je možno zakrytovat prostor okolo stolu a pod stolem (tzv. „vanu“) pro odtok chladicí emulze, aby se plastové třísky nemíchaly s třískami kovovými a aby nebylo nutno před výrobou z plastu a po ní důkladně vyčistit stroj kvůli třídění odpadu. Mimoto se na tomto stroji již v minulosti plasty obráběly.

3.1.2 Výběr nástrojů

Z navrhovaných nástrojů je po konzultaci s odborníkem vybrán konečný seznam nástrojů, které jsou použity pro výrobu součásti. Nástroje jsou vybrány s důrazem na to, aby byla zaručena co nejvyšší možná efektivita výroby, a také z toho důvodu, že s těmito nástroji se již v minulosti obráběly plasty. Proto jsou i odborníkem doporučeny řezné podmínky pro tyto nástroje, kdy je bráno v potaz, že výroba bude bez předehřátí vřetena. Proto jsou maximální otáčky pro dokončovací operace na kulových frézách 7 950 ot/min. V první tabulce (*Tabulka 5)* je seznam použitých fréz. Jedná se o čelní válcové frézy a frézy kulové, které jsou s VBD, a jedna monolitní, také je zde uvedena kuželová fréza na srážení otvorů. V následující tabulce (*Tabulka 6*) je seznam požitých ostatních nástrojů, které jsou potřebné pro výrobu součásti, aby byly dodrženy veškeré požadavky od zákazníka. Jedná se o vrtáky pro neprůchozí otvory, výstružník a strojní závitník.

Frézy			
Typ frézy	**Typ frézy**	**Průměr [mm]**	**Počet zubů**
Čelní válcová	VBD	50	5
		20	3
Kulová	VBD	16	1
	Monolitní	16	2
Kuželová	Monolitní	12	4

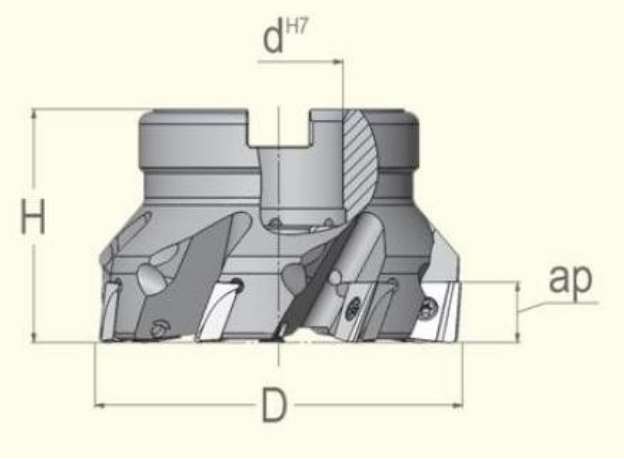
Tabulka 5 Frézy pro výrobu

Ostatní nástroje			
Nástroj	**Typ nástroje**	**Průměr [mm]**	**Doplňující informace**
Vrták	Šroubovitý	6,8	Dvoubřitý, monolitní
		5,8	
	Výstružník	6	6H7
Závitník	Strojní	8	M8x1,25

Tabulka 6 Ostatní nástroje pro výrobu

Čelní válcová fréza D50

Pro hrubovací operace a obrobení základního tvaru součásti načisto je navržena čelní válcová fréza s pěti výměnnými břitovými destičkami o průměru ⌀ 50 mm (*Obr. 10*). Na obrázku jsou patrny další rozměry označené symboly. Výška *H* použitého nástroje je 40 mm, vnitřní průměr označený d^{H7} je 22 mm a výška destičky *ap*[1] 10 mm. Volba tohoto nástroje je z důvodů rádiusu na obvodu součásti, který má rozměr 100 milimetrů, a maximálního odebraného množství materiálu na jednu třísku. Tělo frézy je od společnosti Avantec typu Megavant HC90 s označením 04M.0540.150. Použité VBD jsou také od společnosti Avantec s označením MO.1003.021.10 SKY77. V tabulce (*Tabulka 7*) jsou uvedeny řezné podmínky pro tuto frézu. Aby se zamezilo kolizi vřeteníku se součástí, je potřeba tento nástroj vyložit na celkovou délku 100 mm od špičky zubu po vřeteno stroje.



Obr. 10 Čelní válcová fréza D50 [7]

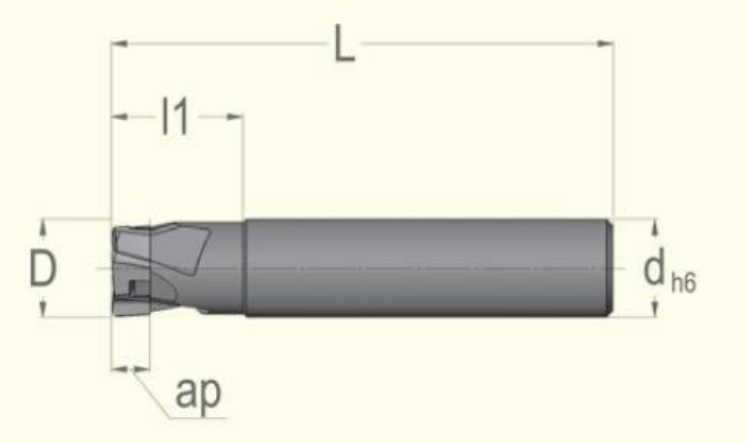
[1] V tabulce (*Tabulka 7*)je uvedeno shodné označení *ap* pro maximální hloubky třísky s označením na obrázku (*Obr. 10*) pro výškou destičky, jedná se pouze o shodné označení

vc [m/min]	500	n [ot/min]	3183	ap [mm]	3
fz [mm]	0,2	fn [mm/ot]	1,2	ae [mm]	25

Tabulka 7 Řezné podmínky frézy D50

Čelní válcová fréza D20

Pro hrubovací operace ve tvarovém vybrání je použitá fréza se třemi výměnnými břitovými destičkami o průměru ⌀ 20 mm (*Obr. 11*). Další rozměry tohoto nástroje jsou celková délka *L* 108 mm, funkční délka *l1* 65 mm, průměr d_{h6} 20 mm a výška destičky ap[2] 10 mm. Funkční délka nástroje, je naprosto dostatečná vzhledem ke skutečnosti, že největší hloubka vybrání, pro jehož hrubování je nástroj vybrán, je 29 mm. Vhodnost použití tohoto nástroje spočívá v tom, že jeho průměr umožňuje vyhrubování tvarového vybrání s velkým množstvím odebraného materiálu na jednu třísku tak, aby nezůstávalo velké množství zbytkového materiálu, které by muselo být dohrubováno menší frézou. Označení na těle frézy není čitelné, takže je uváděno jako Fr D20 L10 Safety. Použité VBD je od společnosti Safety s označením RT 100320 RC-31 5020. V tabulce (*Tabulka 8*) jsou uvedeny řezné podmínky pro tuto frézu.



Obr. 11 Čelní válcová fréza D20

vc [m/min]	300	n [ot/min]	4811	ap [mm]	1
fz [mm]	0,15	fn [mm/ot]	0,45	ae [mm]	6

Tabulka 8 Řezné podmínky frézy D20

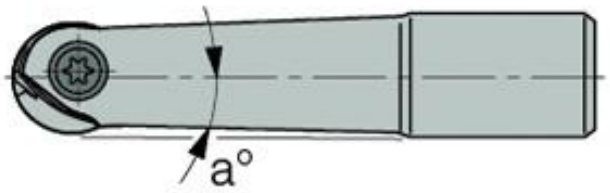
Kulová fréza D16 s kuželovým tělem

Pro výrobu zaoblení a dokončovací operace byla vybrána kulová fréza s výměnnými břitovými destičkami o průměru ⌀ 16 mm s kuželovým tělem (*Obr. 12*). Je sice pravdou, že kulová fréza má nulovou řeznou rychlost v ose nástroje (na její „špičce“[3]), ale bez použití této frézy by nebylo možno vyrobit v požadované toleranci tvarově složité plochy, které jsou definovány SPLINE plochami. Z důvodu odhalené kolize boku nástroje v tvarovém vybrání při simulaci programu nebylo možno tuto frézu použít pro dokončovací operace v tvarovém vybrání. Byla použita na výrobu zaoblení při upnutí, kde nebylo obráběno tvarové vybrání,

[2] V tabulce (*Tabulka 8*) je uvedené shodné označení *ap* pro maximální hloubky třísky s označením na obrázku (*Obr. 11*) pro výškou destičky, jedná se pouze o shodné označení

[3] Slovem „špička“ se tu nemyslí místo styku hlavního a vedlejšího břitu. Slovo je tu použito v obecnějším významu.

jelikož je standardně osazena v zásobníku nástrojů. Označení těla nástroje je HCM D16-B-l60-C25 a VBD s označením CR D160-QF, oboje od společnosti ISCAR. V tabulce (*Tabulka 9)* jsou uvedeny řezné podmínky použité pro výrobu.



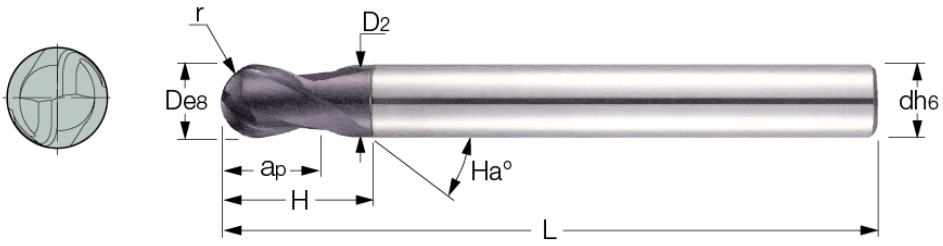
Obr. 12 Kulová fréza D16 VBD [8]

vc [m/min]	399,611	n [ot/min]	7950	ap [mm]	0,1
fz [mm]	0,3	fn [mm/ot]	0,3	ae [mm]	0,2

Tabulka 9 Řezné podmínky kulové frézy D16 VBD

Kulová fréza D16 s válcovým tělem

Pro dokončovací operace v tvarovém vybrání a výrobu zaoblení je použita monolitní kulová fréza o průměru ⌀ 16 mm s válcovým tělem (*Obr. 13*). Jak již bylo uvedeno, kulová fréza má nevýhodu v nulové řezné rychlosti v ose nástroje, ale bez jejího použití by nebylo možné na tříosém stroji vyrobit tento tvar. U předchozí kulové frézy, která má kuželové tělo, docházelo v simulaci ke kolizi nástroje s bokem v tvarovém vybrání. Z tohoto důvodu je použita fréza s válcovým tělem. Tato fréza od společnosti ISCAR má označení 16-EB-A2 16-16/32C16H140 IC 903. V tabulce (*Tabulka 10*) jsou uvedeny řezné podmínky použité pro výrobu.



Obr. 13 Kulová fréza D16 monolitní [9]

vc [m/min]	399,611	n [ot/min]	7950	max. ap [mm]	1
fz [mm]	0,2	fn [mm/ot]	0,4	ae [mm]	0,2

Tabulka 10 Řezné podmínky kulové frézy D16 monolitní [4]

Šroubovitý vrták D 6,8

Pro výrobu dvojice otvorů, které jsou umístěny na spodní části středního sedla na úhlopříčce, je použit vrták o průměru ⌀ 6,8 mm. Vrták z rychlořezné oceli od společnosti Nachreiner

[4] V tabulce (*Tabulka 10*) je uvedeno shodné označení *ap* pro maximální hloubky třísky s označením na obrázku (*Obr. 13*) pro výškou řezné části, jedná se pouze o shodné označení

má označení E.3617.1.0680. V tabulce (*Tabulka 11*) jsou uvedeny řezné podmínky pro výrobu otvorů. Jak již bylo uvedeno v technologičnosti konstrukce, důvodem pro použití tohoto vrtáku je doporučená hodnota průměru otvoru pro výrobu závitu M8.

vc [m/min]	90	n [ot/min]	4939
fz [mm]	0,05	fn [mm/ot]	0,1

Tabulka 11 Řezné podmínky šroubovitého vrtáku D6,8

Šroubovitý vrták D 5,8

Pro výrobu dvojice otvorů, které jsou umístěny na spodní části středního sedla na úhlopříčce, je použit šroubovitý vrták o průměru ⌀ 5,8 mm. Vrták z rychlořezné oceli od společnosti Nachreiner má označení E.3617.1.0680. V tabulce (*Tabulka 12*) jsou uvedeny řezné podmínky pro výrobu otvorů. Jak již bylo uvedeno v technologičnosti konstrukce, důvodem pro použití tohoto vrtáku je doporučená hodnota pro vystružení díry na rozměr 6H7.

vc [m/min]	90	n [ot/min]	4213
fz [mm]	0,05	fn [mm/ot]	0,1

Tabulka 12 Řezné podmínky šroubovitého vrtáku D5,8

Kuželová fréza

Po vyrobení otvorů je použita kuželová fréza na sražení vstupního okraje otvorů o sražení 1,5x45°. Toto sražení je potřebné pro lepší navedení závitníku a výstružníku do předvrtaných otvorů. Kuželová fréza na srážení hran má označení D2 d12 ap5 L83 Z4 C. Jedná se o monolitní čtyřzubý nástroj pro výrobu sražení otvorů. V tabulce (*Tabulka 13*) jsou uvedeny řezné podmínky srážeče hran.

vc [m/min]	90	n [ot/min]	2387
fz [mm]	0,05	fn [mm/ot]	0,25

Tabulka 13 Řezné podmínky srážeče hran

Výstružník 6H7

Do předem vyrobené dvojice otvorů o průměru ⌀ 5,8 mm, která má sražení 1,5x45°, je použit vystružovací nástroj 6H7 pro vyrobení otvoru v požadované toleranci. Výstružník od společnosti Stimzet má označení podle normy ČSN 221430 HSS. V tabulce (*Tabulka 14*) jsou uvedeny řezné podmínky výstružníku 6H7.

vc [m/min]	9,425	n [ot/min]	500
fz [mm]	0,017	fn [mm/ot]	0,102

Tabulka 14 Řezné podmínky výstružníku 6H7

Strojní závitník M8x1,5

Do vyrobené dvojice otvorů o průměru ⌀ 6,8 mm, které jsou sraženy o 1,5x45°, je vyroben závit pomocí strojního závitníku M8x1,5. Závitník od společnosti NAREX Ždánice nese označení M8 6H HSSE 1500. V tabulce (*Tabulka 15*) jsou uvedeny řezné podmínky pro strojní závitník M8x1,5.

vc [m/min]	3,124	n [ot/min]	125
fn [mm/ot]	1,25		

Tabulka 15 Řezné podmínky strojního závitníku M8x1,5

3.1.3 Výběr CAD/CAM systému

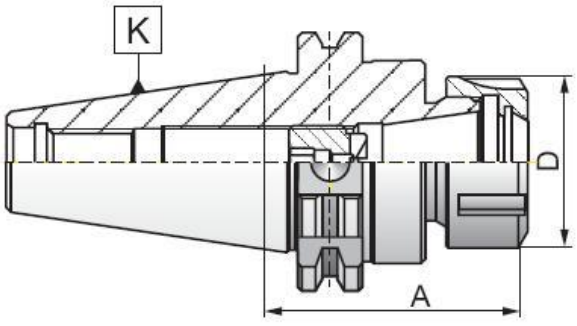
Pro naprogramování NC dat na výrobu součásti je potřeba vybrat vhodný CAD/CAM systém. To již bylo uvedeno v předchozí kapitole, kde byly představeny dva systémy, z nichž je vybrán jeden. Hlavním kritériem pro výběr systému je zkušenost s jeho ovládáním a znalosti jednotlivých funkcí. Z těchto důvodů vybírám CAD/CAM systém CATIA V5R20, u něhož jsou mé znalosti vyšší než u druhého systému.

3.1.4 Ostatní výrobní prostředky

Je třeba také zmínit ostatní výrobní prostředky, které jsou použity pro výrobu součásti. Tyto prostředky vycházejí z volby vhodného stroje, jímž je tříosé vertikální obráběcí centrum MCV 750 A. To proto, že výrobní prostředky jsou buď určeny přímo pro tento stroj, nebo se na tomto stroji běžně užívají.

Upínač

Nástroje jsou upnuty pomocí kleštin do kleštinového upínače (*Obr. 14*). Ten má dle normy kužel ISO 40, který zajišťuje středění upínače při upnutí do stroje. Jedním z možných kleštinových upínačů, které lze použít, vychází z normy DIN 69871 AD/B s označením SK 40-2/16-60.



Obr. 14 Kleštinový upínač [10]

Svěrák

Pro upnutí středního sedla je použit vysokotlaký mechanický svěrák (*Obr. 15*) od společnosti FRESMAK s označením ARNOLD mat 125. Číslice 125 znamená šířku čelisti v milimetrech. Materiálem hlavních dílů je perlitická litina GGG70. Čelisti i vedení svěráku jsou zakaleny na 60HRC a ze všech stran jsou tyto části obroušeny. Na obrázku lze vidět přímé čelisti svěráku, které byly pro výrobu středního sedla nahrazeny takzvanými čelistmi se zoubkem. Jedná se o přímé čelisti, ve kterých je na horní vnitřní straně vyroben zoubek do hloubky 5 mm. [11]

Obr. 15 Svěrák ARNODL mat 125 [12]

Chladící emulze

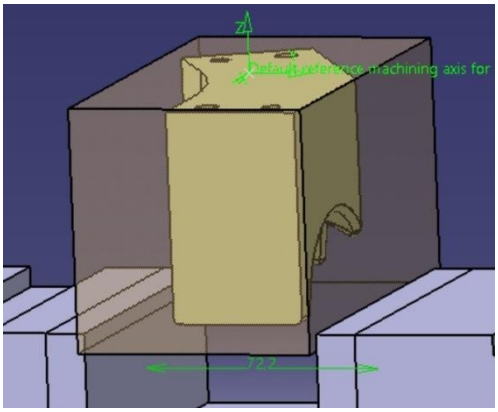
Pro chlazení nástrojů a lepší odvod třísek je použita chladící emulze BLASOCUT 35 kombi ředitelná vodou v doporučené koncentraci 5 až 8 %. Chladící emulze byla použita při vrtacích operacích, vystružování a závitování.

3.2 Návrh variant

Hlavním rozhodujícím kritériem pro návrh výroby je tvar součásti. V tomto případě budou popsány návrhy tří variant se zaměřením na řešení největšího problému, jímž je upnutí součásti. K těmto variantám se dospělo úvahami, které se řídily důrazem na přístupnost obráběných ploch a použitelnost upínacích prostředků. V popisech je slovo operace míněno nikoli ve smyslu souhrnu činností na jednom pracovišti, ale v souladu se zvyklostí spojenou s programováním pomocí CAM systémů jako činnost pro vytvoření určité plochy určitým nástrojem za použití určité strategie.

3.2.1 Popis první varianty

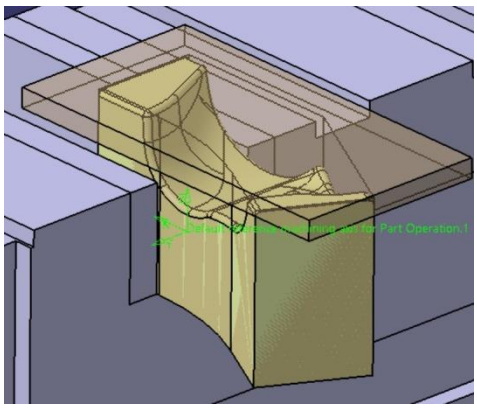
U této varianty je součást vyráběna na tři upnutí pomocí strojního svěráku a upínky. Při prvním upnutí je upnut polotovar za rovnoběžné



Obr. 16 První upnutí

plochy, které mají délkový rozměr 137 mm, do hloubky 5 mm po celé délce čelistí, takže na obou bocích polotovar vyčnívá z prostoru svěráku. Upnutí je realizováno do strojního svěráku s čelistmi se zoubkem a je zobrazeno na obrázku (*Obr. 16*), kde nejsou vymodelovány čelisti se zoubkem, ale součást je upnuta do hloubky 5 mm. První operací u tohoto upnutí je zarovnání horní strany do roviny. Následující operací je obrobení základního tvaru součásti, který je charakterizován písmenem „V“ s tupým úhlem rozevření a vnitřním rádiusem o poloměru sto milimetrů. Pro tyto dvě operace je použita čelní válcová fréza o průměru ⌀ 50 mm s minimálním přidaným vyložením na délku o 60 mm. Další operací při tomto upnutí je

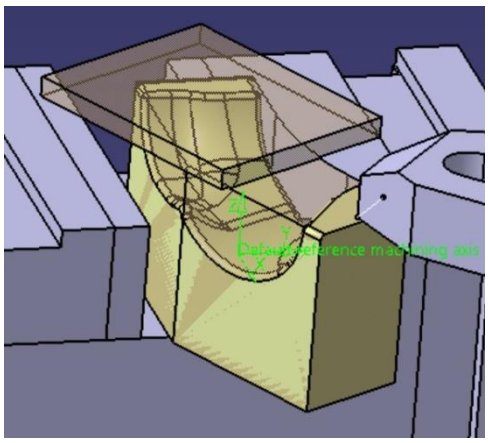
vyrobení čtyř otvorů o průměrech ⌀ 6,8 mm a ⌀ 5,8 mm. Následně je na těchto otvorech vyrobeno sražení 1,5x45°. Poslední dvojí operací při tomto upnutí je výroba závitu M8 do otvorů o průměru ⌀ 6,8 mm a vystružení otvorů o průměru ⌀ 5,8 mm na tolerovaný rozměr 6H7.



Obr. 17 Druhé upnutí

Při druhém upnutí se součást otočí a upne za dvojici rovnoběžných stěn, takže je upnuta pouze 1/3 součásti. Radius, který je na obvodové straně, nedovoluje součást upnout více jak za 1/3, protože by mohlo dojít k poškození rádiusu od čelistí svěráku. Toto upnutí je zobrazeno na obrázku (*Obr. 17*) pro lepší představu realizace tohoto upnutí. Při tomto upnutí je vyrobena rozměrově větší rovinná plocha a boční zaoblení této plochy, která sousedí s tvarovým vybráním. Pro zarovnání rovinné plochy na rozměr 63 mm je použita čelní válcová fréza o průměru ⌀ 50 mm. Rovinná plocha, která je nad svěrákem, není zarovnána po celé své délce, ale pouze do délky 50 mm od kraje polotovaru. Druhou operací při tomto upnutí je obrobení dvou bočních rádiusů, které jsou umístěny na bočních krajích obrobené plochy. Na tuto operaci je použita kulová fréza D16.

Poslední upnutí vychází z předchozího upnutí, takže součást je upnuta ve svěráku za dvojici rovnoběžných ploch, které umožňují upnutí pouze do 1/3 délky součásti. Plocha, která byla v předchozím upnutí vyrobena, je mimo svěrák a pomocí upínky upnuta ke stolu. Pro lepší představu, jak se upnutí realizuje, je zobrazeno na obrázku (*Obr. 18*). Součást mimo svěráku je podepřena ocelovým hranolem, aby bylo možno provést upnutí pomocí upínky. Při tomto upnutí je pomocí čelní válcové frézy o průměru ⌀ 50 mm zarovnána horní plocha na rozměr 63 mm a základní předvyhrubování tvarového vybrání. Další operace je hrubovací, použije se u ní čelní válcová fréza o průměru ⌀ 20 mm, kdy je vyhrubován základní tvar tvarového vybrání s přídavkem na obrábění načisto. Jako dokončovací nástroj je použita kulová fréza o průměru ⌀ 16 mm. S touto frézou je doobrobeno tvarové vybrání na požadované rozměry. Poslední operací je výroba bočních zaoblení, která nebyla vyrobena při dokončování tvarového vybrání.



Obr. 18 Třetí upnutí

3.2.2 Popis druhé varianty

V tomto návrhu je součást obrobena na dvě upnutí, první pomocí strojního svěráku a druhé pomocí přípravku. Je potřeba ale udělat návrh přípravku a vyrobit ho. Má tvar desky o tloušťce 10 mm, délce 140 mm a šířce 100 mm. Na přípravku jsou vyrobeny dva průchozí otvory o průměru ⌀ 10 mm, které jsou umístěny tak, aby byla zajištěna souosost s otvory na součásti, v nichž je závit M8. Samozřejmě jsou tyto otvory umístěny tak, aby součást byla uprostřed přípravku. Otvory slouží pro šrouby, jimiž se součást upne na přípravek, který se následně bude upínat do strojního svěráku.

Při prvním upnutí se upne polotovar do strojního svěráku tak, aby byla horní hrana polotovaru ve vzdálenosti minimálně 30 mm nad čelistmi svěráku. Při tomto upnutí bude zarovnána horní strana polotovaru pomocí čelní válcové frézy o průměru ⌀ 50 mm. Tímto nástrojem je také vyroben základní obvodový tvar do hloubky 20 mm od horní rovinné plochy. Je důležité, aby i zde byla fréza vyložena o alespoň 60 mm v délce a při výrobě základního obvodového tvaru nedošlo ke kolizi se součástí. Další operací je výroba čtyř otvorů, kdy dva z nich mají průměr ⌀ 6,8 mm a další dva ⌀ 5,8 mm. Následnou operací je sražení otvorů na rozměr 1,5x45°, aby bylo zajištěno bezproblémové najetí následujících nástrojů. Do otvorů, které mají průměr ⌀ 6,8 mm, je vyroben metrický závit M8. Otvory s průměrem ⌀ 5,8 mm jsou pomocí výstružníku obrobeny na požadovaný tolerovaný průměr 6H7.

Druhé upnutí je pomocí přípravku, na který je upnuta součást za pomocí dvou šroubů M8x20. Tento přípravek je následně upnut do strojního svěráku tak, aby jeho horní plocha byla v jedné rovině s horní plochou čelistí strojního svěráku. Přípravek je podepřen ocelovým hranolem, aby se zamezilo možnému posunutí přípravku při obrábění. První operací je zarovnání horní strany součásti na výšku 63 mm. Další operací je doobrobení základního obvodového tvaru součásti a prvotní vyhrubování tvarového vybrání. Pro tyto operace je použita čelní válcová fréza o průměru ⌀ 50 mm s vyložením 60 mm v délce nástroje. Následně je pomocí čelní válcové frézy o průměru ⌀ 20 mm vyhrubováno tvarové vybrání s přídavkem na obrábění načisto. Jako poslední nástroj je použita kulová fréza o průměru ⌀ 16 mm, kterou je odebrán zbytkový materiál v tvarovém vybrání na požadované rozměry. Poslední operací je výroba zaoblení, které je okolo tvarového vybrání a na bočních stranách rovinných ploch.

3.2.3 Popis třetí varianty

U této varianty je vyrobena součást na dvě upnutí za pomocí strojního svěráku. Při prvním upnutí je polotovar upnut do přímých čelistí se zoubkem a je obroben základní obvodový tvar součásti a zarovnány horní strany součásti. Následuje vyrobení čtyř otvorů o dvou průměrech. Operace prováděné při tomto upnutí jsou totožné s první variantou, proto je není potřeba znovu detailně popisovat. Druhé upnutí je za pomocí strojního svěráku s tvarovými čelistmi.

Při druhém upnutí využíváme základní obvodový tvar součásti, který je charakterizován písmenem „V“. Je to proto, že součást bude upnuta do tvarových čelistí, které jsou vyrobeny s negativem obvodového tvaru součásti. Při tomto upnutí je čelní válcovou frézou o průměru ⌀ 50 mm zarovnána horní strana součásti na výšku 63 mm. Následně je touto frézou částečně předhrubováno tvarové vybrání přibližně do 1/3 hloubky. Tímto nástrojem nelze zajet do celé hloubky z důvodu možnosti podříznutí některé ze stěn tvarového vybrání. Další operací je druhotné hrubování tvarového vybrání pomocí čelní válcové frézy o průměru ⌀ 20 mm. Jako poslední nástroj je zde použita kulová fréza o průměru ⌀ 16 mm na obrobení tvarového vybrání na požadované rozměry. Stejným nástrojem je provedena poslední operace, a to výroba zaoblení, které je po obvodu tvarového vybrání a na bočních stranách.

3.2.4 Zhodnocení variant a výběr výrobní varianty

Výběr vhodné výrobní varianty je proveden metodou párového srovnávání. V této metodě není zahrnut počet vyráběných kusů, jelikož se jedná o kusovou výrobu. Také zde není zahrnut počet strojů, protože je výroba prováděna na jednom stroji. V následující tabulce (*Tabulka 16)* jsou uvedena jednotlivá kritéria výrobních variant. Jejich vzájemný význam pro výběr nejlepší varianty se bude určovat metodou párového srovnávání, která určí váhu každého kritéria. V tabulce je uvedeno procentuální hodnocení, které vyjadřuje míru naplnění

onoho kritéria či spíše míru jeho nenáročnosti. Procentuální hodnocení je totiž navrženo tak, aby nejvýhodnější kritérium výrobních variant obdrželo sto procent a ostatním kritériím bylo dopočteno pomocí nepřímé úměrnosti jejich procentuální hodnocení. Takže když například kritérium časové náročnosti na upnutí je u první varianty 33,3 %, znamená to, že představuje dvojnásobný čas než u varianty druhé s 66,6 % a trojnásobný čas vůči variantě třetí, která má toto kritérium ohodnoceno 100 %.

Číslo varianty	Počet upnutí	Počet přípravků	Náročnost výroby přípravku	Časová náročnost na upnutí	Kvalifikace obsluhy
1	3 75 %	0 100 %	Žádná 100 %	Vyšší 33,3 %	Vyšší 50 %
2	2 100 %	1 50 %	Střední 66,6 %	Střední 66,6 %	Nižší 100 %
3	2 100 %	1 50 %	Vyšší 33,3 %	Nižší 100 %	Nižší 100 %

Tabulka 16 Kritéria výrobních variant

Údaje z tabulky kritérií výrobních variant (*Tabulka 16*) lze využít v metodě párového srovnávání uvedeného v tabulce (*Tabulka 17*) pro nalezení nejvýhodnější varianty. Párové srovnávání je provedeno tak, že se jednotlivá kritéria mezi sebou porovnají (vždy po dvou) a je vybráno vždy to, které se jeví jako nejdůležitější[5]. Vzájemné posuzování významu jednotlivých kritérií je zobrazeno v tabulce v levé části jako trojúhelník, kdy jednotlivým kritériím se přiřadí jejich váha podle počtu voleb[6], které vycházejí z tohoto trojúhelníku. Například „počet přípravků“ má nejvyšší hodnotu v počtu voleb, proto má nejvyšší váhu 3. Váženou hodnotu jednotlivých kritérií dostaneme tak, že váhy dílčích kritérií vynásobíme prostou hodnotou, která je stanovena v předchozí tabulce. Vážené hodnoty jsou zde pak sečteny a porovnány s výslednou ideální variantou, která by v sobě kombinovala všechny výhody, takže celkový součet váhy 8 by se vynásobil 100 %. Ta má tedy hodnotu 800. Nejvýhodnější variantou je po provedení této metody ta, která se součtem nejvíce blíží ideální variantě. V tomto případě se jedná o první variantu, která má hodnotu 658,3, což je 82,3 % hodnoty ideální varianty.

PÁROVÉ SROVNÁVÁNÍ VÝZNAMU KRITÉRIÍ	p.č.	počet voleb	pořadí významu	váha	Varianta 1		Varianta 2		Varianta 3	
Dílčí kritérium užitnosit					prostá hodnota	vážená hodnota	prostá hodnota	vážená hodnota	prostá hodnota	vážená hodnota
Počet upnutí	1	1	3	1	75	75	100	100	100	100
Počet přípravků	2	5	1	3	100	300	50	150	50	150
Náročnost výroby přípravku	3	2	2	2	100	200	66,6	133,2	33,3	66,6
Časová náročnost upnutí	4	1	3	1	33,3	33,3	66,6	66,6	100	100
Kvalifikace obsluhy	5	1	3	1	50	50	100	100	100	100
Užitnost celkem			800		658,3		549,8		516,6	
Užitnost v relativním vyjádření			100%		82,3%		68,7%		64,6%	

Tabulka 17 Párové srovnávání kriterií

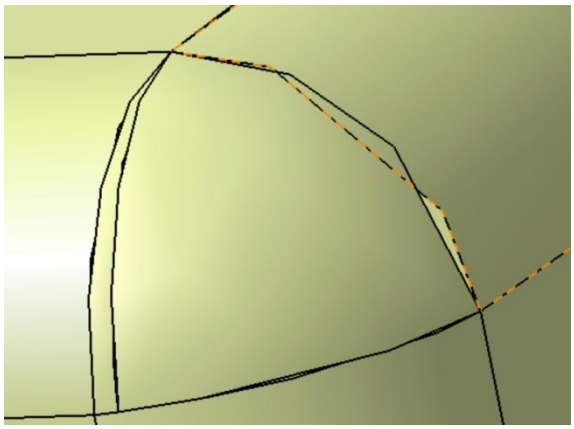
[5] Metoda nutně zahrnuje subjektivní přístup.
[6] Počet voleb je součtem výskytu daného kritéria v trojúhelníku v tabulce (*Tabulka 17*).

4 Tvorba programu pro NC stroj

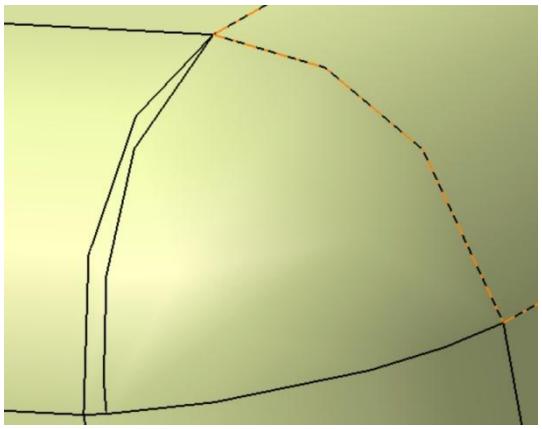
Program pro výrobu středního sedla na NC stroji MCV 750A je vytvořen v CAM systému CATIA V5R20. Pro vyhotovení NC dat je použito několik operací zvolených pro jednotlivá upnutí tak, aby součást byla následně vyrobena se všemi požadavky od zákazníka. Z NC dat, která jsou vytvořena v CAM systému, se pomocí vhodného postprocesoru vygenerují NC kódy pro výrobu středního sedla na tříosé frézce MCV 750A.

Převedení součásti do CATIA V5R20 a tvorba polotovaru

Jak již bylo uvedeno v analýze výchozího stavu, model součásti byl dodán od zákazníka ve formátu *.stp, který bylo potřeba nejdříve importovat do CAD/CAM systému CATIA. Po otevření souboru *.stp v systému CATIA bylo potřeba součást zkontrolovat, jestli její import proběhl v pořádku, i když systém neohlásil žádnou chybu. Je nutno především zkontrolovat, jestli návaznost jednotlivých ploch, ze kterých je součást vytvořena, je v pořádku a není potřeba udělat opravy součásti. Při kontrole bylo zjištěno, že návaznost ploch není úplně dokonalá a při přiblížení je vidět nedokonalost propojení sousedních ploch u zaoblení, které je vidět na obrázku v jeho levé části (*Obr. 19*). Tento problém mohl nastat při importování modelu součásti, jelikož součást byla po importování tvořena z jednotlivých ploch. Bylo potřeba tento problém odstranit pomocí spojení těchto ploch do jediné plochy. Pro vytvoření jediné plochy bylo tedy nutno použít funkci „join“[7], kde bylo zapotřebí vybrat všechny plochy, které mají být spojeny. Po spojení byly jednotlivé plochy nahrazeny jednou plochou tak, že jednotlivé plochy jsou skryté a je zobrazena pouze výsledná celistvá plocha. Jak je vidět na obrázku v pravé části (*Obr. 20*), návaznost ploch na zaoblení je v pořádku.



Obr. 19 Špatná návaznost ploch

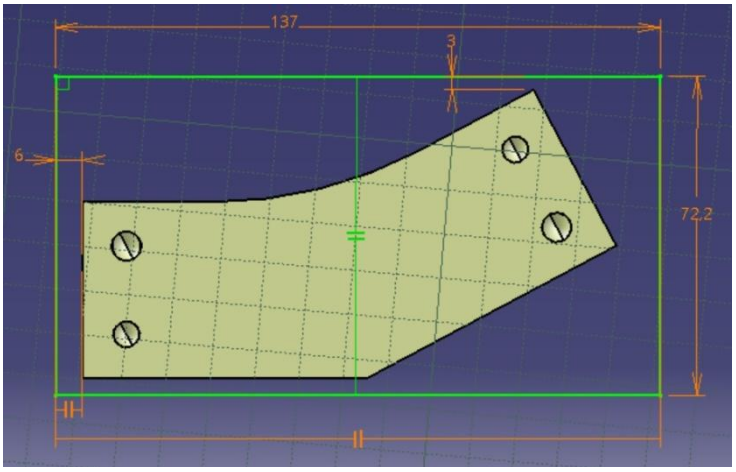


Obr. 20 Opravená návaznost ploch

Po kontrole bylo potřeba vymodelovat polotovar podle rozměrů dodaného fyzického polotovaru a umístit součást do vnitřku polotovaru. Při tvorbě polotovaru bylo potřeba definovat nové těleso přes záložku „insert“ a funkci „body“. Poté byl ve funkci „Sketch“[8] načrtnut kvádr o rozměrech 137x72,2 mm, který byl následně pomocí funkce „Pad“[9] vytažen do výšky v jednom směru o 71 mm a v druhém o 1,8 mm. Takto vytvořený polotovar byl již spojen se součástí, jelikož ve funkci „Sketch“ byl základní obdélník natočen a nadefinován

[7] Join je funkce pro spojení pro nahrazení více ploch jednou, která je z těchto ploch vytvořena.
[8] Sketch je funkce pro 2D náčrt součásti ve zvolené rovině.
[9] Pad je funkce pro vytažení součásti, která byla načrtnuta ve funkci Sketch.

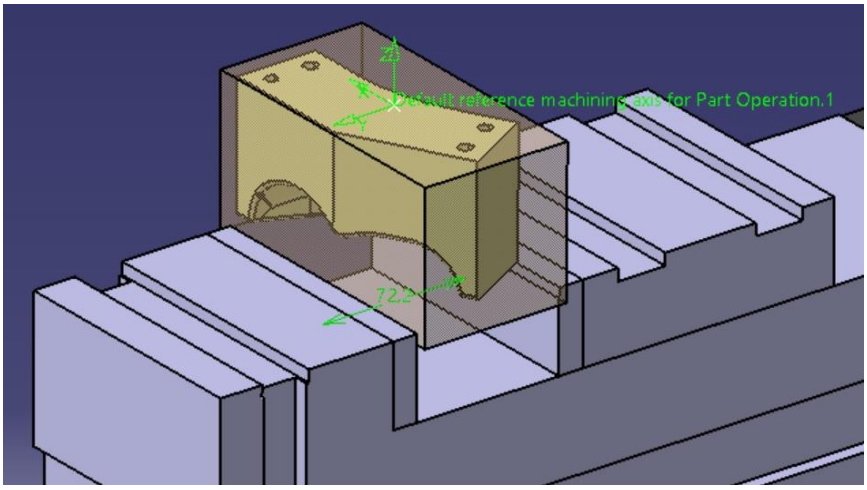
pomocí kót k součásti, jak je vidět na obrázku (*Obr. 21*). Nakonec byla pro lepší přehlednost změněna průhlednost a barva polotovaru.



Obr. 21 Spojení polotovaru se součástí

4.1 První upnutí

Před samotným programováním je potřeba umístit do jedné sestavy polotovar se součástí a upínačem. Tímto upínačem byl strojní svěrák, jehož virtuální model je volně k dispozici v laboratořích KTO a zároveň je totožný se skutečným strojním svěrákem ARNOLD mat 125. Takto vytvořená sestava je vhodná pro kontrolu kolizí, které by mohly nastat. Polotovar se součástí a strojní svěrák bylo potřeba zavazbit[10] pomocí funkcí „Offset“[11] a „Surface contact“[12]. Takto zavazbená sestava je zobrazena na obrázku (*Obr. 22*) a její jednotlivé části mají jiné barvy pro lepší orientaci. Na obrázku je také vidět, že polotovar je upnut za technologický přídavek tak, že horní plocha čelistí je o 3 mm níž, než je umístěno střední sedlo v polotovaru. To proto, aby mohl být obvodový tvar vyroben po celé své výšce.



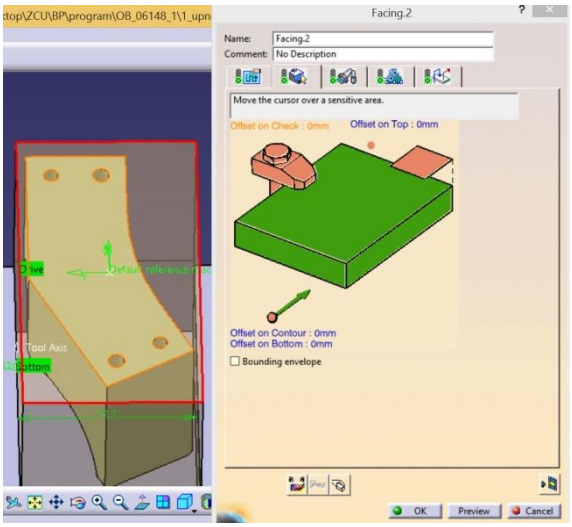
Obr. 22 Upnutí 1

[10] Vazbou je myšleno spojení dvou a více těles v jeden funkční celek neboli sestavu.
[11] Offset je funkce pro vazbu dvou těles mezi sebou, která jsou od sebe vzdálena definovanou vzdáleností.
[12] Surface contact je funkce pro vazbu, která se používá pro vytvoření povrchového kontaktu dvou protilehlých stěn.

V modulu CAM bylo potřeba nejdříve nadefinovat základní informace, jako je typ stroje, definice nulového bodu a jednotlivých těles (součást, polotovar, upínače). Pro typ stroje je vybrán „3-axis Machine“, dále pak bylo nutno definovat nulový bod pro obránění, který je umístěn na průsečíku úhlopříček horní strany polotovaru, kdy osa x je kolmá na délku svěráku a osa z je ve směru vřetena. Nakonec je potřeba definovat, co je obrobek, co je polotovar a také co je upínač, aby systém rozpoznal při tvorbě programu jednotlivé modely. Pro takto definovanou sestavu bylo možno vytvořit NC data pro výrobu.

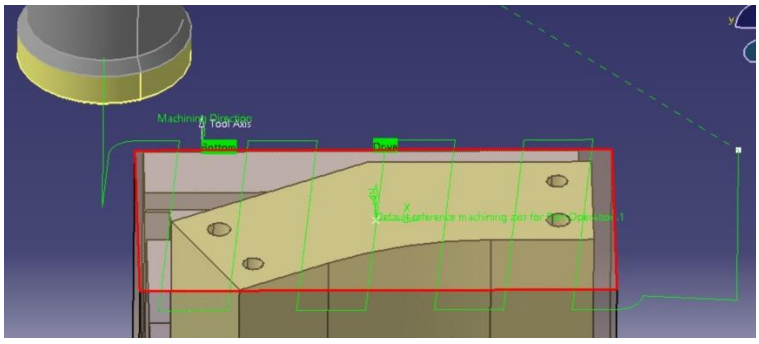
Frézování

V prvním kroku bylo potřeba zarovnat horní rovinnou plochu a obrobit obvodový tvar součásti. Protože se nejednalo o tvarově složité plochy a z analýzy výchozího stavu součásti vyplývalo, že na plochy nejsou kladeny žádné speciální požadavky, bylo možno tyto plochy obrobit na čisto bez hrubování. Pro obě operace byla použita čelní válcová fréza o průměru ⌀ 50 mm s vyměnitelnými břitovými destičkami, která je popsána v předchozí kapitole (*3.1*) zabývající se nástroji, aby bylo zajištěno odebírání co největšího množství materiálu na jednu třísku.



Obr. 23 Geometrie Facing

Operace, která byla použita pro zarovnání horní rovinné plochy, má název „Facing“[13] a je určena pro obrábění rovinných ploch různými strategiemi drah nástroje. Dialogové okno je rozděleno na pět karet, které bylo potřeba nastavit, aby byla operace plně definována. První kartou, která byla nastavena, je definice geometrie (*Obr. 23*). Na této kartě je virtuální těleso, které má dvojici ploch, pomocí nichž se definuje reálná součást. Na virtuálním tělesu byla vybrána horní plocha, kterou se definovalo dno na reálné součásti s označením „Bottom“[14] a plochou pro tuto definici byla horní plocha součásti. Druhou vybranou plochou na virtuálním tělese je boční plocha, kterou je definována limitní kontura[15] na reálném tělese označená jako „Drive“, plochou pro tuto konturu je obdélník polotovaru. V záložce nástrojů byla vybrána fréza, která je uvedena výše, a byly zde nastaveny její řezné parametry. Aby byly parametry plně nastaveny, bylo potřeba přepnout na záložku s posuvy,

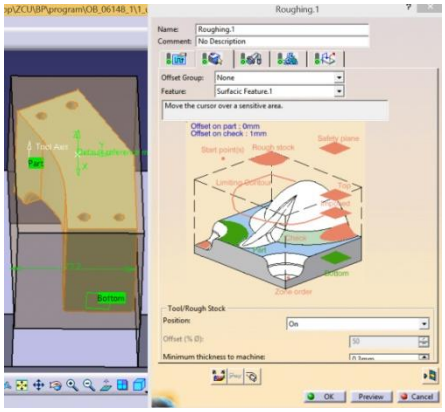


Obr. 24 Dráhy nástroje Facing

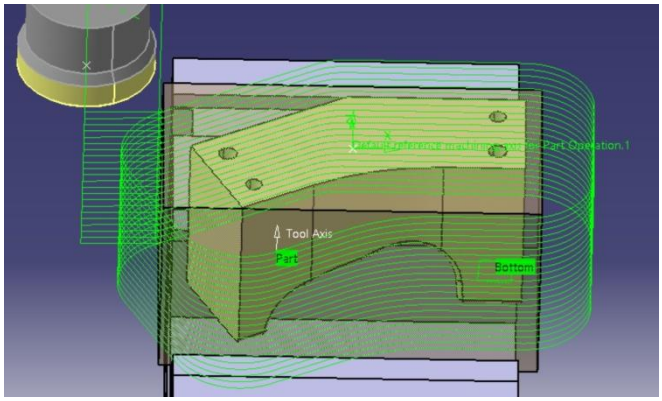
[13] Facing znamená čelní obrábění. Je to strategie pro obrábění čelní frézou (anglicky „face mill“).
[14] Bottom definuje dno obráběné plochy na reálné součásti.
[15] Limitní kontura definuje prostor, v němž bude odebírán materiál

kde byly nastaveny rychlosti pro příjezdy, odjezdy a přejezdy nástroje rychloposuvem. V záložce strategie operace byla nejdříve nastavena dráha nástroje na přejezdy „back and forth“ (v sémantickém překladu „tam a zpět“). Dále byl nastaven boční přísuv nástroje a_e na 20 mm. Posledním nastavením v záložce strategie bylo nastavení hloubky třísky na jeden řez, který má 1,8 mm. Následně bylo potřeba nastavit nájezdy a odjezdy, jelikož tato operace v základním nastavení je nemá definovány a došlo by ke kolizi nástroje rychloposuvem s obrobkem. Po zadání všech nutných hodnot byla vypočtena dráha nástroje, která je zobrazena na obrázku (*Obr. 24*) zelenou barvou.

Operace, která byla použita na obrobení obvodového tvaru, má název „Roughing“ a je určena pro hrubovací operace různými strategiemi. Prvním nastavením v dialogovém okně bylo definování geometrie, kde je zobrazeno virtuální těleso (*Obr. 25*), na němž bylo potřeba vybrat součást, která je označena na virtuálním tělese jako „Part“, a spodní plochu, která je posunuta od spodní plochy součásti o 0,5 mm směrem dolů proto, aby bylo zajištěno obrobení celé plochy součásti charakterizované písmenem „V“.



Obr. 25 Geometrie Roughing



Obr. 26 Dráhy nástroje Roughing

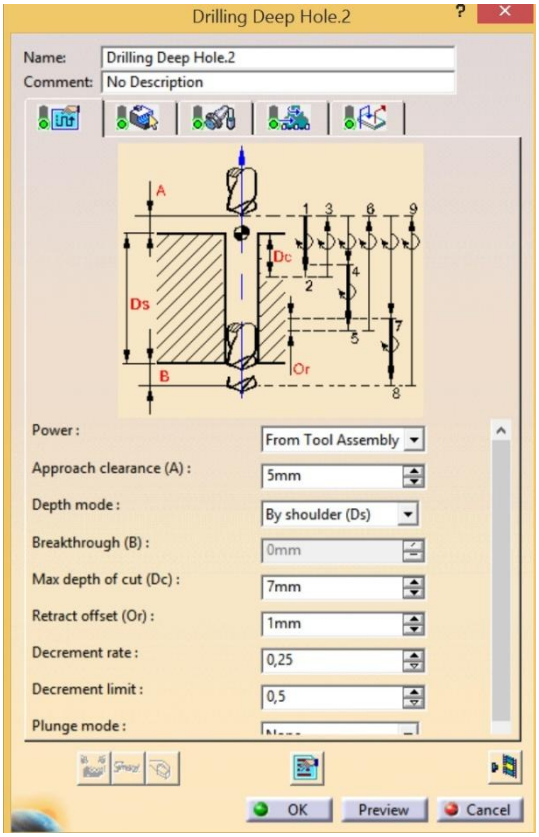
Polotovar nebyl definován přes virtuální těleso, jelikož pokud není vybrán, je automaticky nadefinován z předchozí operace i s již odebraným materiálem, který byl odebrán předchozí operací. V záložce nástrojů byla vybrána čelní válcová fréza o průměru ⌀ 50 mm, která je uvedena výše, a byly zde nastaveny její řezné parametry. Také jako u předchozí operace bylo potřeba nastavit pro tuto frézu její parametry rychloposuvu. V záložce strategií byla ponechána volba, která byla nastavena v základu této funkce. Bylo pouze potřeba nastavit maximální hloubku třísky na 3 mm. Bylo také potřeba nastavit boční přísuv nástroje a_e na 25 mm, aby bylo zajištěno vyhrubování na jeden boční přísuv nástroje. Nájezdy a odjezdy jsou v této operaci nastaveny automaticky a simulace této strategie neukazovala žádné kolize, proto nebylo potřeba měnit nastavení. Po zadání všech nutných hodnot a nastavení strategie byla vypočtena dráha nástroje, která je zobrazena na obrázku (*Obr. 26*), dráha nástroje je označena zelenou barvou.

Výroba otvorů se závitem a tolerovaných otvorů

Dalším krokem je výroba čtyř neprůchozích otvorů. Na výkresu součásti je uvedeno, že se jedná o dva otvory se závitem M8 a dva tolerované otvory o průměru ⌀ 6 mm v toleranci H7. Nejprve je potřeba vyrobit dva neprůchozí otvory o průměru ⌀ 5,8 mm, aby byl ponechán technologický přídavek pro vystružení otvoru na požadovaný rozměr s tolerancí, a dva otvory o průměru ⌀ 6,8 mm, jelikož tento průměr je doporučen normou ISO 724/965.1 pro závit M8. Další operací je sražení hran těchto čtyř otvorů. Poslední operací je výroba závitu M8 do dvou

otvorů o větším průměru a vystružení dvou zbývajících otvorů na tolerovaný průměr ⌀ 6H7. Protože nastavení dialogových oken jednotlivých operací je podobné, bude podrobně vysvětleno pouze na první operaci a následně budou uvedeny základní informace a změny v nastavení dialogového okna.

Operace, která byla použita na výrobu neprůchozích otvorů o průměru ⌀ 5,8 mm, má název „Drilling Deep Hole“[16]. I když otvory nejsou hluboké a z názvu této operace vyplývá, že se jedná o operaci pro vrtání hlubokých otvorů, je použita z důvodu možnosti nastavení tzv. „výplachu třísky“[17]. Prvním nastavením v dialogovém okně je definování geometrie, které je principiálně podobné jako u předchozích operací, jen místo virtuálního tělesa je zde zobrazen virtuální otvor. Pomocí něj se vybere horní plocha, na které jsou umístěny otvory a také přímo otvory, které mají být vrtány. Na této kartě se rovněž nastavuje průměr otvoru a jeho hloubka, která je 15 mm. V záložce nástrojů byl vybrán šroubovitý vrták o průměru ⌀ 5,8 mm a nastaveny jeho řezné podmínky, které jsou i s popisem toho nástroje uvedeny v kapitole *3.1.2* . Pro plné nastavení parametrů nástroje bylo potřeba nastavit hodnotu rychloposuvu pro přejezdy nástroje v kartě s posuvy. Pro dokončení této operace bylo potřeba nastavit strategii vrtání otvorů na kartě strategie operace, která je zobrazena na obrázku (*Obr. 27*). Jako první byla nastavena bezpečná vzdálenost od obrobku označená písmenem *A* na 5 mm, ve které bude nástroj přejíždět mezi jednotlivými vybranými otvory. Dále pak byla nastavena hodnota hloubky jednoho kroku označená písmenem *Dc* na 7 mm a zpětný krok nástroje označený písmenem *Or* na 1 mm. Ten je potřeba nastavit, aby bylo nastaveno vrtání s tzv. výplachem třísky. Po zadání všech nutných hodnot byla vypočítána dráha nástroje a provedena kontrola pomocí simulace, jestli nedochází ke kolizím.

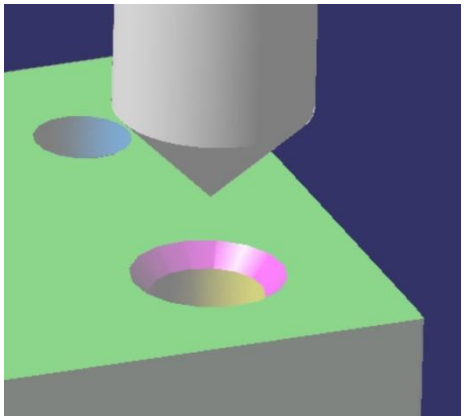


Obr. 27 Strategie Drilling Deep Hole

Strategie nastavení dialogového okna pro vrtání otvorů o průměru ⌀ 6,8 mm je téměř totožná s předchozím nastavením, které je uvedeno výše pro otvory s průměrem ⌀ 5,8 mm. Změny, které bylo potřeba provést, jsou zde vypsány. Bylo nutno vybrat jinou geometrii otvorů na virtuálním tělese a nastavit hloubku otvorů na 16 mm, na kartě nástrojů pak vybrat šroubovitý vrták o průměru ⌀ 6,8 mm a nastavit jeho řezné parametry, které jsou i s popisem toho nástroje uvedeny v kapitole *3.1.2* . Na kartě se strategií jsou nastaveny, kromě hloubky kroku označeného písmenem *Dc* na 10,5 mm, všechny parametry stejně jako je uvedeno na obrázku (*Obr. 27*).

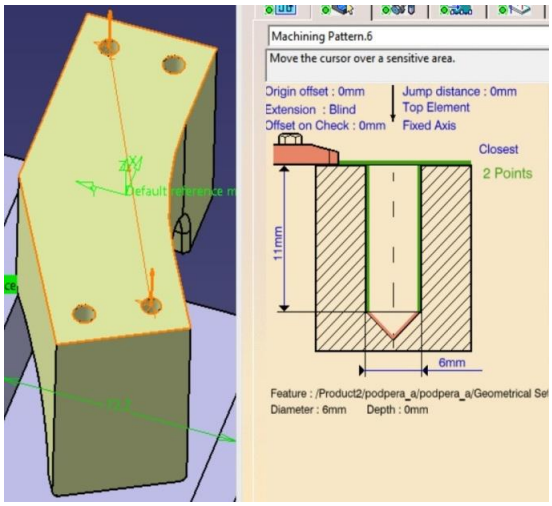
[16] Drilling Deep Hole znamená vrtání hlubokých otvorů. Je to strategie pro výrobu otvorů šroubovitým vrtákem.
[17] Výplach třísky znamená rozdělení vrtané hloubky na více kroků. Pokaždé, než bude vrtán následující krok, nástroj odjede o nastavený rozměr směrem ven z otvoru a následně se vrátí na předchozí místo.

Před výrobou závitu M8 je potřeba vyrobit sražení 1,25x45° na otvorech o průměru ⌀ 6,8 mm. K tomu slouží operace s názvem „Counter Sinking“[18]. Výroba tohoto sražení je potřebná, aby se závitník mohl dobře zaříznout do materiálu a nedošlo k poškození nástroje nebo obrobku. Opět bylo nutno nastavit v dialogovém oknu všechny potřebné parametry. Na kartě s geometrií byla nastavena hloubka 1,25 mm a horní průměr sražení ⌀ 9,3 mm. Jako další byl vybrán nástroj, kuželová fréza o průměru ⌀ 12 mm, a nastaveny její řezné podmínky, které jsou i s popisem tohoto nástroje uvedeny v kapitole *3.1.2* . Po nastavení této operace se nechaly přepočítat dráhy nástroje a byla provedena simulace, která je zobrazena na obrázku (*Obr. 28*), kde jsou označeny jednotlivé operace různými barvami pro lepší přehlednost. Například otvory o průměru ⌀ 6,8 mm jsou žluté a otvory o průměru ⌀ 5,8 mm jsou označeny modrou barvou.



Obr. 28 Grafická simulace výroby sražení

Strategie nastavení dialogového okna pro sražení 1x45° na otvorech o průměru ⌀ 5,8 mm je téměř totožná s předchozím nastavením, pouze se liší v některých zadávaných datech. Toto sražení je důležité, aby byl zajištěn přesný nájezd výstružníku do otvoru. Na kartě geometrie byla změněna hloubka sražení na 1 mm a horní průměr sražení na ⌀ 8 mm. Ostatní nastavovaná data zůstala stejná jako u předchozí operace.



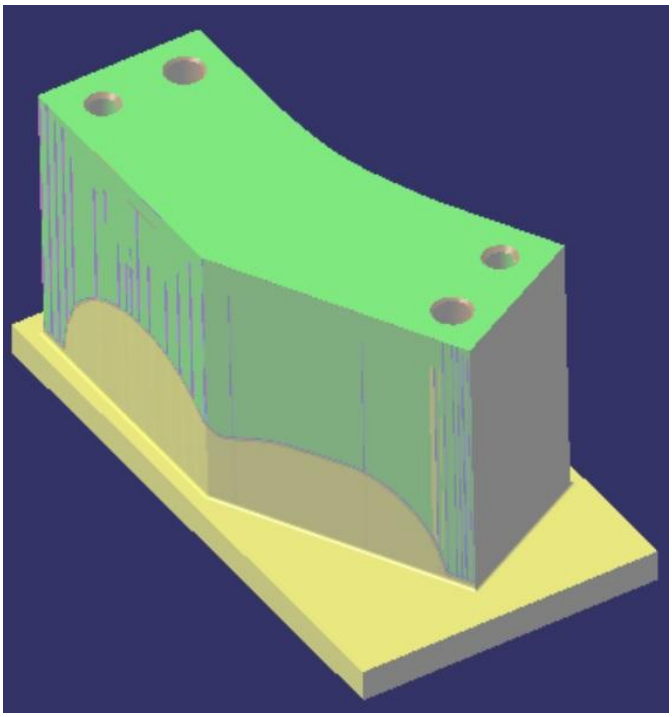
Obr. 29 Geometrie Reaming

Předposlední operací při tomto upnutí je výroba otvorů o průměru ⌀ 6 mm v toleranci H7. Pro dosažení této tolerance je potřeba tyto otvory vystružit výstružníkem 6H7, kdy jeho řezné podmínky a popis jsou uvedeny v kapitole *3.1.2* . Pro vystružování slouží operace s názvem „Reaming“[19]. Protože nastavení dialogového okna této operace je totožné s předchozími, není zde uvedeno v plném rozsahu. Bylo potřeba nastavit v geometrii průměr otvoru na ⌀ 6 mm a délku vystružovaného otvoru na 11 mm, jak je zobrazeno na obrázku (*Obr. 29*). Na kartě nástroje je vybrán výstružník, který je uveden výše v textu.

Poslední operací při tomto upnutí je vyříznutí závitu M8 do dvou otvorů o průměru ⌀ 6,8 mm se sražením 1,25x45°. Tato operace má název „Tapping“[20]. Na kartě s geometrií bylo potřeba nastavit, že se jedná o pravý závit se stoupáním 1,25 mm do hloubky 12 mm. Na kartě s nástroji byl vybrán strojní závitník M8x1,25 a byly zde nastaveny jeho řezné podmínky, které jsou uvedeny i s popisem závitníku v kapitole *3.1.2* .

[18] Countersinking znamená zahlubování. Je to strategie výroby kuželového zahloubení otvorů.
[19] Reaming znamená vystružení. Je to strategie pro výrobu tolerovaných otvorů pomocí výstružníku.
[20] Tapping je strategie pro výrobu závitu v díře pomocí závitníku.

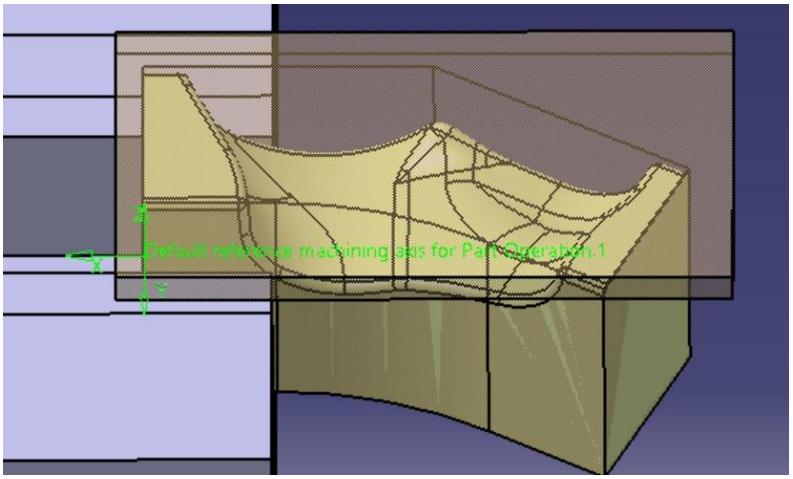
Po nastavení všech operací, které jsou uvedeny pro toto upnutí, je součást překontrolována v grafické analýze povrchu. Tato analýza je zobrazena na obrázku (*Obr. 30*), kdy barvami je označeno množství zbytkového materiálu nebo podříznutí obrobku. Nejdůležitější jsou tři barvy – zelená pro povrch, který je v pořádku, žlutá pro povrch, na němž je zbytkový materiál, a hnědá, která označuje podříznutí součásti. Otvory se závitem jsou vykresleny hnědou barvou, protože CAM systém nezobrazuje závit, ale zobrazí otvor o průměru podle rozměru závitu (pokud máme závit M8, tak je zobrazen otvorem o průměru ⌀ 8 mm). Proto se na první pohled může zdát, že jsou otvory podříznuty, ale není tomu tak z důvodu, který byl uveden.



Obr. 30 Analýza povrchu po prvním obrobení

4.2 Druhé upnutí

Jak již bylo zmíněno u prvního upnutí, je potřeba před samotným programováním nejdříve umístit do jedné sestavy polotovar se součástí a upínačem. Tímto upínačem je virtuální model strojního svěráku a pro zavazbení jsou požity stejné funkce jako při prvním upnutí. Upnutí sestavy je realizováno tak, jak ukazuje obrázek (*Obr. 31*). Protože se bude obrábět pouze nad svěrákem, a to plocha pro upínku, není potřeba část součásti vyčnívající ze svěráku upínat pomocí upínky.



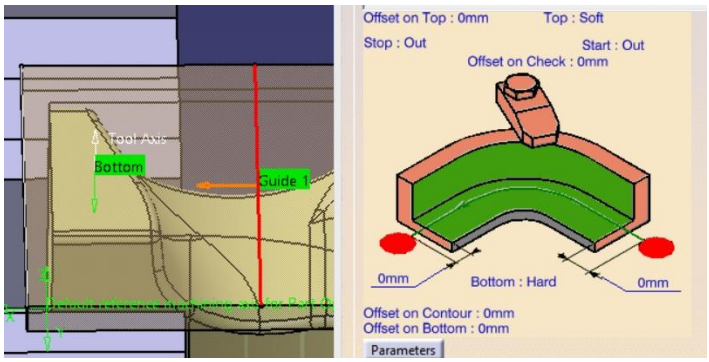
Obr. 31 Upnutí 2

V modulu CAM bylo potřeba znovu nadefinovat základní informace, stejně jako u prvního upnutí. Jako typ stroje je vybrán „3-axis Machine“. Dále bylo nutno definovat nulový bod pro

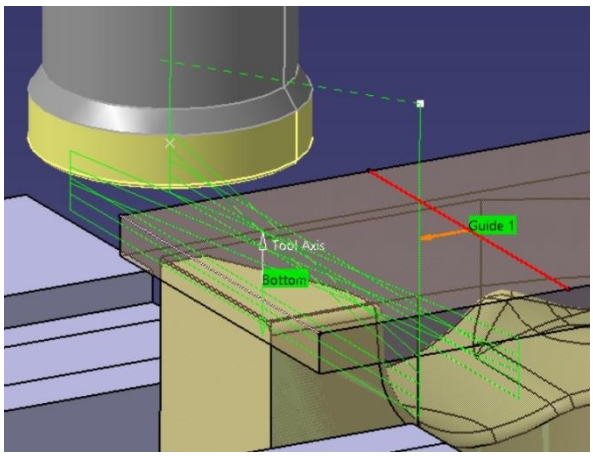
obránění, je umístěn na spodní hraně součásti umístěné ve strojním svěráku, jak je zobrazeno na obrázku (*Obr. 31*). Nakonec je potřeba definovat, co je obrobek, co je polotovar a co je upínač, aby systém rozpoznal při tvorbě programu jednotlivé modely. Pro takto definovanou sestavu bylo možno vytvořit NC data pro výrobu.

Jak již bylo zmíněno, při tomto upnutí je obráběna plocha, na kterou při dalším upnutí dosedá upínka. Obráběná plocha je umístěna nad strojním svěrákem. Z technologičnosti konstrukce a návrhu výroby vyplývá, že při tomto upnutí je vyrobena horní rovinná plocha, která má větší rozměry, a také její boční rádiusy, protože při dalším upnutí bude na této ploše umístěna upínka a nebylo by možné tyto rádiusy vyrobit.

Pro obrobení rovinné plochy do vzdálenosti 50 mm od kraje polotovaru, který je nad strojním svěrákem, je použita operace s názvem „Profile Contouring“[21]. Výhodou této operace oproti operaci „Facing“ je snazší nastavení vzdálenosti, do níž má být plocha obrobena. V dialogovém okně v záložce geometrie (*Obr. 32*) je zobrazeno virtuální těleso, pomocí něhož se vybírá řídící křivka označená „Guide“, podél které je veden nástroj a dno obráběné plochy označené „Bottom“. Na další kartě byl vybrán nástroj, a to čelní válcová fréza o průměru ⌀ 50 mm s vyměnitelnými břitovými destičkami, a nastaveny její řezné parametry, které jsou uvedeny v předchozí kapitole (*3.1.2*) i s popisem nástroje. Z důvodů menší tuhosti upnutí a výšky odebíraného materiálu bylo potřeba rozdělit velikost třísky. Z tohoto důvodu byly nastaveny na kartě se strategií hodnoty radiálního a axiálního kroku nástroje. V axiálním směru bylo nastaveno odebírání materiálu na tři třísky s maximální hloubkou řezu 3 mm. V radiálním směru bylo nastaveno obrobení plochy na dva boční přísuvy a_e ve vzdálenosti os nástroje od sebe o 20 mm. U této operace bylo potřeba nastavit strategii nájezdů, přejezdů a odjezdů nástroje, protože automatická definice těchto drah vedla ke kolizi nástroje s polotovarem ve virtuální simulaci provedené při kontrole této operace. Nastavené a zkontrolované dráhy nástroje jsou zobrazeny na obrázku (*Obr. 33*).



Obr. 32 Geometrie Profile Contouring

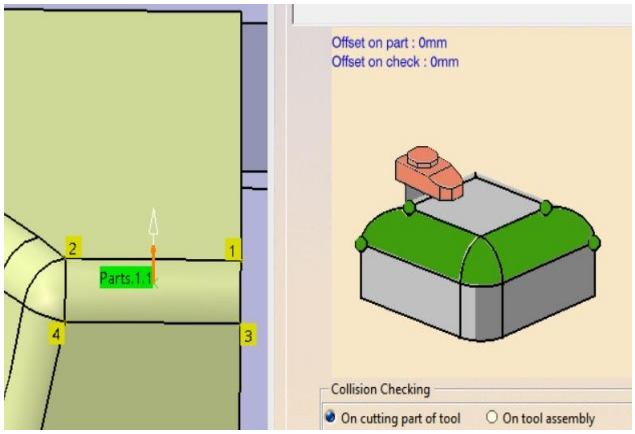


Obr. 33 Dráhy nástroje Profile Contouring

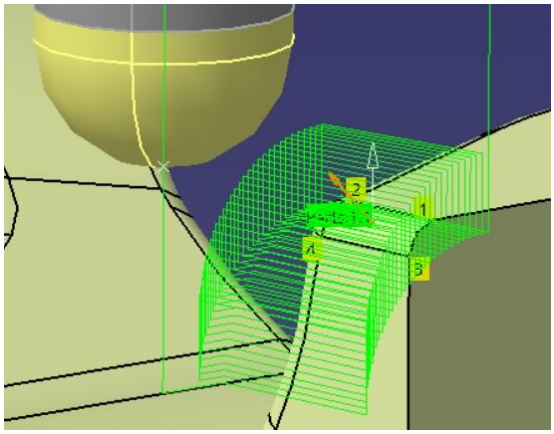
Poslední operací tohoto upnutí je výroba dvou bočních rádiusů. Pro jejich obrobení je použita operace s názvem „Isoparametric Machining“[22]. Pomocí virtuálního tělesa na kartě geometrie je vybrána plocha rádiusu a pomocí čtyř bodů je tato plocha plně nadefinována a také určen

[21] Profile Contouring je strategie obrábění frézou, kdy nástroj je veden podél kontury.
[22] Isoparametric Machining znamená isoparametrické obrábění. Jedná se o strategii pro výrobu zaoblení.

směr dráhy nástroje, jak je patrné na obrázku (*Obr. 34*). Dalším nastavením této operace je vybrání nástroje a nastavení jeho řezných parametrů. Vybraným nástrojem je kulová fréza o průměru ⌀ 16 mm s vyměnitelnou břitovou destičkou a kuželovým tělem. Nastavované parametry a podrobnější informace jsou uvedeny v kapitole *3.1.2* . Posledním provedeným nastavením bylo definování příjezdových a odjezdových drah na kartě dráhy nástroje. Po tomto nastavení byl proveden výpočet drah nástroje, které jsou zobrazeny na obrázku (*Obr.* 35). Protože strategie i nastavení dialogového okna pro druhé zaoblení jsou téměř totožné a liší se pouze v nadefinování pomocí virtuálního tělesa druhého rádiusu, není zde tato operace popsána.



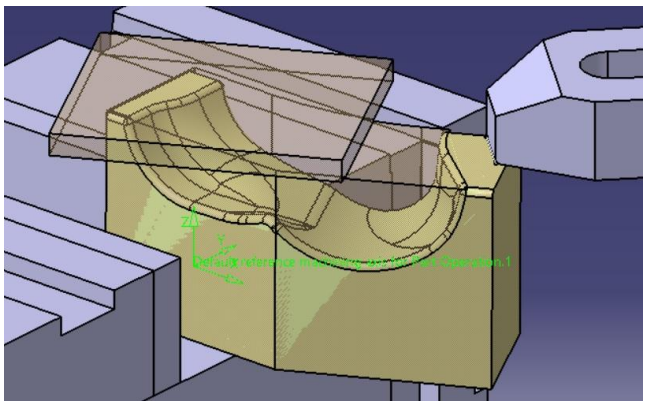
Obr. 34 Geometrie Isoparametric Machining



Obr. 35 Dráhy nástroje Isoparametric Machining

4.3 Třetí upnutí

Částečně obrobenou součást bylo potřeba umístit do jedné sestavy se strojním svěrákem a upínkou, jak je zobrazeno na obrázku (*Obr. 36*). Na „zavazbení“ jednotlivých těles do jedné sestavy byly použity stejné funkce jako u předchozích upnutí. Modul CAM bylo potřeba nastavit stejně jako u předchozích upnutí. Jako typ stroje je vybrán „3-axis Machine“, dále pak bylo nutno definovat nulový bod pro obrábění, jenž je umístěn na spodní hraně součásti, která je ve strojním svěráku, jak je zobrazeno na obrázku Nakonec je potřeba definovat, co je obrobek, co je polotovar a co jsou upínače, aby systém rozpoznal při tvorbě programu jednotlivé modely. Pro takto definovanou sestavu bylo možno vytvořit NC data pro výrobu.



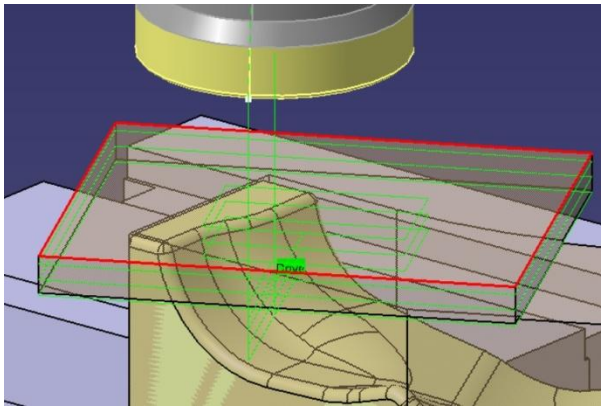
Obr. 36 Upnutí 3

Hrubování

Hrubování je tvořeno několika operacemi, aby bylo odebráno co nejvíce materiálu a zůstal pouze přídavek na obrábění na tvarové ploše pro dokončovací operace. V prvním kroku je potřeba odebrat zbytkový materiál, který je nad součástí, a zarovnat horní rovinnou plochu. V dalším kroku je vyhrubováno vnitřní vybrání nejdříve čelní válcovou frézou o průměru ⌀ 50 mm a dále čelní válcovou frézou o průměru ⌀ 20 mm. Posledním krokem

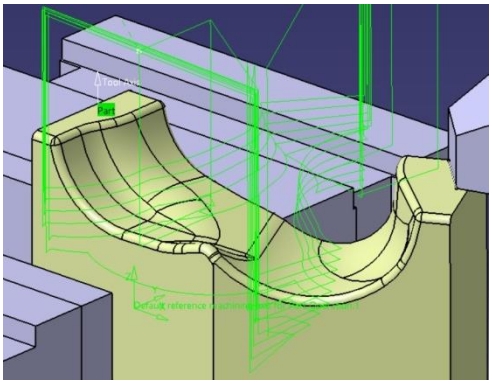
v hrubování je odebrání velkého množství zbytkového materiálu, který je ve dvou místech v tvarovém vybrání, pomocí kulové frézy o průměru ⌀ 16 mm. Jelikož použité operace jsou stejné nebo podobné, pokud se jedná o nastavení dialogového okna operace, nebude zde nastavení vysvětleno detailně jako u prvního upnutí.

Pro první operaci, která odebere zbytkový materiál nad součástí a zarovná horní rovinnou plochu, je použita funkce „Facing“. Je použita čelní válcová fréza o průměru ⌀ 50 mm, kdy její nastavované řezné podmínky jsou uvedeny v kapitole *3.1.2* v tabulce (*Tabulka 7*). Jako strategie pro tuto operaci je zvolena metoda „Inward helical“[23], která je zobrazena na obrázku (*Obr. 37*), kdy nástroj odebírá po obdélníkové dráze, která je určena limitní konturou, směrem do středu obdélníku. Protože se jedná o velký zbytkový materiál, je tříska rozdělena v axiálním směru na tři kroky s maximální hloubkou třísky na 3 mm.

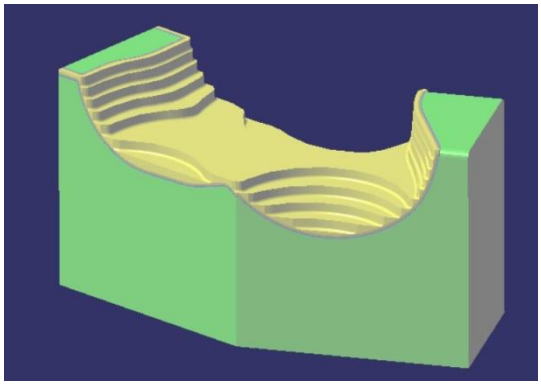


Obr. 37 Strategie Facing

Další hrubovací operace, při níž je použit stejný nástroj (čelní válcová fréza o průměru ⌀ 50 mm), je zvolena tak, aby odebrala co nejvíce materiálu ve tvarovém vybrání, dokud to její rozměry dovolí. Pro tuto operaci je použita funkce „Roughing“ s nastavením maximální hloubky třísky na 3 mm a bočním přísuvem a_e, který je nastaven v procentuálním posunutí drah na 30 %. To znamená, že boční přísuv a_e je 15 mm. Protože se jedná o stejný nástroj, jsou nastaveny jeho řezné podmínky stejně jako u předchozí operace. Vygenerovaná strategie této operace je zobrazena na obrázku (*Obr. 38*), kdy zelenou barvou jsou zobrazeny dráhy nástroje. Na obrázku (*Obr. 39*) je zobrazena analýza po vyhrubování součásti touto frézou, aby bylo vidět, do jaké hloubky tato fréza mohla odebírat materiál.



Obr. 38 Stategie Roughing

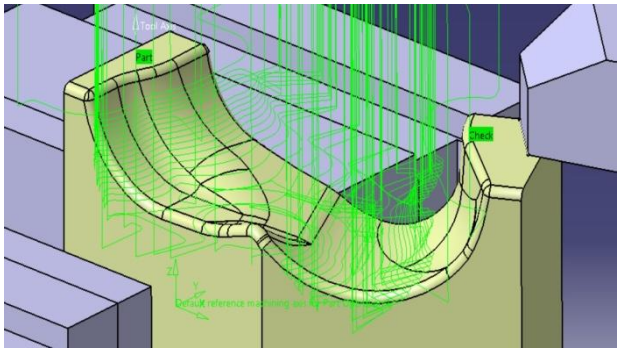


Obr. 39 Analýza operace Roughing

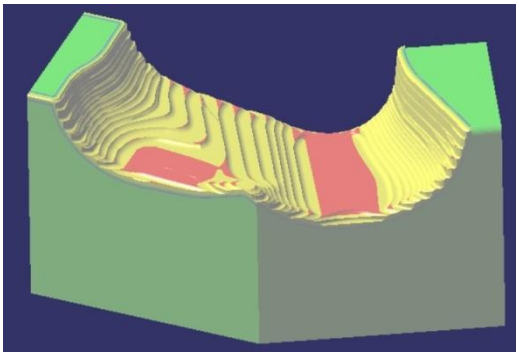
Vzhledem k velkému množství zbytkového materiálu, které nebylo odebráno v předchozí operaci, je použita stejná strategie i funkce („Roughing“) na dohrubování tvarového vybrání. Zvoleným nástrojem je nyní čelní válcová fréza o průměru ⌀ 20 mm s jejími řeznými

[23] Inward helical znamená spirálové obrábění směrem do středu.

parametry, které jsou uvedeny v kapitole *3.1.2* v tabulce (*Tabulka 8*). Po předchozí operaci vznikly na bocích „stupňovité útvary“ zbytkového materiálu, kdy jejich rozměry jsou příliš velké pro dokončovací operace, které budou prováděny kulovou frézou. Z důvodu nevhodně velkého přídavku, který by rozhodně zvýšil čas a náročnost obrábění načisto, je potřeba rozměry těchto „stupňovitých útvarů“ zmenšit. Proto byla nastavena maximální hloubka řezu na 1 mm a boční přísuv a_e ponechán v procentuálním nastavení na 30 % průměru nástroje. Vygenerovaná strategie dráhy nástroje je zobrazena zelenými liniemi na obrázku (*Obr. 40*). Vzhledem k předpokladu, že se jedná o poslední hrubovací operaci, byla provedena celková analýza operací, která je zobrazena na obrázku (*Obr. 41*). Při ní se také kontroluje, jestli nedochází ke kolizím nástroje s obrobkem nebo s upínači.



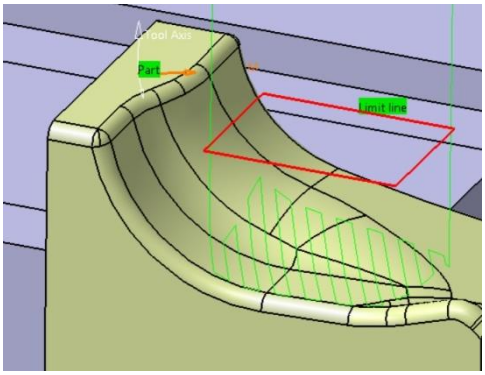
Obr. 40 Strategie Roughing frézou D20



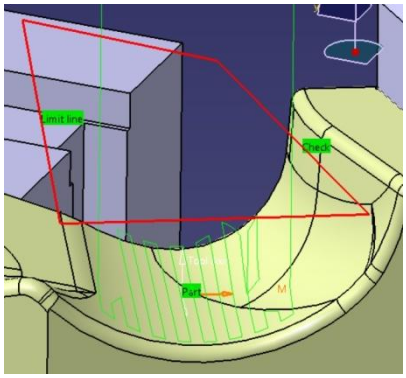
Obr. 41 Analýza Roughing frézou D20

Jak je vidět na obrázku analýzy, nalézají se zde dvě místa, která jsou zobrazena červenou barvou. Je v nich velké množství zbytkového materiálu, který dosahuje výšky okolo 2 mm. Z tohoto důvodu je potřeba tato místa vyhrubovat kulovou frézou, protože čelní válcová fréza by musela být velmi malých rozměrů na dohrubování těchto dvou míst. To by vedlo k velkému zvýšení výrobního času. Tato dvě místa jsou vyhrubována stejnou operací, kdy je pouze změněno umístění a tvar limitní kontury, ve které je obráběna součást. Pro obě operace je vybrána funkce „Sweeping“[24], kdy jako nástroj je zvolena monolitní kulová fréza o průměru ⌀ 16 mm a jsou nastaveny její řezné podmínky uvedené v kapitole *3.1.2* v tabulce (*Tabulka 10*). Aby součást nebyla obráběna celá, bylo potřeba vybrat pomocí virtuálního tělesa limitní konturu na součásti, která ohraničuje prostor, jenž je obráběn, jak je zobrazeno na obrázcích (*Obr. 42* a *Obr. 43*) červenými čarami. Na kartě strategie je zvolena metoda „zig-zag“, tedy dráha nástroje je vedena po jedné křivce vždy z jedné strany ~~a~~ na druhou a zpět. Tyto dráhy nástroje jsou zobrazeny na obrázcích (*Obr. 42* a *Obr. 43*) zelenými čarami. Bylo potřeba také nastavit hodnotu maximálního bočního přísuvu nástroje na 2 mm a maximální hloubku třísky na 1 mm. Pro plné definování této operace bylo nutno nastavit také příjezdy a odjezdy nástroje, kdy nástroj přijíždí pracovním posuvem k součásti v axiálním směru v délce dráhy 5 mm a poté přímo k součásti po šikmé dráze délky 5 mm pod úhlem 20°. Stejně je definován i odjezd nástroje od součásti.

[24] Sweeping je strategie pro dokončovací operace, kdy dráhy nástroje jsou vedeny tam a zpět po rovnoběžkách.



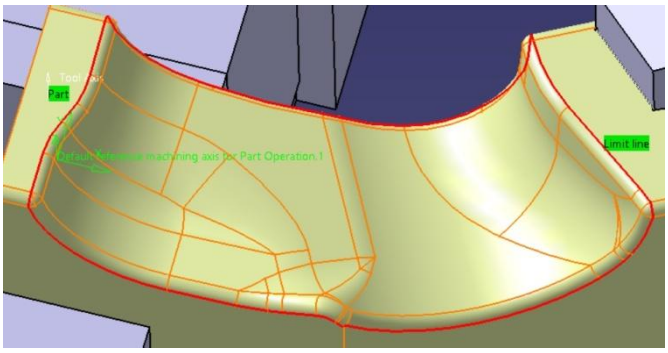
Obr. 42 Sweeping 1



Obr. 43 Sweeping 2

Dokončovací operace

Dokončování načisto součásti je tvořeno čtyřmi operacemi – dvěma pro obrobení tvarového vybrání načisto a dvěma pro vyrobení dvou bočních rádiusů na horní rovinné ploše. Pro obrobení tvarového vybrání načisto bylo potřeba použít dvě operace, a to „ZLevel“[25], která je vhodná pro obrábění strmých ploch, a „Spiral milling“[26], která je vhodná pro obrábění málo strmých ploch. Vhodnou strategií pro obrobení boků tvarového vybrání je funkce „ZLevel“, protože boky jsou strmé a pro ně se tedy tato funkce dobře hodí. Naopak střední část tvarového vybrání, která má malé strmosti, je lépe dokončovat funkcí „Spiral milling“. Pro realizaci této strategie je nutno u těchto operací nastavit mezní úhel sklonu ploch, kterým jsou omezeny při obrábění. Na výrobu radiusů je použita operace „Isoparametric Machining“ stejně jako u předchozího upnutí. Z tohoto důvodu zde není uveden její popis, neboť by byl totožný jako u druhého upnutí. Jediné rozdílné nastavení je v použitém nástroji a definování obráběných ploch pomocí virtuálního tělesa. Pro všechny operace je použit stejný nástroj, a to monolitní kulová fréza o průměru ⌀ 16 mm, u které jsou nastaveny stejné řezné podmínky, které jsou uvedeny v kapitole *3.1.2* v tabulce (*Tabulka 10*). Jelikož princip nastavení dialogových oken je podobný jako u předchozích operací, nebude zde vysvětlován detailně.



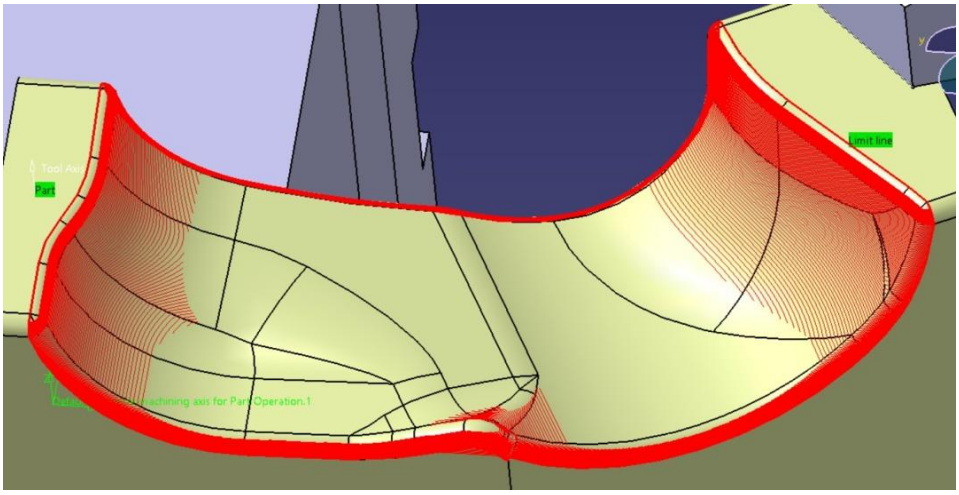
Obr. 44 Limitní kontura tvarového vybrání

První dokončovací operací je obrobení bočních a všech strmých ploch, které mají větší úhel sklonu než 30°. K tomu je použita funkce „ZLevel“, kdy v dialogovém oknu je vybrána limitní kontura, která ohraničuje prostor tvarového vybrání, jež bude obráběno. Kontura je vyznačena na obrázku (*Obr. 44*) červenou čarou. Dále byl nastaven boční přísuv nástroje a_e na 0,2 mm, aby obrobená plocha dosahovala požadované tolerance. Po nastavení všech potřebných parametrů je vygenerována dráha nástroje a grafickou analýzou zkontrolována kvalita obráběných ploch.

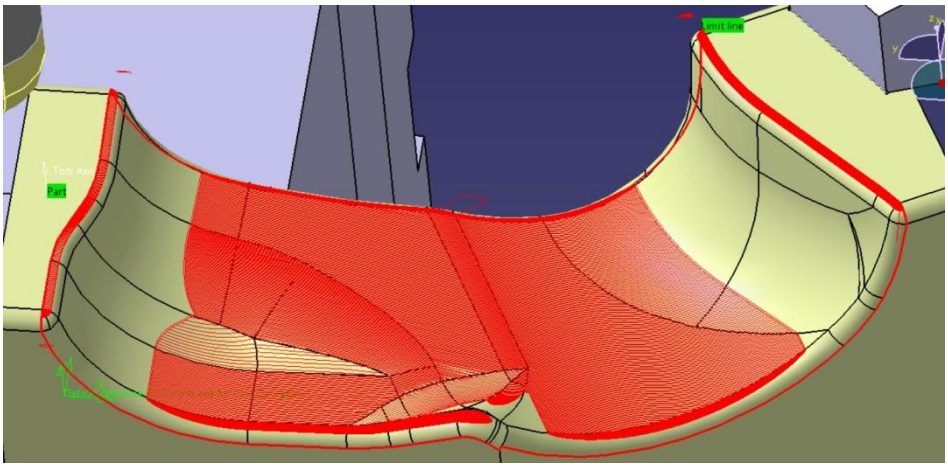
[25] Zlevel je strategie pro dokončování operace určená pro strmé plochy.
[26] Spiral milling je dokončovací strategie určená pro rovinné plochy.

Pro dokončení tvarového obrábění je potřeba obrobit ještě veškeré plochy, které mají menší úhel sklonu než 30°. K tomu je použita operace „Spiral milling“, kdy v dialogovém oknu je vybrána totožná limitní kontura, která je zobrazena na obrázku (*Obr. 44*), jako u předchozí operace. Jelikož předchozí operace obráběla strmé plochy s úhlem sklonu 30° a více, bylo nutno nastavit tuto operaci, aby obráběla plochy s úhlem sklonu 32° a méně, aby bylo zajištěno překrytí drah nástroje mezi první a touto dokončovací operací. Další nastavením bylo zvolení strategie dráhy nástroje, kdy je vybrána strategie „back and forth“. Pro dosažení požadované tolerance je nastaven boční přísuv a_e na 0,2 mm. Po nastavení všech potřebných parametrů je vygenerována dráha nástroje a zkontrolována kvalita povrchu pomocí grafické analýzy.

Na obrázcích jsou zobrazeny strategie těchto dvou dokončovacích operací. Pro lepší přehlednost je zobrazena dráha nástroje, kdy je nástroj v kontaktu s obráběnou plochou a obrábí ji. Na obrázcích je zobrazena stejnou barvou také limitní kontura. Na obrázku (*Obr. 45*) je zobrazena strategie operace „ZLevel“. Na dalším obrázku (*Obr. 46*) je zobrazena strategie operace „Spiral milling“.



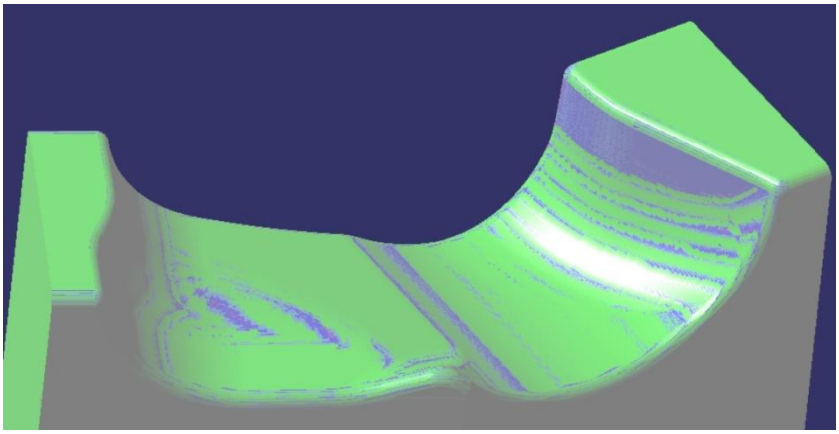
Obr. 45 ZLevel dráhy nástroje



Obr. 46 Spiral milling dráhy nástroje

Jak již bylo zmíněno, operace pro obrobení dvou bočních rádiusů je opět „ISO parametric machining“. Po obrobení těchto dvou rádiusů je provedena celková grafická analýza součásti, zdali povrch součásti odpovídá požadovaným tolerancím a požadavkům zákazníka. Jak je

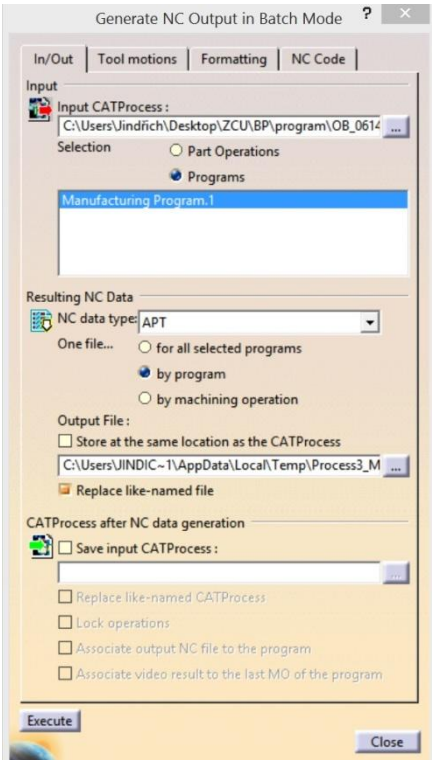
patrné na obrázku (*Obr. 47*), simulovaný povrch součásti je po takto zvolených strategiích převážně zelený, pouze na některých místech je jiná barva. Jiná barva než zelená zde označuje zbytkový materiál, který ale dosahuje hodnoty maximálně do 0,04 mm. Plocha je tedy vyrobena v požadované toleranci, protože tolerance činí 0,05 mm na plochu, jak je již uvedeno v kapitole 2.2 .



Obr. 47 Grafická analýza po obrobení

4.4 Generování NC dat a výroba součásti

Po dokončení tvorby všech programů pro tři upnutí v systému CATIA bylo potřeba tyto programy převést do vhodného formátu použitelného na frézce MCV 750A. Výstupem z CAM systému není přímo NC program, protože společná kombinace stroje a řídicího systému tvoří velké množství možností. Výstupem z CAM systému jsou proto tzv. CL data ve formátu APT. Aby mohla být tato CL data vygenerována z CAM systému, je potřeba nastavit vhodný interní postprocesor. Jeho nastavení je provedeno v dialogovém oknu „Part Operation“ při definici stroje, na kartě Numerical Control. Zde je nastaven jako postprocesor PPTableTD0030.pptable. Po nastavení je možno vygenerovat CL data z CAM systému pomocí funkce „Generate NC Code in Batch Mode“. Poté jsou pomocí externího postprocesoru převedena na NC data, která jsou vhodná pro řídící systém na frézce MCV 750A. Dialogové okno pro nastavení generování APT dat je zobrazeno na obrázku (*Obr. 48*), v něm se nastaví typ NC dat jako APT a místo uložiště těchto vygenerovaných dat. APT data jsou poté přeložena pomocí jiného softwaru do NC kódu vhodného pro frézku MCV 750A. Postup je proveden u všech upnutí a data jsou poté nahrána do frézky, kde se zkontrolují pomocí simulace. Jednotlivé programy jsou umístěny na přiloženém CD pod názvy *OB_06184_1_str1*, *OB_06184_1_str2* a *OB061841st3*. K nahlédnutí jsou také v přílohách (*Příloha č. 1, Příloha č. 2, Příloha č. 3*), ale pouze zčásti.



Obr. 48 Generování CL dat

Protože se jednalo o výrobu prvního a zároveň jediného kusu, bylo nutno být přítomen u výroby této součásti. Pokud by se totiž vyskytla chyba v programu, člověk, který program vytvářel, ji rychleji nalezne a opraví. Také díky tomu nebylo potřeba vytvářet seřizovací list pro obsluhu stroje, jelikož u veškerých upnutí, kdy by mohlo dojít ke kolizi nástroje s upínačem nebo poškození součásti, byla obsluha upozorněna, jak má být upnutí provedeno. Samotná výroba součásti proběhla téměř bez problémů. Pouze u třetího upnutí došlo k mírnému dotyku nástroje s upínkou, jelikož byla umístěna blíže k obráběným plochám. Bylo tedy nutno zastavit program a upínku posunout dál od obráběných ploch. Program byl znovu spuštěn o několik řádků dřív, než byl zastaven. Po této opravě byla výroba již bez problémů a součást byla v pořádku vyrobena. Vyrobená součást s názvem střední sedlo je zobrazena na obrázku (*Obr. 49*).

Obr. 49 Vyrobené střední sedlo

5 Závěr

Cílem této práce bylo vytvořit technologickou přípravu výroby středního sedla kontrolního přípravku, v jejímž rámci byl také vytvořen program v CAM systému, aby mohlo být sedlo vyrobeno na zvoleném stroji s CNC řízením, který je součástí strojního parku zadavatele. Jelikož se jednalo o zakázku, bylo potřeba dodržet i stanovený termín pro výrobu. Jak již bylo zmíněno, výroba sedla proběhla v pořádku a zákazníkovi byla součást dodána v termínu. S tím samozřejmě souviselo i včasné naprogramování NC dat pro tuto výrobu. Bylo přitom nutno vyzkoušet i více strategií pro jednotlivé operace, aby byl strojní čas obrábění co nejnižší a kvalita povrchu dosahovala požadované tolerance. V práci jsou však uvedeny pouze strategie, které byly vybrány jako nevhodnější a použity pro výrobu součásti.

Na začátku však bylo potřeba nejdříve provést celkovou analýzu výchozího stavu součásti, která v sobě zahrnovala technologičnost konstrukce i výrobní prostředky. V této kapitole byl popsán základní tvar, který je charakterizován písmenem „V“ se značně tupým úhlem rozevření a tvarovým vybráním definovaný pomocí SPLINE ploch. Tento tvar se poté ukázal problematickým z hlediska upínání součásti při výrobě. To si vynutilo specifická řešení upnutí. Bylo také důležité, z jakého materiálu je součást vyrobena a to z plastu s označením DELRIN neboli POM-H. Na základě poznatků o materiálu získaných z internetových stránek [13], bylo možno zvolit vhodné řezné podmínky. Ještě před vlastním návrhem výroby bylo potřeba provést analýzu dostupných výrobních prostředků, kterými disponuje ZČU.

Díky této analýze mohla být navržena výroba v několika variantách, z nichž pak byla pomocí metody párového srovnávání vybrána ta nejvýhodnější. Není však vyloučeno, že mohla existovat výrobní varianta pro tuto součást, která by byla ještě výhodnější. Ale je potřeba vzít v potaz výrobní prostředky, které jsou k dispozici. Také je nutno vzít v úvahu, že se jedná o výrobu jednoho kusu, u kterého se nepředpokládá, že se jeho výroba bude opakovat. A jak již bylo uvedeno v úvodu práce, v dnešní době je velký zájem na sladění zájmů zákazníka a výrobce. Tímto zájmem jsou hlavně co nejnižší náklady výrobku, které souvisejí se strojním časem a použitými výrobními prostředky. Proto je důležitá vhodná volba výrobní varianty, která se projeví na straně zákazníka nižší cenou a na straně výrobce vyšším ziskem. Z těchto důvodů bylo potřeba klást důraz na co nejnižší výrobní náklady a zpracovat tu variantu, která vyšla jako nejvýhodnější. Závěrem je nutno uvést, že komplexní návrh výroby i s analýzou se vždy liší podle zakázky, kdy hlavním směrodatným faktorem je počet vyráběných kusů a také četnost opakování zakázky. Proto kdyby tato zakázka byla zadána jinak, například s jistotou opakování výroby tohoto kusu nebo většího počtu vyrobených kusů, bylo by velmi pravděpodobné, že nejen výrobní strategie, ale především upnutí výrobku by bylo řešeno zcela jinak a to pomocí přípravku.

Seznam použité literatury

[1] [Online]. Available: http://www.kovosvit.cz/upload/products/pdf/mcv-750-1421740450.pdf.

[2] [Online]. Available: http://www.wapfeiffer.de/Bilder/Maschinen/DECKEL%20MAHO%20DMU%2065%20monoBLOCK.jpg.

[3] [Online]. Available: http://cz.dmgmori.com/blob/123448/1d412fb6cdcb4ad4167eca1d50a199c9/pm0uk15-dmu-dmc-monoblock-series-pdf-data.pdf.

[4] [Online]. Available: http://www.technodat.cz/catia-v5.

[5] [Online]. Available: http://cs.wikipedia.org/wiki/CATIA.

[6] [Online]. Available: http://www.solidvision.cz/solidcam/.

[7] [Online]. Available: http://suomenteratuonti.fi/upload/tuote/Megavant_HC90_1.jpg .

[8] [Online]. Available: http://www.iscar.com/ecatalog/Ecat/illust_m/2868.gif .

[9] [Online]. Available: http://www.iscar.com/ecatalog/Ecat/illust_m/2076.gif .

[10] [Online]. Available: http://www.i-frezy.cz/fotky4595/fotos/_vyrp11_14407617o1.jpg.

[11] [Online]. Available: http://www.jirkaspol.cz/vysokotlake-sveraky-fresmak-rady-arnold-mat.html.

[12] [Online]. Available: http://granat-ok.ru/images/arnold/arnold_01.jpg .

[13] [Online]. Available: http://www.resinex.cz/polymerove-typy/pom.html.

[14] [Online]. Available: http://www.plasticportal.cz/image/staticke/File/priemyselne%20plasty%20katalog%20produktov.pdf.

[15] [Online]. Available: http://www.avantec.de/en/products/face-milling-cutter.html.

[16] J. HNATIK, NC technika a DP. 1, Plzeň: SmartMotion, 2012.

[17] K. Č. J. K. P. JANDEČKA, Programování NC strojů, Plzeň: ZČU, 2000.

[18] M. M. J. VRABEC, NC programování v obrábění, Praha: ČVUT, 2004.

[19] J. N. J. STANĚK, Metodika zpracování a úprava diplomových prací, Plzeň: ZČU, 2005.

Seznam použitých obrázků

Obr. 1 Součást ... 4
Obr. 2 Umístění sedel ... 4
Obr. 3 Model součásti ... 5
Obr. 4 Výkres součásti ... 6
Obr. 5 Polotovar ... 7
Obr. 6 Střední sedlo – spodní část ... 8
Obr. 7 Střední sedlo – obecný pohled ... 8
Obr. 8 MCV 750 A ... 10
Obr. 9 DMU 65 monoBLOCK ... 11
Obr. 10 Čelní válcová fréza D50 ... 15
Obr. 11 Čelní válcová fréza D20 ... 16
Obr. 12 Kulová fréza D16 VBD ... 17
Obr. 13 Kulová fréza D16 monolitní ... 17
Obr. 14 Kleštinový upínač ... 19
Obr. 15 Svěrák ARNODL mat 125 ... 20
Obr. 16 První upnutí ... 20
Obr. 17 Druhé upnutí ... 21
Obr. 18 Třetí upnutí ... 21
Obr. 19 Špatná návaznost ploch ... 24
Obr. 20 Opravená návaznost ploch ... 24
Obr. 21 Spojení polotovaru se součástí ... 25
Obr. 22 Upnutí 1 ... 25
Obr. 23 Geometrie Facing ... 26
Obr. 24 Dráhy nástroje Facing ... 26
Obr. 25 Geometrie Roughing ... 27
Obr. 26 Dráhy nástroje Roughing ... 27
Obr. 27 Strategie Drilling Deep Hole ... 28
Obr. 28 Grafická simulace výroby sražení ... 29
Obr. 29 Geometrie Reaming ... 29
Obr. 30 Analýza povrchu po prvním obrobení ... 30
Obr. 31 Upnutí 2 ... 30
Obr. 32 Geometrie Profile Contouring ... 31
Obr. 33 Dráhy nástroje Profile Contouring ... 31
Obr. 34 Geometrie Isoparametric Machining ... 32
Obr. 35 Dráhy nástroje Isoparametric Machining ... 32
Obr. 36 Upnutí 3 ... 32
Obr. 37 Strategie Facing ... 33
Obr. 38 Stategie Roughing ... 33
Obr. 39 Analýza operace Roughing ... 33
Obr. 40 Strategie Roughing frézou D20 ... 34
Obr. 41 Analýza Roughing frézou D20 ... 34
Obr. 42 Sweeping 1 ... 35
Obr. 43 Sweeping 2 ... 35
Obr. 44 Limitní kontura tvarového vybrání ... 35
Obr. 45 ZLevel dráhy nástroje ... 36
Obr. 46 Spiral milling dráhy nástroje ... 36
Obr. 47 Grafická analýza po obrobení ... 37
Obr. 48 Generování CL dat ... 37
Obr. 49 Vyrobené střední sedlo ... 38

Seznam použitých tabulek

Tabulka 1 Technické parametry MCV 750 A 10
Tabulka 2 Technické parametry DMU 65monoBLOCK 11
Tabulka 3 Seznam fréz 12
Tabulka 4 Ostatní nástroje 12
Tabulka 5 Frézy pro výrobu 15
Tabulka 6 Ostatní nástroje pro výrobu 15
Tabulka 7 Řezné podmínky frézy D50 16
Tabulka 8 Řezný podmínky frézy D20 16
Tabulka 9 Řezné podmínky kulové frézy D16 VBD 17
Tabulka 10 Řezné podmínky kulové frézy D16 monolitní 17
Tabulka 11 Řezné podmínky šroubovitého vrtáku D6,8 18
Tabulka 12 Řezné podmínky šroubovitého vrtáku D5,8 18
Tabulka 13 Řezné podmínky sražeče hran 18
Tabulka 14 Řezné podmínky výstružníku 6H7 18
Tabulka 15 Řezné podmínky strojního závitníku M8x1,5 19
Tabulka 16 Kritéria výrobních variant 23
Tabulka 17 Párové srovnávání kriterií 23

Seznam příloh

Příloha č. 1 – NC kód pro první upnutí (všité do vazby)
Příloha č. 2 – NC kód pro druhé upnutí (všité do vazby)
Příloha č. 3 – NC kód pro třetí upnutí (všité do vazby)
Příloha č. 4 – Výkres sestavy s označením *Leckage – Prüfvorrichtung* (volně vložený)
Příloha č. 5 – Výkres podsestavy s označením *Baugruppe F* (volně vložený)
Příloha č. 6 – Výkres součásti s označením pozice *F2* (volně vložený)

Příloha č. 1

NC kód pro první upnutí

(celý NC kód je umístěn na CD s označením OB_06184_1_str1)

```
0 BEGIN PGM Manufacturing Program.1 MM
1 ; Farsky
2 ; 24.11.2014   11:48:51
3 BLK FORM 0.1 Z X-96.699 Y-58.128 Z-65.3
4 BLK FORM 0.2 X102.977 Y57.314 Z50.
5 ; FR D50 L10 Z5 R0,8 AVANTEC
6 ; VR 140° D5,8 L40 E3617 1 0580
7 ; VR 140° D6,8 L49 E3617 1 0680
8 ; SR 90° D12 D2 L5 Z4 ISCAR 5645700
9 ; VY 6H7 L23 Z6 STIMZET 1484021 HSS
10 ; ;X1,25 L90 Z3-R NAREX
11 ; NASTROJ=FR D50 L10 Z5 R0,8 AVANTEC
12 ; PRUMER=   50.000000
13 ; ZAOBLENI=    0.800000
14 ; FR D50 L10 Z5 R0,8 AVANTEC
15 ; PROGRAM NA KONEC NASTROJE
16 FN 0: Q1 = 3055 ; POSUV NAJEZDOVY - 100 PROCENT
17 FN 0: Q2 = 3820 ; POSUV PRACOVNI - 100 PROCENT
18 FN 0: Q3 = 1000 ; POSUV ODJEZDOVY - 100 PROCENT
19 TOOL CALL 5 Z S3183
M6
20 L M140 MB MAX
21 L X0. Y0. FMAX
22 ;
23 ; FACING.2
24 ;
25 M3
26 L X102.977 Y-39.136 Z50. FMAX
27 L Z0.2 FMAX
28 ;
29 L Z-1.8 FQ1
30 L X76.08 Y-36.783
.
.
.
.
5694 L Z3.2 FQ1
5695 CYCL DEF 207 VRTANI ZAVITU GS NOVE ~
 Q200=5.  ;BEZPEC. VZDALENOST ~
 Q201=-14.  ;HLOUBKA ~
 Q239=1.25  ;STOUPANI ZAVITU ~
 Q203=-1.8  ;SOURADNICE POVRCHU ~
 Q204=5.  ;2. BEZPEC.VZDALENOST
5696 L X-44.947 Y-1.946 R0 FMAX M99
5697 L X52.608 Y2.314 R0 FMAX M99
5698 L Z8.2 FQ3
5699 L Z50. FMAX
5700 M5
5701 M9
5702 L M140 MB MAX
5703 L X0. Y0. FMAX
5704 END PGM Manufacturing Program.1 MM
```

Příloha č. 2

NC kód pro druhé upnutí

(celý NC kód je umístěn na CD s označením OB_06184_1_str2)

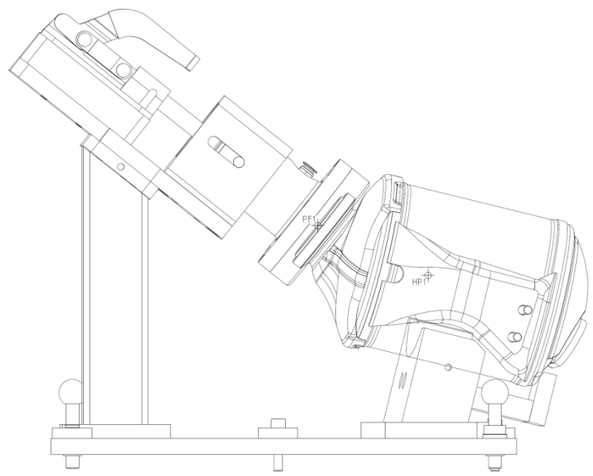
```
0 BEGIN PGM Manufacturing Program.2 MM
1 ; Farsky
2 ; 24.11.2014   12:14:15
3 BLK FORM 0.1 Z X-21.12 Y-30.757 Z53.
4 BLK FORM 0.2 X10. Y95.443 Z121.
5 ; FR D50 L10 Z5 R0,8 AVANTEC
6 ; KU D16 L10 Z1 ISCAR
7 ; NASTROJ=FR D50 L10 Z5 R0,8 AVANTEC
8 ; PRUMER=   50.000000
9 ; ZAOBLENI=    0.800000
10 ; FR D50 L10 Z5 R0,8 AVANTEC
11 ; PROGRAM NA KONEC NASTROJE
12 FN 0: Q1 = 3055 ; POSUV NAJEZDOVY - 100 PROCENT
13 FN 0: Q2 = 3820 ; POSUV PRACOVNI - 100 PROCENT
14 FN 0: Q3 = 1000 ; POSUV ODJEZDOVY - 100 PROCENT
15 TOOL CALL 5 Z S3183
M6
16 L M140 MB MAX
17 L X0. Y0. FMAX
18 ;
19 ; PROFILE CONTOURING.2
20 ;
21 M3
22 L X1. Y95.443 Z121. FMAX
23 L Z74. FMAX
24 ;
25 L Z69. FQ1
26 L Y68.443
27 L Y-3.757 FQ2
28 L Y-30.757 FQ3
29 L Z74.
30 L X-19. Y95.443 FMAX¨
.
.
.
.
474 L X-21.12 Z53.394 FQ2
475 L Y49.992 FQ3
476 L Z58.394
477 L X5. Y48. Z58. FMAX
478 L Z53. FQ1
479 L X0.
480 L X-21.12 FQ2
481 L Y53. FQ3
482 L Z58.
483 L Z121. FMAX
484 M5
485 M9
486 L M140 MB MAX
487 L X0. Y0. FMAX
488 END PGM Manufacturing Program.2 MM
```

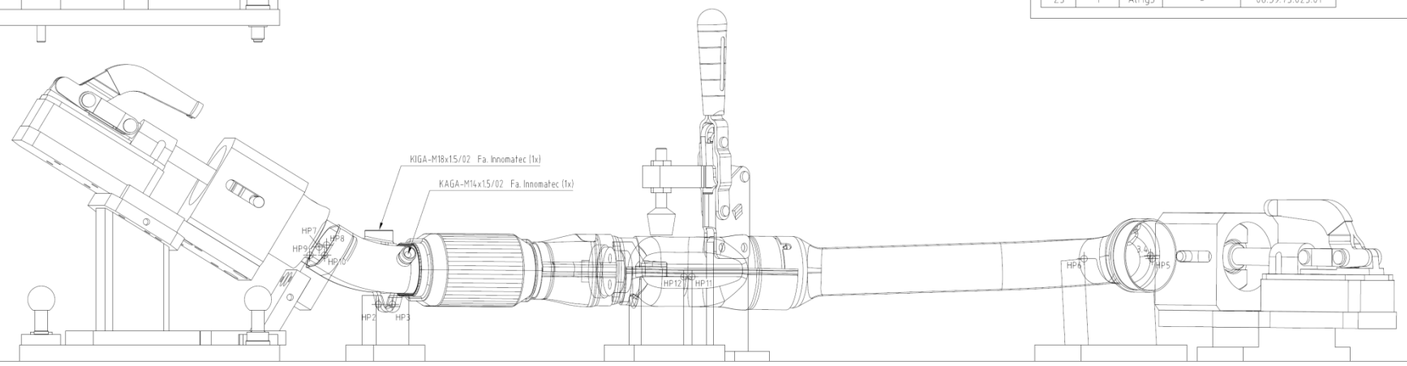
Příloha č. 3

NC kód pro třetí upnutí

(celý NC kód je umístěn na CD s označením OB061841st3)

```
0 BEGIN PGM Manufacturing Program.3 MM
1 ; Farsky
2 ; 24.11.2014   13:57:20
3 BLK FORM 0.1 Z X-26.748 Y-77.991 Z26.6
4 BLK FORM 0.2 X126.567 Y55.07 Z113.
5 ; FR D50 L10 Z5 R0,8 AVANTEC
6 ; FR D20 (19,85) L10 Z3 R2(2,4) SAFETY
7 ; KU D16 L14 Z2 ISCAR 32C16H140
8 ; NASTROJ=FR D50 L10 Z5 R0,8 AVANTEC
9 ; PRUMER=   50.000000
10 ; ZAOBLENI=    0.800000
11 ; FR D50 L10 Z5 R0,8 AVANTEC
12 ; PROGRAM NA KONEC NASTROJE
13 FN 0: Q1 = 3055 ; POSUV NAJEZDOVY - 100 PROCENT
14 FN 0: Q2 = 3820 ; POSUV PRACOVNI - 100 PROCENT
15 FN 0: Q3 = 1000 ; POSUV ODJEZDOVY - 100 PROCENT
16 TOOL CALL 5 Z S3183
M6
17 L M140 MB MAX
18 L X0. Y0. FMAX
19 ;
20 ; FACING.1
21 ;
22 M3
23 L X58.231 Y-77.991 Z113. FMAX
24 L Z74. FMAX
25 ;
26 L Z69. FQ1
27 L X45.556 Y-54.151
28 L X7.148 Y-74.573 FQ2
29 L X-26.748 Y-10.825
30 L X50.068 Y30.019
.
.
.
.
49474 L X0.
49475 L X6.514 FQ2
49476 L X7.514
49477 L Y-58. FQ3
49478 L Z58.
49479 L Z113. FMAX
49480 M5
49481 M9
49482 L M140 MB MAX
49483 L X0. Y0. FMAX
49484 END PGM Manufacturing Program.3 MM
```





Z=0.00

A

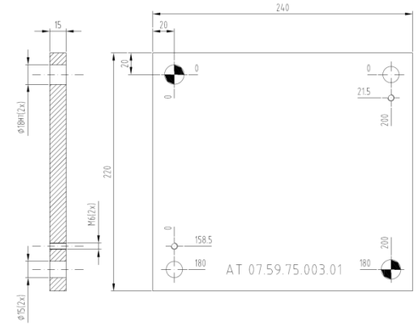
25

Lehrenunterbau: 2 Aluleisten 20 x 30 x 1400

1 Z

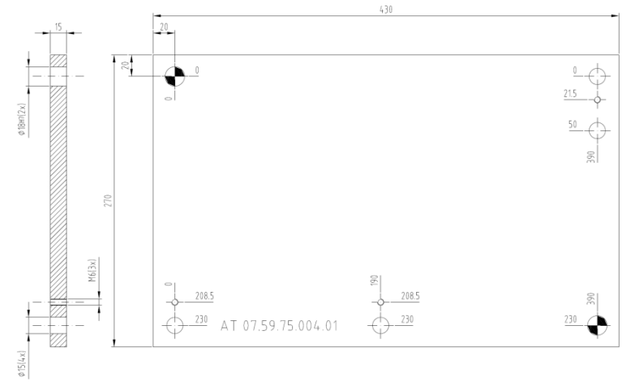
2 Z

Pos. Z3

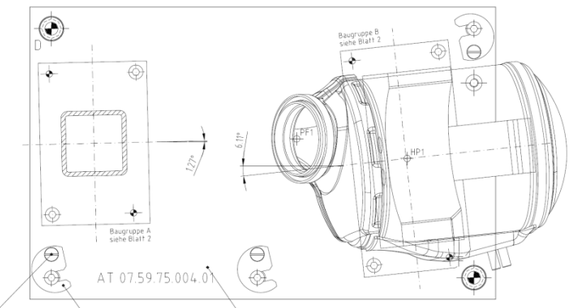


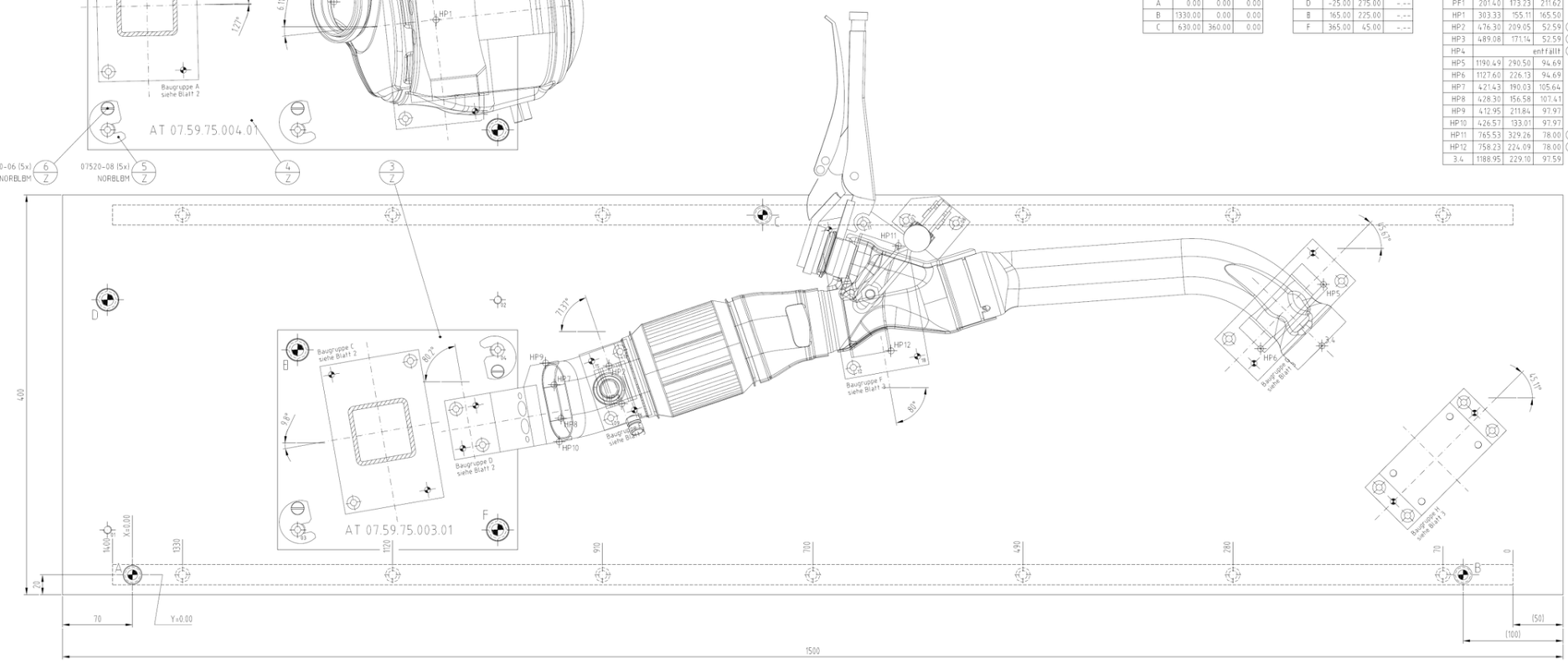
Position	Stückzahl	Material	Bemerkung	Betriebsmittel-Nummer
Z3	1	AlMg5	-	06.59.75.023.01

Pos. Z4



Position	Stückzahl	Material	Bemerkung	Betriebsmittel-Nummer
Z4	1	AlMg5	-	06.59.75.023.01





Bezugspunkte
Ø16H7 mit Senkung Ø19x3±0.05

	X	Y	Z
A	0.00	0.00	0.00
B	1330.00	0.00	0.00
C	630.00	360.00	0.00

AT-Buchsen
Ø18H7 mit Senkung Ø23x4.5±0.1

	X	Y	Z
D	-25.00	275.00	----
B	165.00	225.00	----
F	365.00	45.00	----

Vorrichtungskoordinaten

	X	Y	Z	
PF1	201.40	173.23	211.62	
HP1	303.33	155.11	165.50	
HP2	476.30	209.05	52.59	01
HP3	489.08	171.14	52.59	01
HP4		entfällt		01
HP5	1190.49	290.50	94.69	
HP6	1127.60	226.13	94.69	
HP7	421.43	190.03	105.64	
HP8	428.30	156.58	107.41	
HP9	412.95	211.84	97.97	
HP10	426.57	133.01	97.97	
HP11	765.53	329.26	78.00	01
HP12	758.23	224.09	78.00	01
3.4	1188.95	229.10	97.59	

Bohrungskoordinaten

	X	Y	Ø	
M8 HELICOIL	-25.00	45.00	01	
	365.00	275.00	02	
	165.00	45.00	03	
	365.00	225.00	04	
	----	----	05	01
	----	----	06	01
M8	773.22	354.50	07	01
	823.15	351.77	08	01
	478.06	156.87	09	01
	487.31	223.31	10	01
	730.74	351.25	11	01
	720.58	207.30	12	01
Ø6H7	----	----	13	
	----	----	14	
	458.89	213.73	15	01
	501.75	164.86	16	01
	704.61	325.72	17	
	744.61	295.72	18	

Originalkoordinaten

Theoretische Koordinaten						
Punkt	x	⌖	y	⌖	z	⌖
PF1	229.04		312.61		-18.38	
3.4	1197.39		110.98		-132.41	

Betriebsmittelschilder angebracht

Oberspächer GmbH & Co. KG	
Fabrikschild	Leckage-Prüfvorrichtung
Semi-Nr.	06.59.75.023.01
Teile-Nr.	11.23.423.68.0.00
Hersteller Eigentum	Ø Ø 2014 Monat / Jahr

Dieses Schild nur bei Verkaufseinheit

KD.-Nr.		JB.-Nr. 11.23.423.68.0.00		
Kunden Änd.-Nr.	Datum	JB Änd.-Nr.	Datum	SN
N1295	22.11.13	B	27.11.13	

B	01	15.04.14	ensch	Zeichnung geändert
B	00	05.03.14	ensch	Zeichnung erstellt
Produkt Info	Bem Info	Datum	Bearb	Kunden-Änd.-Nr / Bemerkungen

Konstruktionsstand Betriebsmittel bezüglich Produkt-Änderungsindex

Semi-Nr. 06.59.75.023.01 | Teile-Nr. 11.23.423.68.0.00

	Datum	Prinzip i. O.
Planung		
Konstruktion		
Kontrolle		

alle Bohrungen

alle Passbohrungen

A, B und C Bezugspunkte

Fertigung nach Oberspächer-Standards

Gesamtzeichnung V-14.0589

war V-14.0257

Zust. Bericht	Änd.-Nr.	Datum	Bearb.	Gepr.	Norm	Kunden-Änd.-Nr. / Bemerkungen	Zust.	Datum
00	01	15.04.14	ensch			Baugr. F: Pos. F1.2.3.6.7.8+9 geändert. Parkplatz für AT 07.59.75.003.01 auf Vorrichtungsgrundplatte entfernt. Baugr. B: Pos. B1+2 geändert. Hilfsmesspunkte und Bohrungen in Vorrichtungsgrundplatte geändert.		

CAD-Modell:

	Datum	Name
Plot		
Quelle		
Bearb.	05.03.2014	VOHEMA
Gepr.		
Norm		
Ers. f.		
Ers. d.		

Zul. Abweichung für Maße ohne Toleranzangabe: ISO 2768-c

Werkstoff: ----- Gewicht:

Benennung: Leckage-Prüfvorrichtung TB LU AGA BINTBILIG 0M651 RL

Maßstab: 1:2

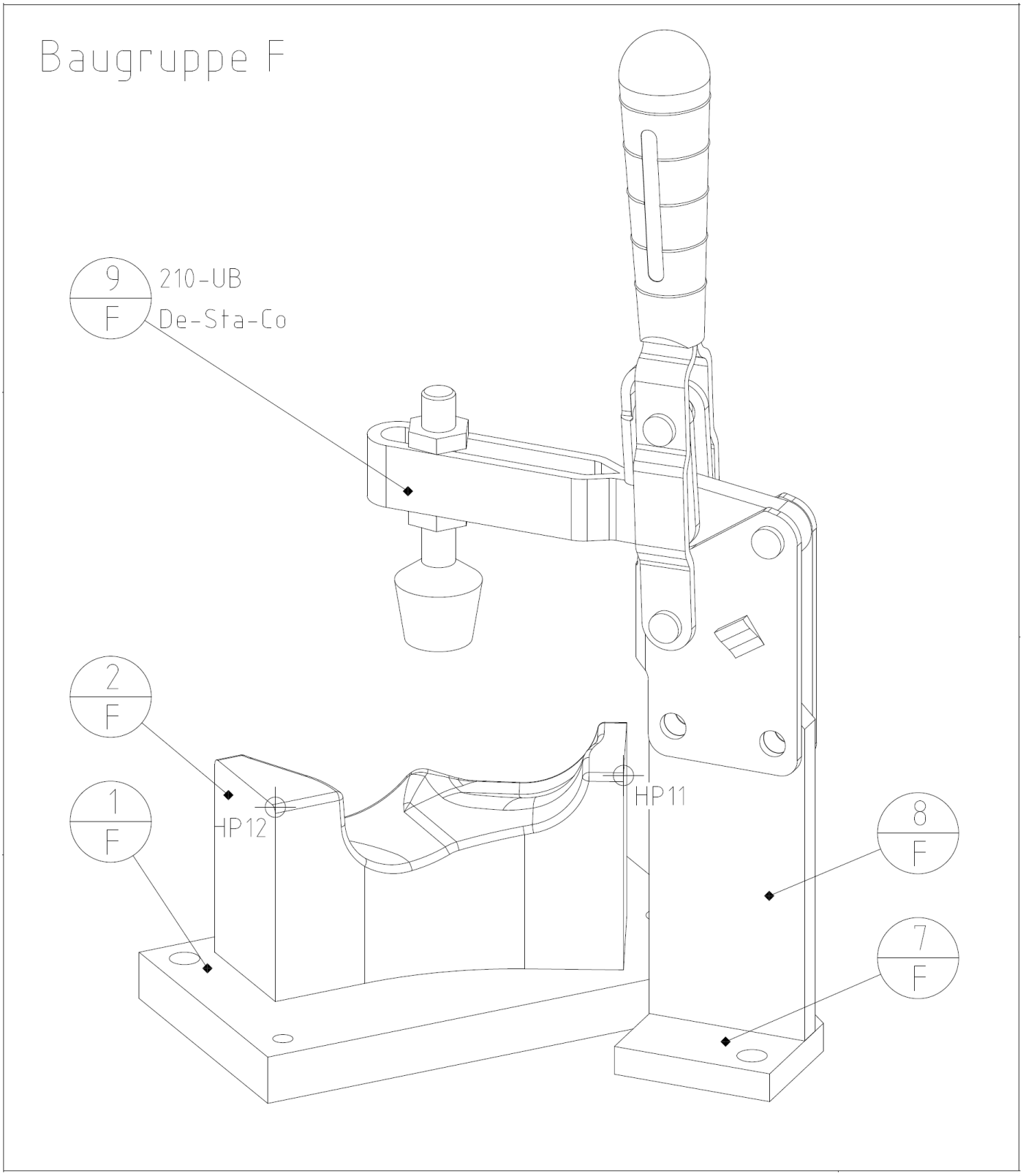
Zeich.-Nr.: 06.59.75.023.01

11.23.423.68.0.00

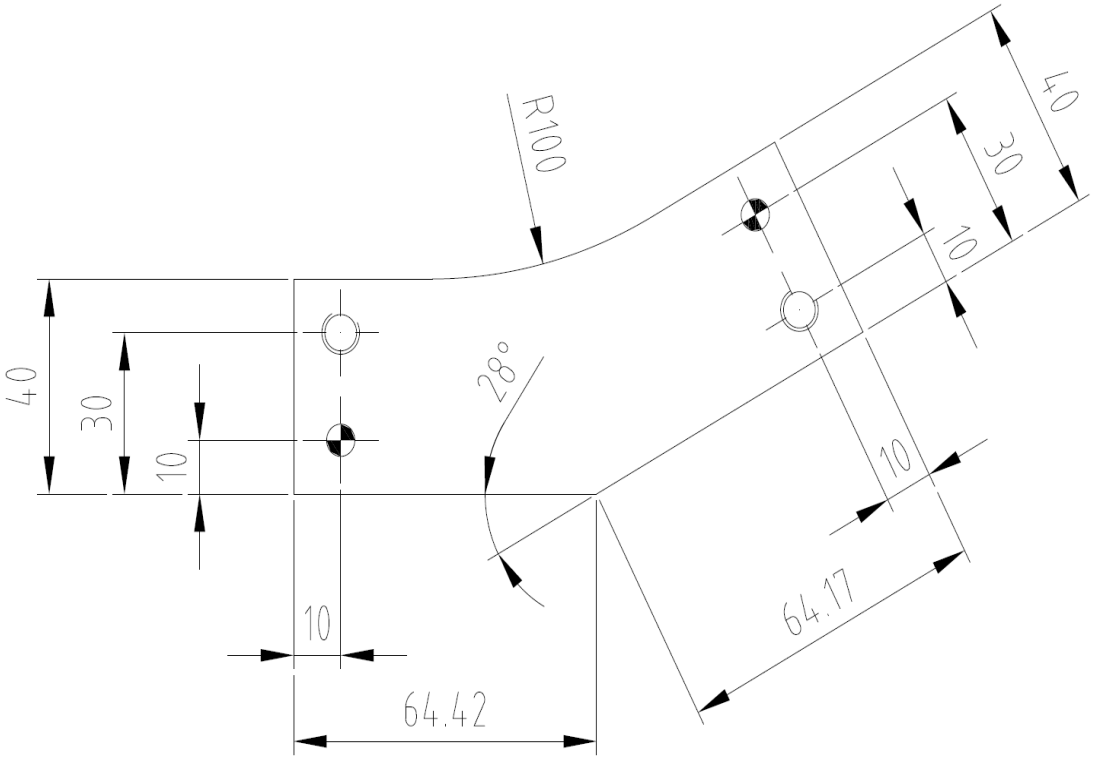
Oberspächer

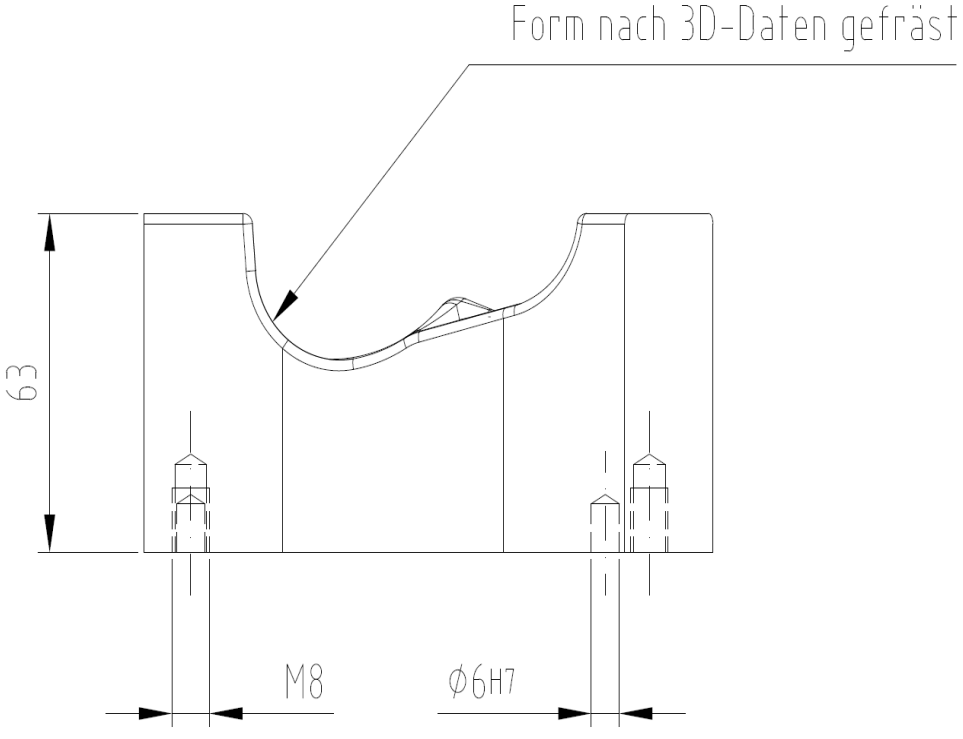
Blatt 1/3

Baugruppe F



Pos. F2 (01)





Position	Stückzahl	Material	Bemerkung	Betriebsmittel-Nummer
F2	1	DELRIN	-	06.59.75.023.01