

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI  
**FAKULTA STROJNÍ**

Studijní program: B 2341 Strojírenství

Studijní zaměření: Programování NC strojů

# **BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

Návrh technologie výroby střížníku pro akustické výplně automobilů

Autor: **Martin Slanec**

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

Akademický rok 2015/2016

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

Fakulta strojní

Akademický rok: 2015/2016

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Martin SLANEC**

Osobní číslo: **S15B0176K**

Studijní program: **B2341 Strojírenství**

Studijní obor: **Programování NC strojů**

Název tématu: **Návrh technologie výroby střížníku pro akustické výplně automobilů**

Zadávací katedra: **Katedra technologie obrábění**

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

1. Technologičnost konstrukce součásti
2. Analýza výrobních prostředků
3. Návrh výroby
4. Tvorba programu
5. Závěr

Rozsah grafických prací: **dle potřeby**  
Rozsah kvalifikační práce: **30 - 40 stran**  
Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná**  
Seznam odborné literatury:

- **JANDEČKA, K. , ČESÁNEK, J. , KOŽMÍN, P. : Programování NC strojů. Plzeň: ZČU, 2000. ISBN 80- 7082- 692- 4**
- **VRABEC, M., MÁDL,J.: NC programování v obrábění. Praha : ČVUT, 2004. ISBN 80-01-03045-8**
- **ŽÁRA, J., BENEŠ, B., SOCHOR, J., FELKEL, P.: Moderní počítačová grafika. Brno: Computer Press, 2004. ISBN 80- 251- 0454- 0**

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: **18. října 2015**  
Termín odevzdání bakalářské práce: **20. května 2016**



Doc. Ing. Milan Edl, Ph.D.  
děkan



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

V Plzni dne 20. října 2015

## 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 chtěl poděkovat vedoucímu bakalářské práce Ing. Jiřímu Vyšatovi, Ph.D. za cenné rady, vstřícné jednání a odborné vedení při psaní této práce. Dále bych chtěl poděkovat kolektivu technologů ze společnosti Strojírna Vimperk s. r. o. za poskytnuté informace, které byly využity při psaní této práce.

# ANOTAČNÍ LIST BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

<b>AUTOR</b>	Příjmení Slanec	Jméno Martin		
<b>STUDIJNÍ OBOR</b>	B2341 „Programování NC strojů“			
<b>VEDOUCÍ PRÁCE</b>	Příjmení (včetně titulů) Ing. Vyšata, Ph.D.	Jméno Jiří		
<b>PRACOVIŠTĚ</b>	ZČU - FST - KTO			
<b>DRUH PRÁCE</b>	<b>DIPLOMOVÁ</b>	<b>BAKALÁŘSKÁ</b>	<b>Nehodící se škrtněte</b>	
<b>NÁZEV PRÁCE</b>	Návrh technologie výroby střížníku pro akustické výplně automobilů			

<b>FAKULTA</b>	strojní	<b>KATEDRA</b>	KTO	<b>ROK ODEVZD.</b>	2016
----------------	---------	----------------	-----	------------------------	------

## POČET STRAN (A4 a ekvivalentů A4)

<b>CELKEM</b>	54	<b>TEXTOVÁ ČÁST</b>	44	<b>GRAFICKÁ ČÁST</b>	10
---------------	----	---------------------	----	--------------------------	----

<p style="text-align: center;"><b>STRUČNÝ POPIS (MAX 10 ŘÁDEK)</b></p> <p><b>ZAMĚŘENÍ, TÉMA, CÍL POZNATKY A PŘÍNOSY</b></p>	<p>Tato bakalářská práce je zaměřena na návrh technologie výroby střížníku střížného nástroje. Její součástí je analýza technologičnosti součástí a analýza výrobních prostředků. Dále je zde uveden způsob tvorby strategie obrábění v CAM systému Catia V5.</p>
<p style="text-align: center;"><b>KLÍČOVÁ SLOVA</b></p> <p style="text-align: center;"><b>ZPRAVIDLA JEDNOSLOVNÉ POJMY, KTERÉ VYSTIHUJÍ PODSTATU PRÁCE</b></p>	<p style="text-align: center;">Tvarově složitá součást, CNC, CAM, CAD, obrábění, střížník, frézování, Catia, analýza, upnutí, vrtání, řezná rychlost</p>

## SUMMARY OF BACHELOR SHEET

<b>AUTHOR</b>	Surname Martin	Name Slanec
<b>FIELD OF STUDY</b>	B2341 “Programming of NC Machines“	
<b>SUPERVISOR</b>	Ing. Vysata, Ph.D	Name Jiri
<b>INSTITUTION</b>	ZČU - FST - KTO	
<b>TYPE OF WORK</b>	<del>DIPLOMA</del>	<b>BACHELOR</b>  <b>Delete when not applicable</b>
<b>TITLE OF THE WORK</b>	Proposal of production technology for cutting tool for acoustic filling in automobiles	

<b>FACULTY</b>	Mechanical Engineering	<b>DEPARTMENT</b>	Machining Technology	<b>SUBMITTED IN</b>	2016
----------------	------------------------	-------------------	----------------------	---------------------	------

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

<b>TOTALLY</b>	54	<b>TEXT PART</b>	44	<b>GRAPHICAL PART</b>	10
----------------	----	------------------	----	-----------------------	----

<b>BRIEF DESCRIPTION</b>  <b>TOPIC, GOAL, RESULTS AND CONTRIBUTIONS</b>	This work is focused on the proposal of production technology for cutting tool. The work includes analysis of technological shape of component and analysis of the means of production. Part of the work is also a way of creating machining strategy in the software Catia V5.
<b>KEY WORDS</b>	Dimensionally complicated part, CNC, CAD, CAM, machining, milling, analysis, camping, drilling, cutting speed

# Obsah

1. Úvod .....	10
1.1 Podstata práce .....	10
2. Analýza technologičnosti součásti.....	13
2.1 3D modely a výkresová dokumentace .....	13
2.2 Tvar a rozměr součásti .....	14
2.3 Materiál .....	15
2.4 Celková rozvaha o technologičnosti součásti .....	15
3. Analýza výrobních prostředků.....	17
3.1 Stroje .....	17
3.1.1 Hüller Hille NBH 630 .....	17
3.1.2 Hüller Hille NBH 230 .....	18
3.2 Použité nástroje .....	20
3.3 Ostatní technické prostředky.....	20
4. Návrh výroby.....	21
4.1 Návrh strategie obrábění .....	22
4.2 Návrh řezných podmínek .....	24
5. Tvorba programu .....	27
5.1 Import modelu a základní nastavení softwaru Catia V5 .....	27
5.2 Tvorba obráběcích strategií pro první stranu součásti .....	28
5.2.1 Přerovnání čelní roviny a hrubování obvodu .....	29
5.2.2 Hrubování uvnitř součásti.....	30
5.2.3 Hrubování malých rádiusů .....	31
5.2.4 Dokončení tvaru prvního upnutí.....	32
5.2.5 Vrtání a závitování .....	33
5.3 Tvorba obráběcích strategií pro druhou stranu součásti .....	34
5.3.1 Hrubování nástrojem $\varnothing 66$ mm .....	34
5.3.2 Hrubování nástrojem $\varnothing 24$ mm .....	35
5.3.3 Hrubování kulovou frézou R8 .....	36
5.3.4 Dokončování nahrubo .....	36
5.3.5 Dokončování tvarových ploch.....	38
5.3.6 Frézování malých prostorů .....	39
5.3.7 Dokončování rovinných a vertikálních ploch.....	39
5.3.8 Vrtání děr $\varnothing 10$ a $\varnothing 16H7$ .....	40
5.3.9 Tvorba závitu M16 .....	41
5.4 Export programu do NC dat.....	42
6. Závěr .....	43
Seznam použité literatury .....	44
Seznam příloh.....	44

## Seznam obrázků

Obr. 1: Kompletní střížný nástroj.....	11
Obr. 2: Spodní část nástroje .....	11
Obr. 3: Horní část nástroje .....	12
Obr. 4: Vystřižovaná součást .....	12
Obr. 5: Část výrobního výkresu .....	13
Obr. 6: Model součásti .....	14
Obr. 7: Boční pohled .....	15
Obr. 8: Problematická oblast.....	16
Obr. 9: Stroj Hüller Hille NBH 630 [3] .....	17
Obr. 10: Hüller Hille NBH 230 [4] .....	18
Obr. 11: Magnet NEO 250 [6] .....	21
Obr. 12: Sloupový jeřáb [7].....	21
Obr. 13: Upínač Norelem [5] .....	21
Obr. 14: Upnutí po otočení.....	22
Obr. 15: Upnutý polotovár na přípravku.....	22
Obr. 16: Dialogové okno - Part Operation .....	27
Obr. 17: Dialogové okno - Nastavení parametrů strategií .....	28
Obr. 18: Dráha nástroje při hrubování obvodu .....	29
Obr. 20: Dráha nástroje při hrubování uvnitř součásti .....	30
Obr. 19: Fréza D24 [9] .....	30
Obr. 21: Simulace obrábění.....	31
Obr. 22: Fréza s pájenými břity.....	31
Obr. 23: Dráhy nástroje při konturování .....	32
Obr. 24: Korekce nástroje [10].....	32
Obr. 25: Dialogové okno vrtání.....	33
Obr. 26: Analýza rozměrů.....	34
Obr. 27: Obrobek po hrubování nástrojem $\varnothing 66$ mm .....	35
Obr. 28: Dohrubování nástrojem $\varnothing 24$ mm .....	35
Obr. 30: Dráhy kulové frézy .....	36
Obr. 29: Kulová fréza [11] .....	36
Obr. 31: Problematická oblast.....	37
Obr. 33: Dialogové okno - Sweeping.....	37
Obr. 32: Dialogové okno - ZLevel .....	37
Obr. 34: Dráhy nástroje při použití funkce Sweeping.....	38
Obr. 35: Analýza rozměrů po dokončení tvarových ploch .....	39
Obr. 36: Dráhy při použití funkce Spiral milling .....	39
Obr. 37: Analýza rozměrů po dokončení frézování .....	40
Obr. 38: Analýza rozměrů při plně obrobene součásti.....	41
Obr. 39: Dialogové okno - Machine Editor.....	42
Obr. 40: Dialogové okno - Generate NC Output in Batch Mode.....	42



## Seznam tabulek

Tabulka 1: Vlastnosti stroje Hüller Hille NBH 630 [8] .....	19
Tabulka 2: Vlastnosti stroje Hüller Hille NBH 230 .....	19
Tabulka 3: Nástroje pro obrábění.....	20
Tabulka 4: Řezná rychlost pro nástroj $\varnothing 100$ mm [11].....	24
Tabulka 5: Volba posuvu na jeden zub nástroje [11].....	25
Tabulka 6: Korekce posuvu na zub [11] .....	25
Tabulka 7: Řezné podmínky nástrojů.....	26

## Přehled použitých zkratk a symbolů

$v_c$	Řezná rychlost
$n$	Otáčky
$f_z$	Posuv na zub
$a_p$	Hloubka řezu
$a_e$	Pracovní záběr nástroje (velikost bočního přísuvu)
*.stp	Formát souboru s 3D modelem součásti
*.pdf	Formát souboru s výkresem součásti
k. č.	Katalogové číslo
VBD	Vyměnitelná břitová destička
CNC	Computer Numerical Control (stroj řízený počítačem)
CAM	Computer Assisted Machining (počítačově odporované obrábění)
CAD	Computer Assisted Design (počítačově podporované modelování)
3D	Prostorový tvar
$\varnothing$	Průměr
°	Stupeň
%	Procento
M12	Značení metrického závitu
MPa	Megapascal
HB	Tvrдость podle Brinella

# 1. Úvod

Při podnikání v oblasti výroby je cílem generování co nejvyššího finančního zisku. Výrobní prostředky a technologie na těchto prostředcích použité nám zejména ovlivňují výsledný zisk. Je tedy zřejmé, že podnikatel by měl využívat co nejvíce svých výrobních kapacit, a pokud je to potřebné a ekonomicky výhodnější, využít externí výrobu v rámci kooperace s jinou firmou. V některých případech kooperací snížíme náklady na výrobu a tím můžeme snížit cenu finálního výrobku. Toto opatření může zvýšit konkurenceschopnost firmy.

Pokud podnikáme ve výrobě s CNC stroji, musíme brát v úvahu nutnost kvalifikovanosti zaměstnanců. Náklady na kvalifikované zaměstnance mohou nepříznivě ovlivnit ekonomičnost výroby. V případě sériové výroby klesá nutnost kvalifikace zaměstnanců a tím klesá jejich ekonomická náročnost. V případě kusové výroby je tedy zřejmé, že zaměstnanci obsluhující CNC stroje musí být kvalifikovanější, než při sériové výrobě. Při výrobě tvarově složitých součástí se tedy tomuto faktoru nevyhneme. Tvarově složité součásti by byly pravděpodobně nevyrobitelné na ručních strojích. Příkladem takové součásti je obrobek, jehož technologie výroby je zpracována v rámci této práce.

Jedná se o část střížného nástroje pro vystřihování akustických výplní automobilů. Přesněji o pohyblivou horní část nástroje, tedy o střížník. Tento nástroj byl konstruován v rámci projektu investice do rozvoje vzdělávání na katedře konstruování strojů (KKS) na Západočeské univerzitě v Plzni. Smyslem projektu byl návrh kompletního střížného nástroje s horkými noži pro vystřihování akustických výplní automobilů. Vystřižený tvar bude plnit funkci zvukové izolace. Jedná se tedy o tvarovou výplň dutin karoserie. Přesnější informace o funkci a umístění vystřižené součásti nebyla sdělena.

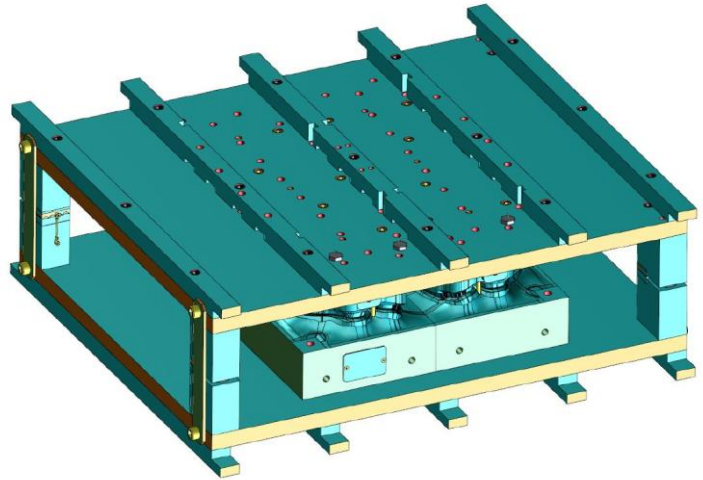
## 1.1 Podstata práce

Hlavním cílem této práce je návrh výroby střížníku, který je součástí kompletního nástroje, dle dodaného 3D modelu a dle výkresové dokumentace. Těžištěm práce je vytvoření vhodné technologie obrábění v systému Catia s ohledem na co možná nejnižší ekonomickou náročnost. Zadáním práce nebylo fyzické obrobění součásti, ale požadavek byl pouze na návrh strategie obrábění, tedy práce bude ukončena po vygenerování NC dat.

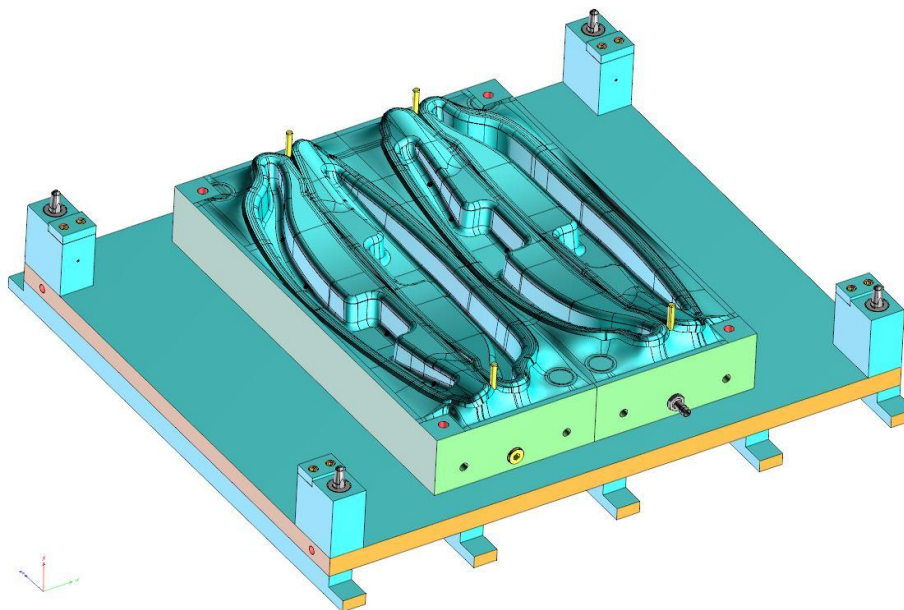
Díky skutečnosti, že autor této práce je zaměstnancem společnosti Strojírna Vimperk s.r.o., byla mu umožněna konzultace s kolegy z oblasti technologie výroby. Do této práce byla snaha zapojit i osobní zkušenosti autora práce, které získal z pozice kontrolora kvality.

Pro ujasnění představy o součásti, pro kterou byl vznesen požadavek na vytvoření výrobní technologie, je přiložen obrázek s kompletním střížným nástrojem. Tento nástroj je k vidění na obrázku 1.

Pro detailnější zobrazení konstrukce nástroje je dále přiložena odděleně horní a dolní část nástroje. Na obrázku 2 je k vidění spodní část nástroje. Na spodní části nástroje se nacházejí dvě střížnice. Kompletní nástroj se skládá ze dvou střížníků a dvou střížnic. Nástroj vystřihne na jeden zdvih čtyři součásti.

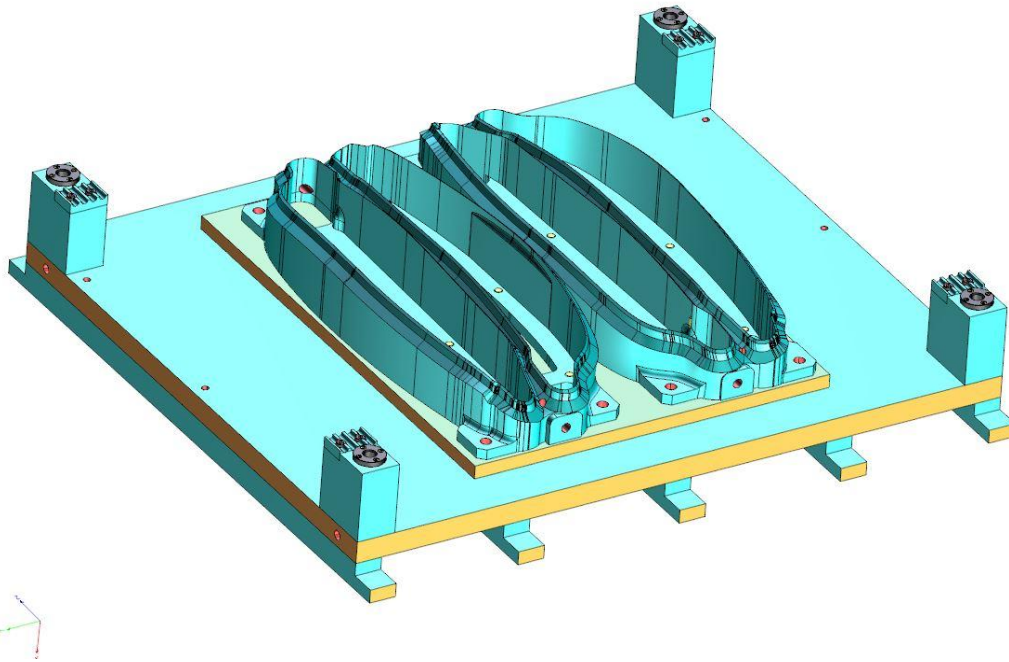


*Obr. 1: Kompletní střížný nástroj*



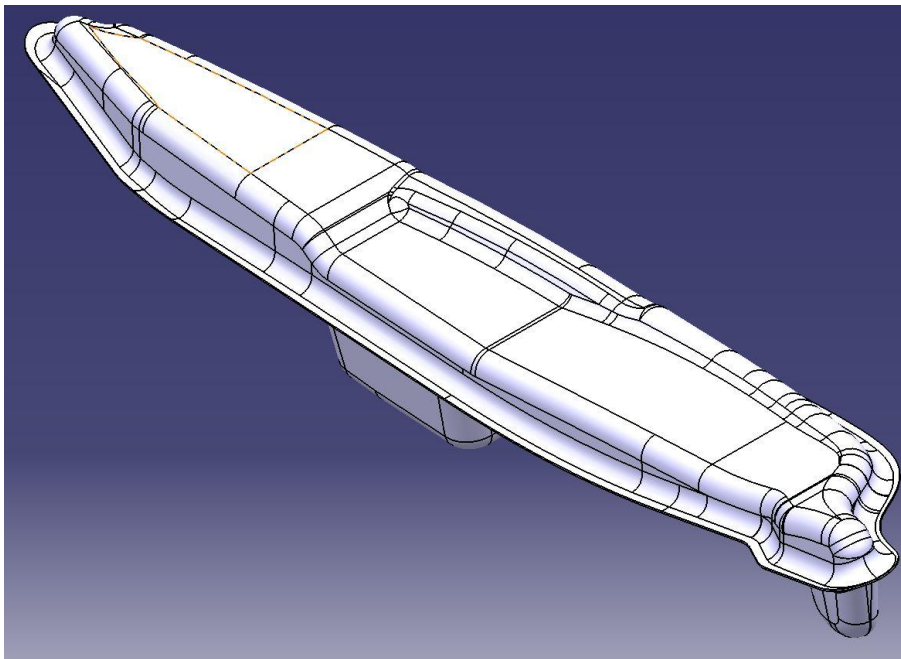
*Obr. 2: Spodní část nástroje*

V práci bude pojednáváno pouze o levém střížníku, který je k vidění na levé straně obrázku 3. Druhý střížník by vznikl zrcadlením drah obrábění levého střížníku. Při vytvoření strategie zrcadlením se musí vzít v potaz změna způsobu obrábění. Touto změnou se rozumí změna způsobu obrábění ze sousledného na nesousledné a opačně. Tato změna může zasáhnout do změny na kvalitě zrcadleného střížníku.



*Obr. 3: Horní část nástroje*

Bohužel se nepodařilo zjistit přesné umístění a funkci vystřiženého dílu v automobilu. Přesné umístění této akustické výplně v rámci automobilu je však pro tuto práci nepodstatné. Byl získán alespoň model vystřižené součásti, tento 3D model je k vidění na obrázku 4.



*Obr. 4: Vystřižovaná součást*

## 2. Analýza technologičnosti součásti

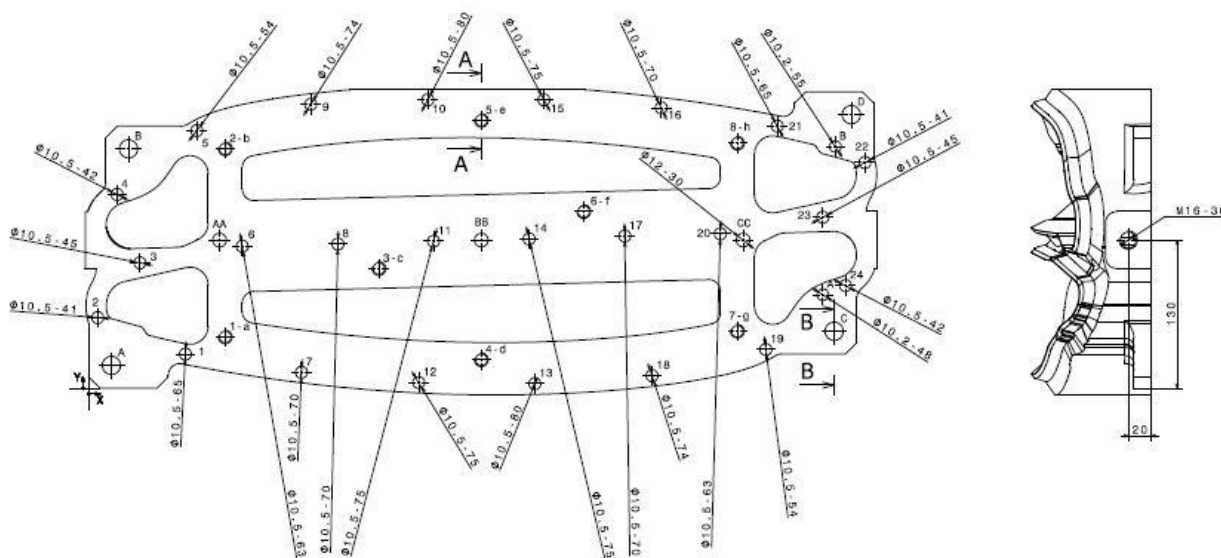
Před samotným výběrem výrobních prostředků a použitých jednotlivých technologií, je vhodné podrobit součást jednotlivým analýzám, tedy zjistit výchozí stav problému při analýze součásti v různých pohledech s ohledem na danou problematiku.

### 2.1 3D modely a výkresová dokumentace

Od KKS byl dodán 3D model střižníku ve formátu \*.stp a výkres ve formátu \*.pdf. Výkres byl dodán pouze pro vrtání otvorů ze spodní strany součásti. Pro ostatní tvar součásti nebyla výkresová dokumentace zpracována. Při takto složitém obrobku se předpokládá, že tvorba technologie obrábění bude vytvořena dle CAD dat, proto nebyla vytvořena další výkresová dokumentace.

Na výrobním výkresu nebyly zakótovány žádné tolerované délkové rozměry, ani přesné otvory, ani jejich tolerance polohy. Tento fakt byl považován za chybu ve výrobních výkresech a po konzultaci na KKS bylo sjednáno, že na obrobku budou čtyři ustavovací otvory s tolerancemi H7.

3D model byl importován do CAD/CAM systému Catia V5-6R2013<sup>1</sup>. Při importování souboru z formátu \*.stp, nedošlo k žádným problémům, tudíž žádné části na obrobku nemusely být dodatečně upravovány. Tímto byl vytvořen souboru formátu \*.CATPart. Objemové součásti se v systému Catia ukládají pod tímto formátem. Následně byl vytvořen soubor ve formátu \*.CATProcess, který je formátem pro CAM v tomto systému.



Obr. 5: Část výrobního výkresu

<sup>1</sup> Označení verze softwaru Catia

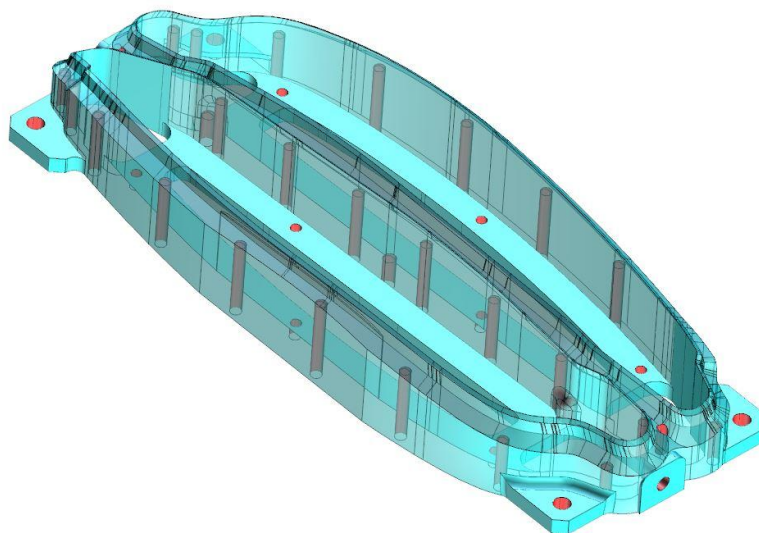
## 2.2 Tvar a rozměr součásti

Základním tvarem střížníku je kvádr o rozměrech 696 x 268 x 110 mm (vnější rozměry dle výkresové dokumentace). Součást se dále skládá ze dvou vybrání, které jsou proti sobě zrcadlově identické. Tato vybrání přechází do střížné hrany.

Na CAD modelu lze nalézt vnitřní ostré kouty, které není možné běžným frézováním dokončit. Tyto vnitřní ostré kouty se ale nenachází na funkčních plochách obrobku, budou tedy dokončeny jen do nejmenšího požadovaného rádiusu.

Minimální velikost rádiusu je R3. Tato velikost byla doporučena konstruktéry tohoto nástroje z důvodu vytvoření alespoň základního tvaru vnitřních koutů v blízkosti střížné hrany, a tím zajištění správného fungování nástroje. Další faktory při volbě velikosti minimálního rádiusu pro vnitřní kouty vznikly při tvorbě návrhů výroby. Nástroje větší než  $\varnothing 6$  mm by zanechávaly příliš velké přídavky materiálu v těchto částech součásti. Jelikož dokončování takovýchto radiusových ploch je velice ekonomicky náročné a zasahuje ve značné míře do celkové ceny obrobku, je snaha tyto malé rádiusy co nejvíce eliminovat. Při spolupráci s konstruktéry nástroje je snaha vytvoření kompromisu mezi technologičností tvaru pro obrábění a mezi požadovaným tvarem kvůli funkčnosti součásti v celkovém nástroji. Na tyto problematické části bude podrobněji poukázáno v další části práce.

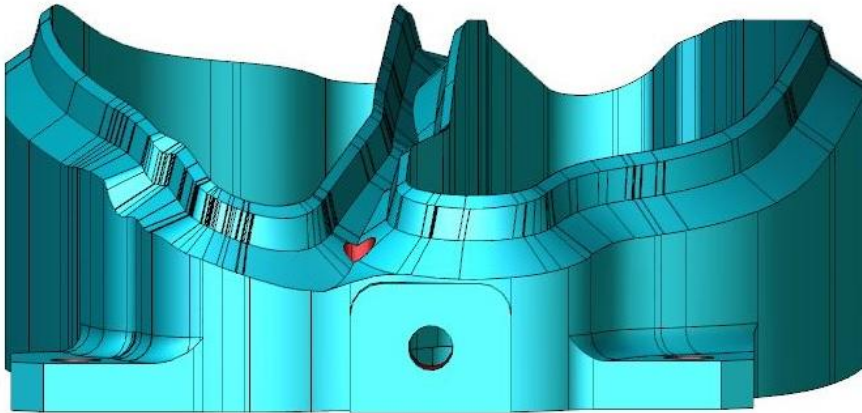
Ve spodní části se nachází mnoho otvorů pro vložení topného systému pro vyhřívání nástroje ( $\varnothing 10,5$  mm). Nástroj bude vyhříván za pomoci odporových topných patron. Dále jsou zde závity M12 pro upevnění součásti k základní desce. Dále jsou na součásti otvory  $\varnothing 16H7$  pro přesné ustavení součásti za pomoci kolíků k základní desce. Při výrobě těchto otvorů je potřeba dbát zvláštní pozornosti. Pokud by byly tyto otvory dokončeny běžným vrtáním bez vystružování, je velice pravděpodobné, že by nebyla splněna požadovaná tolerance H7 ani tolerance na polohu otvoru. Je také dále nutné uvažovat o tom, z jaké strany bude výhodné tyto tolerované otvory vytvořit.



*Obr. 6: Model součásti*



Na boční části součásti se nachází závit M16, tento závit je k vidění na středu obrázku 7.



Obr. 7: Boční pohled

### 2.3 Materiál

Materiál součásti je definován v popisovém poli výrobního výkresu. Jedná se o materiál 19 520. Jeho ekvivalentní označení dle W.Nr. je 1.2312.

Jedná se o legovanou nástrojovou ocel třídy 19, která je legovaná chromem, manganem a molybdenem a je s obsahem síry. Síra zaručuje výbornou obrobitelnost i v zušlechtěném stavu. Díky vysoké schopnosti zušlechtění do hloubky materiálu je zaručena rovnoměrná pevnost v celém průřezu. Tato ocel se dodává již v zušlechtěném stavu a není ji tedy nutné dále tepelně zpracovávat. Pevnost tohoto materiálu je 900 – 1100 MPa, tvrdost max. 280 – 325 HB [1]

Z těchto citovaných vlastností materiálu je nejvíce důležitá hodnota pevnosti a tvrdosti materiálu, dle této hodnoty se budou volit nástroje a zejména jejich řezná rychlost pro obrábění. Dále by bylo zapotřebí znát hodnotu obrobitelnosti pro tento konkrétní materiál. Bohužel zařazení použitého materiálu do určité skupiny obrobitelnosti se nepodařilo vyhledat. Dle zkušeností kolegů s podobným materiálem, je možné odhadnout třídu obrobitelnosti na 12b případně na 11b. Třidu obrobitelnosti je možné zvolit až po získání zkušeností s konkrétním materiálem.

### 2.4 Celková rozvaha o technologičnosti součásti

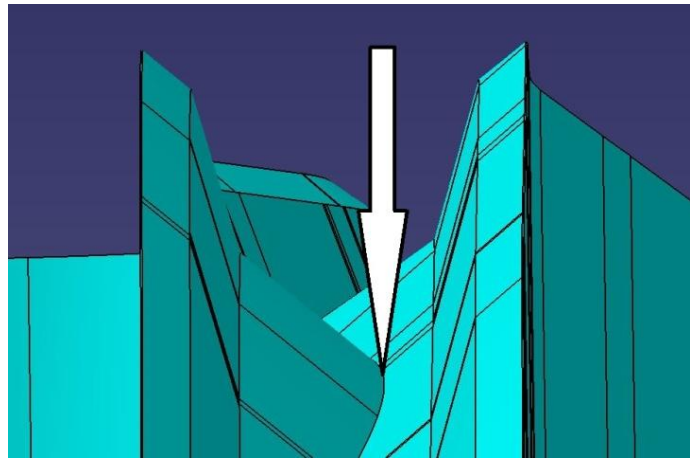
Jak již bylo zmíněno, rozměr součásti je 696 x 268 x 110 mm. Polotovar součásti je stanoven na výrobním výkresu KA02.02.2.01, který je v příloze této práce. Tento výkres je pro druhý střížník, který vznikl zrcadlením vyráběné součásti. Na výrobním výkresu vyráběné součásti (KA02.02.2.02) není rozměr polotovaru uveden, ale je možné předpokládat, že velikost polotovaru je pro obě součásti stejná. Přídavky polotovaru jsou dostatečné k tomu, aby byla zaručena minimální hloubka třísky během celého procesu výroby a přešlo se tak případným tvarovým nepřesnostem. Rozměr polotovaru je 706 x 278 x 110 mm. Takto velký polotovar má hmotnost přibližně 170 kg, bude tedy nutné použít speciálních prostředků pro manipulaci s obrobkem.

Tyto skutečnosti je nutné brát v úvahu při řešení technických prostředků. Dále bylo zjištěno, že součást se skládá z obecných ploch, tudíž není možné vyrobít součást na stroji bez CNC řízení (vyřadíme-li možnost frézování kopírováním podle modelu). Bude tedy nutné použít počítačově řízený stroj, aby byla zaručena co největší možná shoda mezi 3D modelem a výsledným výrobkem.

Součást je vyrobitelná na dvě upnutí při použití stroje s řízenými čtyřmi osami. Probléme je u závitu M16 (střed obr. 7), protože plocha závitu je kolmá na plochy prvního či druhého upnutí. Tento závit tedy nepůjde vyrobít na tří-osém stroji v rámci dvou upnutí. V případě, kdybychom nedisponovali strojem s otočným stolem, nabízí se zde další možná varianta. Závit M16 by mohl být dodělán po obrobení na konvenčním stroji. Tímto opatřením by byla eliminována nutnost čtyř a více-osého stroje.

Po otvorech  $\varnothing 16H7$  je nejpřesnější částí střižná hrana. Tuto hranu je nutné technologicky dokončit tak, aby byla co nejvíce „ostrá“ bez tvarových nepřesností. Nejvýhodnější by bylo využít pěti-osého stroje a střižnou hranu dokončit naklápěním nástroje (stolu).

Jak již bylo zmíněno v kapitole 2.2, na součásti se nacházejí vnitřní kouty, které nejsou nutné pro správné chování nástroje v kompletním střižném nástroji (obr. 8). Jak již bylo uvedeno, tyto vnitřní ostré přechody budou dokončeny do R3 bez větších nároků na geometrickou přesnost.



Obr. 8: Problematická oblast

Při hodnocení technologičnosti konstrukce vůči kompletnímu střižnému nástroji, přesněji k horní části nástroje, se vracíme zpět ke kapitole 2.1. Pro takovýto nástroj je důležité, aby byla umožněna přesná montáž střižníku k základní desce nástroje. Základní deska zaručuje, že střižník bude v optimální pozici vůči střižnici. Tato skutečnost by nebyla s největší pravděpodobností možná, kdyby nebyla nedoplněna tolerance děr  $\varnothing 16$  mm. Samotné závity M12 nemohou zaručit přesnou polohu střižníku.

Z kapitoly 2.3 je zřejmé, že bude nutné volit takové nástroje, které jsou schopné obrábět nástrojovou ocel o pevnosti 900 – 1100 MPa. Výrobci nástrojů, případně vyměnitelných břitových destiček (VBD), udávají ve svých katalozích řezné rychlosti podle druhu materiálu. Řezné podmínky budou muset být finálně dále upraveny na stroji po získání základní představy o obrobitelnosti materiálu. Při volbě předběžných řezných podmínek je nutné vycházet z katalogových hodnot řezných rychlostí pro jednotlivé nástroje.



### 3. Analýza výrobních prostředků

Výrobními prostředky se rozumí zejména stroje, kterými výrobní podnik disponuje. Dále jsou zahrnuty nástroje, upínače, měřidla, možnosti chlazení při obrábění apod. Jak již bylo zmíněno, součást se skládá z obecných ploch, tudíž je nutno vybírat stroje s NC řízením.

#### 3.1 Stroje

Zvolení vhodného stroje je důležité pro další technickou přípravu výroby. Stroj výrazně ovlivňuje zvolené způsoby obrábění součásti a zejména jeho upnutí. Mezi nejdůležitější kritéria při volbě stroje patří velikost obrobku, přesnost stroje, požadavky na otáčky a v neposlední řadě vytiženost stroje. Níže uvedené stroje jsou vybrány ze strojového parku firmy Strojírna Vimperk s. r. o.

Pro výrobu součástí je možný výběr ze dvou dostupných strojů, které jsou zejména z důvodu NC řízení a velikosti obrobku vhodné. Strojírna Vimperk vlastní více těchto strojů stejného typu.

##### 3.1.1 Hüller Hille NBH 630

Jedná se o moderní horizontální frézku s programovatelnými čtyřmi osami s automatickou výměnou nástrojů. Z technických parametrů lze zjistit, že řídicí systém stroje je Siemens 840D. Základní koncepce posuvů je tvořena pohybem celého vřeteníku v ose X a Y. V ose Z se nepohybuje vřeteník, ale proti vřetenu se pohybuje stůl s paletou (obrobkem). Tento stroj také disponuje automatickou výměnou palet mezi přípravným a obráběcím prostorem. Tento faktor je při výběru stroje v případě kusové výroby nepodstatný. Výhodou tohoto stroje je zejména možnost použití vyšších řezných rychlostí i u nástrojů s malým průměrem, než u stroje Hüller Hille NBH 230. Např. pro průměr frézy 6 mm můžeme na tomto stroji dosáhnout řezné rychlosti až 150 m/min. Tuto schopnost je možné využít při dokončování malými nástroji, kde využití vyšších řezných rychlostí znatelně sníží dobu obrábění. Stroj dále disponuje velkým počtem úložných míst v zásobníku nástrojů, konkrétně se jedná o 150 úložných míst. Zásobníky nástrojů (kazety, tool magazine) jsou mezi stroji Hüller Hille kompatibilní a je možná jejich rychlá výměna mezi stroji. Tímto je umožněno operativně měnit pracoviště pro



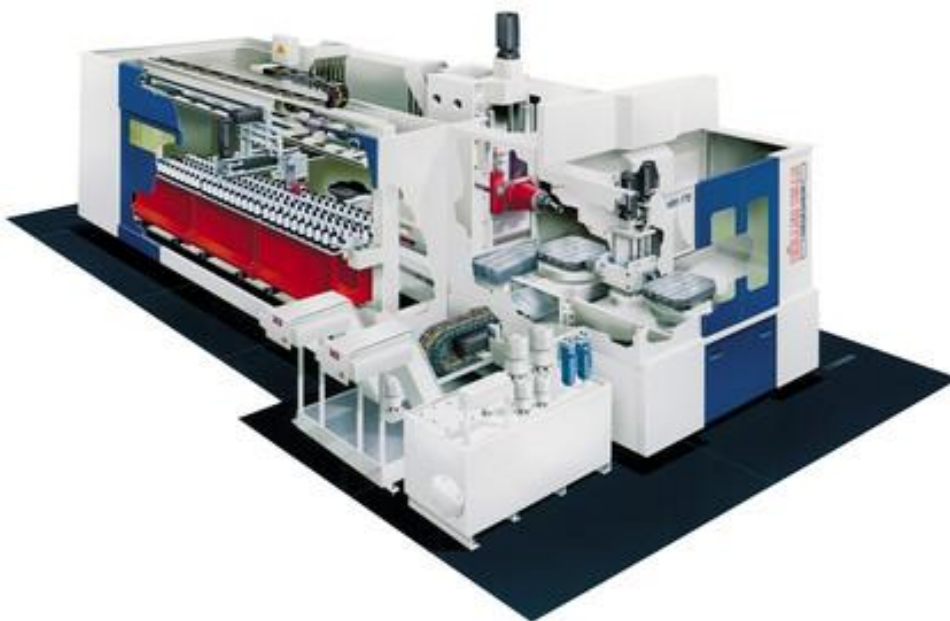
Obr. 9: Stroj Hüller Hille NBH 630 [3]

výrobu součástí v závislosti na vytiženosti jednotlivých strojů. Důležité informace pro volbu stroje jsou v tabulce č. 1. Další podrobnější informace o stroji jsou k nalezení v příloze č. 1.

### 3.1.2 Hüller Hille NBH 230

Tento stroj je oproti stroji NBH 630 starší výroby, čemuž odpovídají i jeho vlastnosti. Řídicí systém je stejný jako u předchozího stroje (řídicí systémy strojů jsou v celém podniku Strojírna Vimperk stejné). Otáčky vřetena jsou o 1000 ot/min menší a dále jsou i pomalejší posuvy všech os. Další odlišností od výše zmíněného stroje je koncepce posuvů. U tohoto stroje zajišťuje pohyb v ose Y (svislý směr) a ose Z (vodorovný směr) vřeteník. Pohyb v ose X je zajištěn posuvem stolu s obrobkem. Stáří stroje může v jisté míře ovlivnit změnu parametrů přesnosti stroje, které se mohou projevit až při určitých řezných podmínkách. Stáří stroje se může negativně podílet na tuhosti stroje. Může tak dojít ke ztrátě stability řezu, což může ovlivnit výsledné rozměry a kvalitu povrchu obrobku. Důležité informace pro volbu stroje jsou v tabulce č. 2. Podrobnější charakteristiky stroje jsou k vidění v příloze č. 2.

Po konzultaci s kvalifikovanými personálem z oddělení technologie výroby byl zvolen stroj Hüller Hille NBH 630 zejména z důvodu přesnosti a možnosti použití vyšších řezných rychlostí. Ostatní důležité vlastnosti jsou srovnatelné, proto nijak neovlivnily rozhodování při výběru stroje. Proto bylo také při výběru stroje přihlíženo ke stáří stroje.



*Obr. 10: Hüller Hille NBH 230 [4]*

<b>Hüller Hille NBH 630</b>				
<b>Posuvy</b>	Rozsah osy	X – pojíždí vřeteník	1025 mm	
		Y – pojíždí vřeteník	800 mm	
		Z – pojíždí stůl	1000 mm	
	Rychlost posuvů v ose X, Y, Z		1 – 70000 mm/min	
	Rychloposuv		70 m/min	
<b>Paleta</b>	Max. výška přípravku		1500 mm	
	Max šířka přípravku		1150 mm	
<b>Vřeteno</b>	Max. otáčky		8000 ot/min	
	Jmenovitý výkon		37 kW	
<b>Zásobník nástrojů s MCS<sup>2</sup></b>	Max. průměr nástroje		125 mm	
	Počet nástrojů		150 ks (3x50 ks)	
<b>Řízení</b>			Siemens 840 D	

Tabulka 1: Vlastnosti stroje Hüller Hille NBH 630 [8]

<b>Hüller Hille NBH 230</b>				
<b>Posuvy</b>	Rozsah osy	X – pojíždí stůl	1200 mm	
		Y – pojíždí vřeteník	800 mm	
		Z – pojíždí vřeteník	1200 mm	
	Rychlost posuvů v ose X, Y, Z		1 – 60000 mm/min	
	Rychloposuv		60 m/min	
<b>Paleta</b>	Max. výška přípravku		1355 mm	
	Max šířka přípravku		1250 mm	
<b>Vřeteno</b>	Max. otáčky		6000 ot/min	
	Jmenovitý výkon		37 kW	
<b>Zásobník nástrojů s MCS</b>	Max. průměr nástroje		100 mm	
	Počet nástrojů		100 ks (2x50 ks)	
<b>Řízení</b>			Siemens 840 D	

Tabulka 2: Vlastnosti stroje Hüller Hille NBH 230

<sup>2</sup> Systém zásobníkových kazet

### 3.2 Použité nástroje

V tabulce níže je uveden souhrnný seznam použitých nástrojů pro obrobení součásti. U nástrojů, kde není uvedeno označení vyměnitelné destičky, se jedná o monolitní nástroje nebo je destička přímo součástí nástroje. Příkladem může být fréza s pájenými destičkami.

Byly vybrány vhodné nástroje pro obrábění materiálu součásti, o kterém bylo již zmíněno v kapitole 2.3. Tyto nástroje jsou také vhodné z hlediska svých rozměrů. Nástroje, které rozměrově nevyhovují pro daný obrobek, nejsou uváděny. Označení nástrojů je dle objednacích čísel od dodavatele nástrojů Walter. Tímto je možnost jednoznačně definovat daný nástroj.

Typ nástroje	Rozměr nástroje [mm]	Označení nástroje	Označení destičky
Fréza	100	F4033.B32.100.Z12.06	SNMX120512-F67 WKP25
Fréza	66	F2334.B27.066.Z07.06	ROHX1204M0-D57 WKP25
Fréza	24	F2231.M.024.Z02.06	RDMT1204M0-D57 WKP25
Fréza	16	F1677.M.020.Z03.40.P	-
Fréza	16	F2339.T14.016.Z02.11	XDMT1303080R-F55 WKP25
Fréza	10	H8016418-10	-
Fréza	6	H8016418-6	-
Vrták	15,8	A3885TFL-15.8.	-
Vrták	12	B3213.DF.12,0.Z01.36R	LCMX050203-D57 WAP20
Vrták	14	B3213.DF.14,0.Z01.42R	LCMX06T204-D57 WAP20
Vrták	10,5	A3486TIP-10.5.	-
Vrták	10,2	B3213.DF.10,2.Z01.30R	LCMX050203-D57 WAP20
Vrták	10	B3213.DF.10,0Z01.30R	LCMX050203-D57 WAP20
Závitník	M12	7026345-M12	-
Závitník	M16	7026345-M16	-
Výstružník	16H7	F4162-16.	-

Tabulka 3: Nástroje pro obrábění

### 3.3 Ostatní technické prostředky

Mezi ostatní technické prostředky jsou zahrnuty i upínací prvky. Výběr upínacích přípravků je závislý na obráběcím stroji a technických prostředcích firmy. Obě možné varianty stroje jsou horizontální frézky, pro oba stroje je tedy možné použít stejný způsob upnutí.

Pro první upnutí se nabízí možnost použít 4ks upínačů od firmy Norelem, který je možné vidět na obrázku 13. Upínač je označen katalogovým číslem **Norelem 04500-19**. Tyto upínače by měly vyvinout dostatečně velkou přítlačnou sílu, aby nedošlo k pohnutí obrobku během obrábění součásti. Volba velikost upínače vychází ze zkušeností technologů.

Pro upnutí polotovaru na horizontální frézce je zapotřebí přípravku, který umožní upnutí polotovaru na otočnou paletu stroje. Tento přípravek se skládá z desky, která je kolmá na rovinu palety. Jedná se o takzvaný upínací úhelník. Tento úhelník je možné vidět na obrázku 14 a 15 společně s paletou stroje. Využitím upínacího úhelníku se zajistí pevnější uchycení obrobku, než kdyby byl polotovar upnut jen k základní rovině výměnné palety.

Pro manipulaci s polotovarem, který má hmotnost přibližně 170 kg je možné využít břemenový magnet NEO 250 od firmy Walmag Magnetics s. r. o., který je možné vidět na obrázku 11. Tento magnet má nosnost 250 kg, tedy i s rozměrovými nepřesnostmi polotovaru by měla být zaručena dostatečná nosnost magnetu.<sup>3</sup> Dále tento magnet bude zavěšen na sloupový jeřáb.

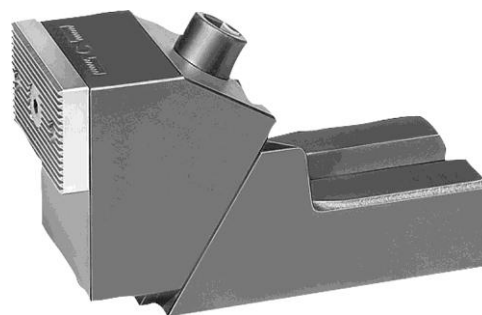


Obr. 11: Magnet NEO 250 [6]

V již zmíněné společnosti je každé pracoviště obráběcího stroje vybaveno otočným jeřábem s ručně vedenou kočkou od společnosti ABUS s nosností 250 kg. Tento jeřáb je nutné použít pro manipulaci s polotovarem při upínání. Ve výrobní hale nejsou k dispozici žádné další druhy jeřábů, pro další manipulaci s materiálem je využíváno vysokozdvizných vozíků.



Obr. 12: Sloupový jeřáb [7]



Obr. 13: Upínač Norelem [5]

## 4. Návrh výroby

V této části je potřeba navrhnout co nejefektivnější a nejekonomičtější řešení výroby součásti. Je nutné brát v potaz zejména možnosti upnutí součásti a přihlížet k dostupným technickým prostředkům. Za první stranu je považována rovinná plocha s otvory různých průměrů a se závity M12. Za druhou stranu je považována strana se střížnou hranou.

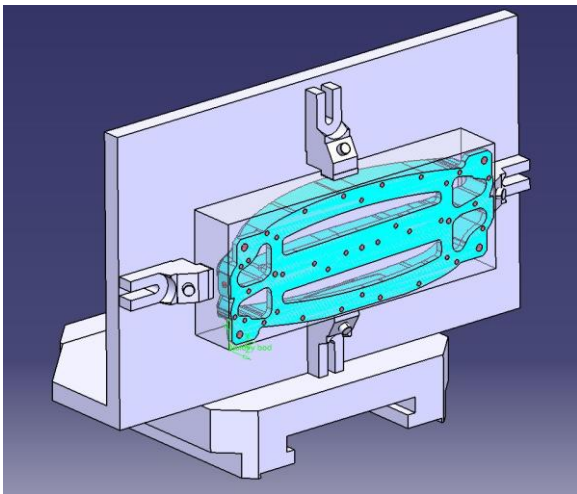
Pro obrobení první strany je navrženo upnout polotovar za pomoci čtyř upínek k přípravku.

Pro druhé upnutí je možné využít závitů M12, které budou vytvořeny při prvním upnutí. Při

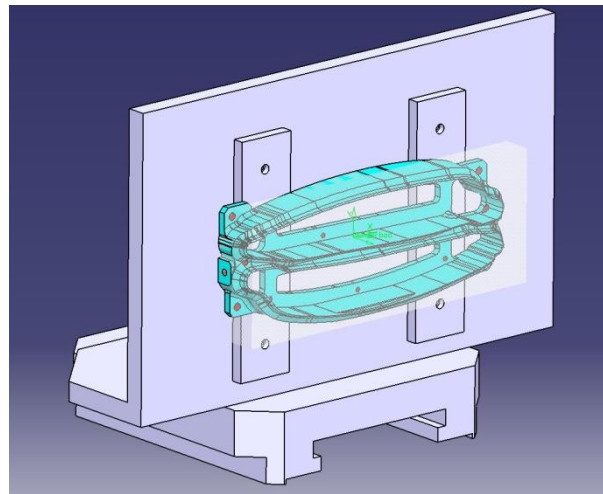
<sup>3</sup> Nosnost magnetu se liší dle obsahu uhlíku v oceli a dle velikosti vzduchové mezery mezi magnetem a materiálem

použití těchto závitů k upnutí obrobku bude nutné použít přípravek pro upnutí. Je možné použít přesné ocelové pásy od firmy Norelem (k. č. **01130-07X**), do kterých bude případně nutné vyfrézovat otvory pro šrouby s válcovou hlavou s vnitřním šestihranem a vyvrtány otvory k uchycení k upínacímu úhelníku. Za pomoci válcových šroubů s vnitřním šestihranem rozměru M12 se tyto pásy upnou k obrobku.

V druhé části je pak zapotřebí postupně vyhrubovat a následně dokončit zbytek součásti za použití různých průměrů nástrojů. Zejména pak pro dokončení je vhodné použít různé průměry kulových fréz kvůli efektivnímu a rychlému úběru materiálu. Navíc v této části je navrženo dokončení závitu M16. Tento závit je z boku součásti. Při vytváření tohoto závitu je možné využít otočného stolu, tedy natočení osy B.



Obr. 15: Upnutý polotovár na přípravku



Obr. 14: Upnutí po otočení

#### 4.1 Návrh strategie obrábění

S ohledem na navržené upnutí a zvolené stroje je nyní vhodné navrhnout strategii pro obrobení součásti.

Na prvním upnutí součásti je možné vyhrubovat obrys součásti do různých hloubek, hloubku hrubování limitují pouze upínací přípravky. Tyto přípravky by mohly při špatně zvolené hloubce hrubování, respektive dokončování, zasahovat do drah nástrojů. Pokud by polotovár nebyl ničím podložen, byla by velmi snížena oblast pro hrubování, protože upínače by byly blízko čelní roviny obrobku. Je tedy nutné navrhnout vypodložení polotovaru. Polotovár je vhodné vypodložit dorazy o délce 30 mm. Bylo by také zřejmě možné polotovár vypodložit o více jak 30 mm, ale mohlo by docházet ke snížení tuhosti mezi přípravkem a polotovarem důsledkem snížení kontaktní plochy mezi polotovarem a upínačem. Z této první strany, při vypodložení o 30 mm, je možné finálně obrobit součást do hloubky 42 mm od čelní roviny součásti.

Další variantou strategie obrábění pro první stranu je varianta, u které se pouze přerovná čelní rovina a vytvoří se otvory, respektive závity. Veškeré další obrábění by bylo definováno až v rámci druhého upnutí. Problémem v tomto případě by mohla být kolize mezi upínacím přípravkem (ocelovými pásy) a nástrojem. Dále by také musely být použity nástroje s delším vyložení, což by mohlo nepříznivě ovlivnit stabilitu řezu. Tato varianta tedy není považována za příliš vhodnou.

V rámci prvního upnutí je možné vyhrubovat obvod i vnitřní část součásti jedním nástrojem, ale průměr nástroje je omezen rozměry vnitřních kapes. Za výhodnější variantu se nabízí vyhrubování obvodu a vnitřní části odlišnými nástroji. Na obvod součásti je možné použít nástroj o větším průměru než pro vnitřní část. Je vhodné zvolit takový nástroj, který bude pouze kopírovat vnější tvar součásti a jeho boční přísuv  $a_e$  nebude větší než průměr nástroje. Tímto také dojde k eliminaci nadbytečných přejezdů, které by vznikly při použití stejného nástroje jako při hrubování vnitřních kapes.

Pro prvotní přerovnění čela je výhodné zvolit co největší možný průměr nástroje, aby docházelo k co možná nejefektivnějšímu úběru materiálu. Dále je z této strany nutné dokončit veškeré otvory včetně závitů. Obrys součásti a obrys vnitřních kapes je vhodné dokončit čelní válcovou frézou. Pokud bude takto dokončena součást na prvním upnutí, nebude nutné při druhém upnutí tuto část součásti dále dokončovat. Závit M16, který je na boku součásti, je možné dokončit na libovolném upnutí.

Otvory  $\varnothing 16H7$  je vhodné dokončit až při druhém upnutí z důvodu přesnější pozice vůči střížné hraně. Tímto opatřením je eliminováno zanesení chyby polohy při přeupínání obrobku. Jelikož se jedná o tolerovaný rozměr, který není možné běžným vrtákem dokončit, bude nutné jej předvrtat vhodným průměrem vrtáku a následně dokončit výstružníkem. Zvýšené pozornosti je potřeba dbát při volbě vrtáku pro otvory o  $\varnothing 10,5$  mm. Tyto otvory jsou hluboké až 80 mm, proto bude nutné volit nástroj, kde jeho délka je minimálně osminásobkem jeho průměru.

Pro vyhrubování součásti při druhém upnutí je nutné zvolit takový nástroj, který bude mít velký úběr materiálu, ale svými rozměry se vejde do vnitřních kapes z této strany součásti. Po vyhrubování zvoleným nástrojem bude nutné rozhodnout o případném dohrubování menšími nástroji.

Po vyhrubování se nyní předpokládá, že ve všech částech obrobku bude konstantní přídavek materiálu pro dokončování. Může ale dojít k situaci, kde důsledkem průměru a tvaru předchozích nástrojů bude nutné vhodnou strategií ještě předpřipravit obrobek pro finální dokončování. Toto rozhodnutí se provede v průběhu práce z rozměrové analýzy obrobku, která vznikne simulací obrábění. Na dokončení bude použita vhodná strategie, která zanechá na povrchu co nejmenší přídavky materiálu a co nejkvalitnější povrch. Dále také pro výběr strategie budou rozhodující schopnost softwaru Catia V5.

Na obrobku v rámci druhého upnutí se nacházejí vertikální a horizontální plochy. Tyto plochy je možné dokončit stejnou kulovou frézou, jako která bude použita pro dokončování tvarových ploch. Tvarová plocha bude muset být dokončována za pomoci kulové frézy. Dokončování horizontálních (dno součásti) a vertikálních ploch kulovou frézou je možné, ale je velice neefektivní. Tyto plochy je vhodné dokončit zvláště za pomoci čelní válcové frézy.

Posledním elementem na obrobku je otvor o  $\varnothing 10$  mm. Otvory  $\varnothing 10$  mm se nacházejí na šikmých plochách, tedy při výběru nástroje musíme vybírat takový nástroj, který má v možnostech použití vrtání na šikmé ploše<sup>4</sup>. Tyto otvory by bylo případně možné vytvořit frézováním s nástrojem o menším průměru než 10 mm.

---

<sup>4</sup> Standardní vrták neumožňuje vrtání na ploše, která není kolmá na jeho osu. Při takovémto vrtání by došlo ke zlomení nástroje.



## 4.2 Návrh řezných podmínek

Veškeré řezné podmínky byly převzaty od výrobce nástrojů [11]. Výrobce nástrojů, respektive destiček, uvádí vhodné řezné rychlosti ve svém katalogu. Dále zde uvádí i posuvy na jeden zub nástroje. Tyto řezné podmínky, které jsou k nalezení v katalogu nástrojů, jsou pouze doporučené. Řezné podmínky je nutné korigovat při odladování programu v závislosti na tuhosti upnutí a na konkrétních vlastnostech obráběného materiálu.

V tabulce číslo 4 je k vidění ukázka volby řezné rychlosti dle katalogu výrobce pro čelní frézu  $\varnothing 100$  mm, která je označena jako **F4033.B32.100.Z12.06** s destičkou označenou jako **SNMX120512-F67 WKP25**. Při volbě řezných podmínek je vyhledán příslušný materiál dle tvrdosti podle Brinela a pevnosti materiálu v tahu, dále je známo, že se jedná o nástrojovou ocel. Dle těchto vlastností se v tabulce vyhledá příslušný řádek s přibližně odpovídajícím materiálem. Sloupeček je vybrán dle konce označení použité destičky, toto označení udává odolnost destičky proti opotřebení. Se snižující se hodnotou tato odolnost roste. V tomto případě je destička označena jako **WKP25**. Dále se předpokládá, že poměr mezi průměrem nástroje a bočním přísuvem  $a_e$  bude v rozmezí 1 až 0,5. Z toho vyplývá, že vhodná řezná rychlost je 110 m/min.

Materiálová skupina		Členění hlavních skupin materiálů a identifikačních písmen		Tvrdost podle Brinella HB	Pevnost v tahu $R_m$ N/mm <sup>2</sup>	Obráběcí skupina <sup>1</sup>	Typy řezného materiálu							
							Výchozí hodnoty pro řeznou rychlost $v_c$ [m/min]							
							HC							
							WKP35S		WKP35		WKP25			
		$a_e / D_c^*$		$a_e / D_c^*$		$a_e / D_c^*$								
		1/1	1/5	1/1	1/5	1/1	1/5							
		1/2	1/5	1/2	1/5	1/2	1/5							
P	Nelegovaná ocel	C ≤ 0,25 %	žháná	125	428	P1	●	●●	250	300	250	300	290	320
		C > 0,25 ... ≤ 0,55 %	žháná	190	639	P2	●	●●	220	260	220	260	260	330
		C > 0,25 ... ≤ 0,55 %	zušlechtěná	210	708	P3	●	●●	215	250	215	250	255	320
		C > 0,55 %	žháná	190	639	P4	●	●●	220	260	220	260	260	330
		C > 0,55 %	zušlechtěná	300	1013	P5	●	●●	160	180	160	180	220	260
	Nizkolegovaná ocel	automatová ocel (s krátkou třískou)	žháná	220	745	P6	●	●●	210	240	210	240	250	315
		žháná	175	591	P7	●	●●	220	270	220	270	260	320	
		zušlechtěná	300	1013	P8	●	●●	170	190	170	190	210	250	
		zušlechtěná	380	1282	P9	●	●●	130	150	130	150	170	190	
		zušlechtěná	430	1477	P10	●	●●	110	130	110	130	150	170	
Vysokolegovaná ocel a vysokolegovaná nástrojová ocel	žháná	200	675	P11	●	●●	130	160	130	160	140	170		
	kalená a popouštěná	300	1013	P12	●	●●	80	90	80	90	110	130		
	kalená a popouštěná	400	1361	P13	●	●●	70	80	70	80	90	110		
Nerezová ocel	fertická / martenzitická, žháná	200	675	P14	●	●●	140	160	140	160				
	martenzitická, zušlechtěná	330	1114	P15	●	●●	90	110	90	110				
M	Nerezová ocel	austenitická, prudce zchlazená		200	675	M1	●●	●						
		austenitická, disperzně kalená (PH)		300	1013	M2	●●	●						
		austenitická-fertická, Duplex		230	778	M3	●●	●						

Tabulka 4: Řezná rychlost pro nástroj  $\varnothing 100$  mm [11]



Při určování posuvů se vychází z typu frézy. V tabulce číslo 5 je opět zvolen vhodný řádek dle obráběného materiálu. Správný sloupec je vybrán dle označení konkrétní frézy, v tomto případě se jedná o frézu s označením F4033. Z tabulky je tedy zjištěno, že doporučená výchozí hodnota posuvu  $f_{z0}$  je 0,3 mm.

**Určení posuvu (výchozí hodnoty)  
Rovinné / rohové frézy**

Typ frézy	F 2010 / F 4080		F 2146	F 2010 / F 2233		F 2010 / F 4033		
Posuv na zub $f_{z0}$ pro $a_e = D_c$ $a_p = a_{p\ max} = L_c$								
	Xtra-tec®					Xtra-tec®		
Úhel nastavení $\kappa$	43°		43°	45°		45°		
Strana	F 130		F 96	F 98		F 118		
Materiálová skupina	$f_{z0}$ [mm]		$f_{z0}$ [mm]	$f_{z0}$ [mm]		$f_{z0}$ [mm]		
	F 4080	F 2010 / F 4080		F 2233	F 2010 / F 2233			
Ø nástroje, resp. rozsah Ø [mm]	32–125	50–315	80–250	20–80	25–315	40–315	50–315	
Maximální řezné parametry $a_{p\ max} = L_c$ [mm]	3 / 8	4 / 10	3	5	7	6	9	
<b>P</b>	Nelegovaná ocel <sup>1</sup>	0,45	0,45	0,25	0,20	0,25	0,25	0,40
	Nízkolegovaná ocel	0,40	0,40	0,20	0,15	0,20	0,20	0,35
	Vysokolegovaná ocel a nástrojová ocel	0,30	0,30	0,20	0,15	0,20	0,20	0,30
	Nerezová ocel	0,20	0,20	0,20	0,12	0,15	0,15	0,20
<b>M</b>	Nerezová ocel <sup>2</sup>	0,15	0,15		0,10	0,12	0,12	0,15

Tabulka 5: Volba posuvu na jeden zub nástroje [11]

Pro přesnější určení posuvu na zub je dále nutné provést korekci posuvu dle šířky řezu  $a_e$  a použité VBD. Za předpokladu, že poměr mezi průměrem nástroje a šířkou záběru bude definován na  $\frac{1}{2}$ , je korekční faktor  $K_{a_e}$  dle tabulky číslo 6 roven 1,0. Dále se předpokládá, že hloubka řezu  $a_p$  bude maximálně 2 mm. Je tedy možné z tabulky vyčíst korekční faktor  $K_{a_p}$ , který je definován také na 1,0. Výsledná hodnota posuvu  $f_z$  je vypočtena podle vzorce:  $f_z = f_{z0} * K_{a_e} * K_{a_p}$ . Je zřejmé, že v tomto případě korekční faktory neovlivní velikost posuvu.

Typy vyměnitelných břitových destiček		OD .. 0504 ..	OD .. 0605 ..	OP .. 0504 ..	SD .. 09T3 ..	SP .. 1204 ..	SN .. X 120512 .. SN .. X 120520 .. SN .. X 1205ANN	
Korekční faktor $K_{a_e}$	$a_e / D_c = 1/1 - 1/2$	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	
	1/5	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	
	pro posuv na zub v závislosti na poměru šířky řezu $a_e$ k průměru frézy $D_c$	1/10	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2
	1/20	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	
	1/50							
Korekční faktor $K_{a_p}$	$a_p = 1$	1,0	1,0					
	2	1,0	1,0					
	pro posuv na zub v závislosti na hloubce řezu $a_p$	3	1,0	1,0				
	4	0,6	1,0					
	6	0,6	0,6					
$f_z = f_{z0} \cdot K_{a_e} \cdot K_{a_p}$	8	0,6	0,6					
	$a_{p\ max} = L_c$	0,6	0,6					

Tabulka 6: Korekce posuvu na zub [11]

Kompletní návrh řezných podmínek pro všechny použité nástroje je v tabulce číslo 7.

Nástroje jsou v pořadí dle použití při obrábění. Pokud se nástroj při obrábění opakuje, jsou použity stejné řezné podmínky jako u předchozího použití.

Je třeba podotknout, že u některých operací jsou uvedeny odlišné parametry. V tabulce jsou záměrně uvedeny ty parametry, které jsou pro daný proces směrodatné. Například u vrtání není uvedena hloubka třísky, jelikož se běžně neuvádí a je nepodstatná. Dále u závitování není uveden posuv v milimetrech za minutu, ale je definován posuv na jednu otáčku nástroje, aby byla zaručena synchronizace mezi posuvem a stoupáním závitů.

Pokud jsou u jednoho nástroje uvedeny dvě hodnoty (např. 150/200), potom první hodnota je využita při hrubování, druhá pak při použití nástroje na dokončovací operace.

Nástroj	Řezná rychlost [mm/min]	Posuv na zub [mm/zub (mm/ot)]	Otáčky [ot/min]	Hloubka třísky [mm]
Fréza $\varnothing$ 100	110	0,3	400	0,8
Fréza $\varnothing$ 24	90	0,2	1200	0,8
Fréza $\varnothing$ 16	120	0,08	2400	0,8
Vrták $\varnothing$ 12	60	0,1	1600	-
Vrták $\varnothing$ 10,5	45	0,06	1350	-
Vrták $\varnothing$ 10,2	60	0,1	1900	-
Závitník M12	7,5	1,75 mm/ot	200	-
Fréza $\varnothing$ 66	110	0,8	530	1
Kulová fréza $\varnothing$ 16	150/200	0,16/0,18	3000/4000	0,8/1,6
Kulová fréza $\varnothing$ 10	190	0,08	6000	0,4
Kulová fréza $\varnothing$ 6	150	0,06	8000	0,4
Vrták $\varnothing$ 10	160	0,025	5000	-
Vrták $\varnothing$ 15,8	60	0,2	1200	-
Výstružník 16H7	12	0,23 mm/ot	240	-
Vrták $\varnothing$ 14	165	0,06	3750	-
Závitník M16	15	2,5 mm/ot	300	-

Tabulka 7: Řezné podmínky nástrojů

Je potřebné znovu zmínit, že se jedná o katalogové řezné rychlosti. Při samotné výrobě je proto potřeba ověřit vhodnost těchto podmínek pro jednotlivé operace a případně tyto řezné podmínky náležitě korigovat přímo u jednotlivých operacích.

## 5. Tvorba programu

Způsoby upnutí a dostupné technické prostředky jsou již známy, proto je nyní možno vytvořit vhodnou technologii obrábění v systému Catia V5. V této části se nejvíce rozhoduje o efektivitě výroby. Efektivita výroby se zásadně podílí na výsledné ceně součásti.

Veškeré nástroje budou použity od firmy Walter. Pro přesné definování použitých nástrojů jsou v této práci uváděna objednávací čísla nástrojů.

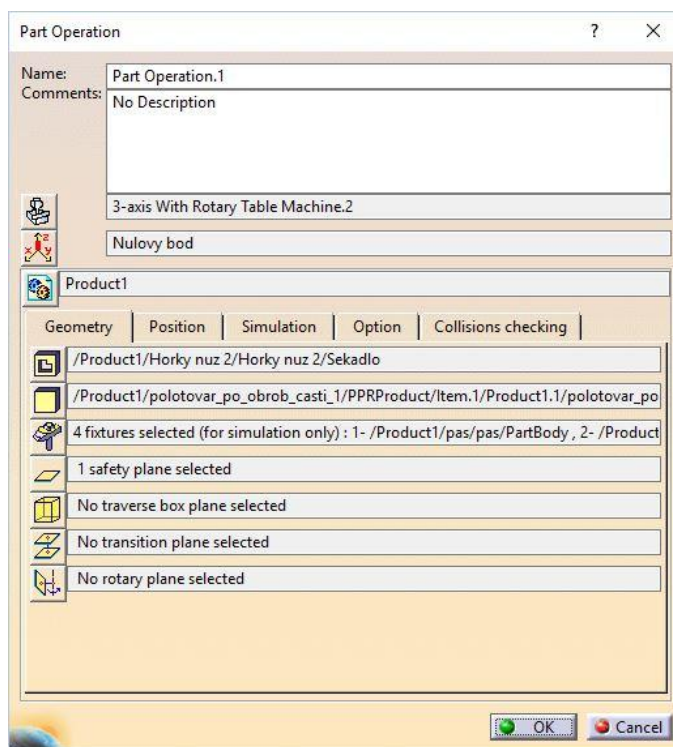
### 5.1 Import modelu a základní nastavení softwaru Catia V5

Jelikož model součásti byl dodán ve formátu \*.stp, bylo nutné součást importovat do prostředí softwaru Catia V5. Software Catia V5 má výchozí formát pro jednotlivé modely \*.CATPart. Jak již bylo zmíněno v kapitole *3D modely a výkresová dokumentace*, nedošlo při importu k degradaci ploch, bylo tedy možné přejít k nastavení softwaru pro konkrétní součást.

V první části po importování modelu bylo nutné vytvořit odpovídající polotovary dle výkresové dokumentace nebo vytvořit polotovary s vhodnými přířadkami pro obrábění. V tomto případě byl vytvořen polotovar dle výkresové dokumentace o rozměrech 706 x 278 x 110 mm. Tento polotovar byl vhodně vytvořen okolo obrobku. Dále byla sestava s přípravkem vložena do předem připraveného modelu přípravku s upínací. Tímto krokem vznikl soubor ve formátu \*.CATProduct, který je výchozím formátem pro sestavy v systému Catia V5.

Dalším krokem bylo zvolení nulového bodu souřadného systému. Nulový bod je počátek kartézského souřadného systému, ze kterého vycházejí veškeré dráhy nástrojů pro obrábění, souřadnice v tomto místě jsou tedy X0, Y0, Z0. Dále byl v dialogovém okně *Part Operation* zvolen druh stroje, na kterém se bude obrábět. Posléze byl vybrán polotovar součásti a veškerá upínací zařízení, která se budou zobrazovat v simulaci obrábění.

Nulový bod pro obrábění z první strany byl umístěn na dolní levý roh a na horní rovinu součásti. Pro druhé upnutí byl umístěn na střed a na spodní plochu součásti. Jelikož se jedná o kusovou výrobu, není nutné vytvářet seřizovací list, jen je nutné sdělit umístění nulových bodů obsluze stroje, která správně ustaví obrobek ve stroji.

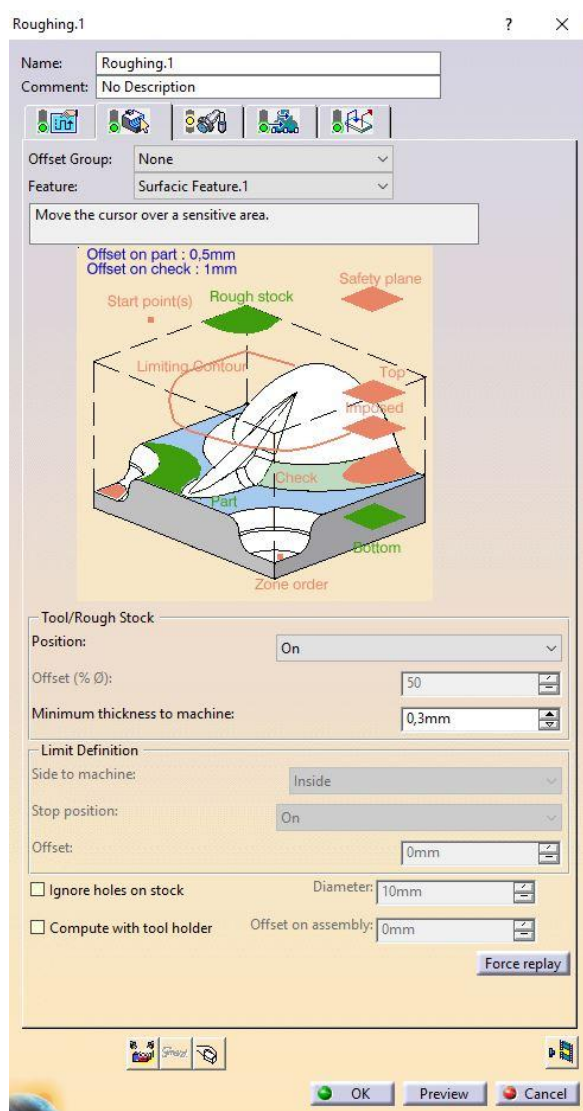


Obr. 16: Dialogové okno - Part Operation

## 5.2 Tvorba obráběcích strategií pro první stranu součásti

Všechny níže uvedené strategie obrábění jsou definovány za pomoci dialogových oken, která se liší dle použité strategie. V těchto dialogových oknech jsou záložky pro nastavení konkrétních podmínek a parametrů, kterými lze ovlivnit nájezdy, přejezdy, odjezdy, směr obrábění apod. Je tedy vhodné souhrnně se seznámit s aplikovanými strategiemi a případně dále v práci uvádět jen konkrétní odlišnosti.

V první záložce je možnost nastavit postup dráhy nástroje ve směru kolmém na osu Z. Dále v této části je možnost nastavit hloubku řezu  $a_p$ , boční přísuv nástroje  $a_e$ , případně směr pohybu nástroje. V druhé záložce (obrázek 17) definujeme polotovar, součást, dno, horní plochu obrobku, limitní konturu, přídavky materiálu apod. Ve třetí záložce je definován použitý nástroj pro konkrétní strategii obrábění. Zde je možnost definovat tvar nástroje přímo v dialogovém okně nebo nástroj vybrat z knihovny nástrojů. V této části je nutné definovat řezné podmínky nástroje. Poslední čtvrtá záložka se týká odjezdů a nájezdů. V této poslední záložce je možnost ovlivnit způsoby a velikosti při odjezdech a nájezdech nástroje k obrobku, respektive od obrobku.



Obr. 17: Dialogové okno - Nastavení parametrů strategií

### 5.2.1 Přerovnání čelní roviny a hrubování obvodu

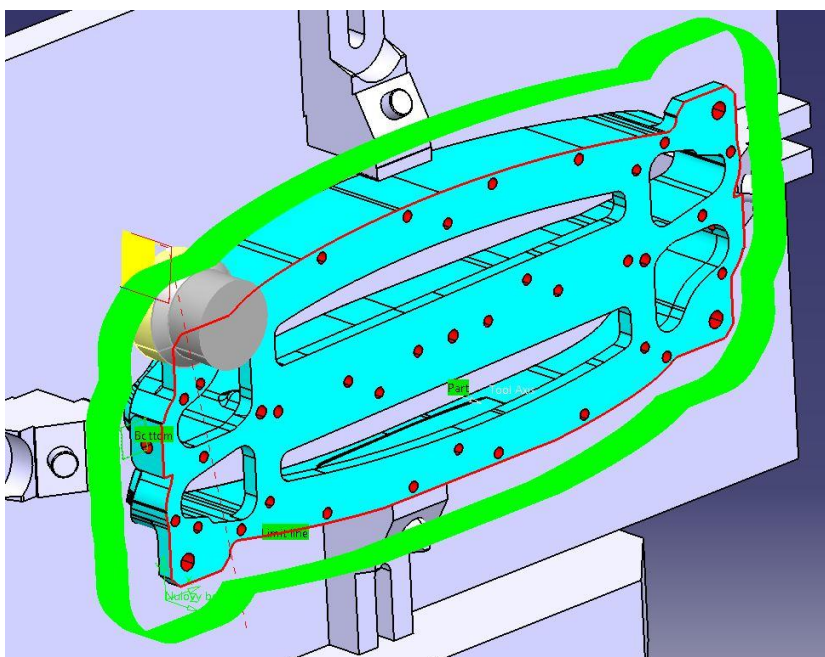
Po upnutí polotovaru ke stolu stroje je přerovnána čelní rovina za pomoci funkce *Facing*. Tato funkce je základní funkcí pro obrábění rovinných ploch čelem frézy. Přerovnání bude na jednu hloubku třísky, tudíž se předpokládá, že  $a_p$  bude maximálně 2 mm. Tato hloubka se bude lišit dle přesnosti polotovaru. Boční přísuv  $a_e$  je definován na hodnotu 50 mm. Tedy poměr mezi průměrem a šířkou záběru je  $\frac{1}{2}$ .

Na přerovnání čela navazuje hrubování tvaru součásti funkcí *Roughing*. Tato funkce vytváří automaticky strategii pro nejrychlejší odebrání materiálu u tvarových ploch. Při tomto procesu je snaha odebrat co nejvíce materiálu a zanechat zde jen nutný přírůstek na dokončovací operace. Hrubování je prováděno po jednotlivých vrstvách (hladinách) v ose Z. To znamená, že nástroj odebírá postupně materiál v rovinách kolmých na osu Z, které jsou od sebe vzdáleny o hodnotu hloubky řezu  $a_p$ . Hloubka řezu  $a_p$  je definována 0,8 mm. Hrubování se provede do hloubky 42 mm od čelní roviny součásti s přírůstkem na dokončování 0,5 mm.

Všechny přírůstky materiálu při hrubování jsou v celé této práci stanoveny na 0,5 mm, tudíž nebudou dále uváděny.

Z katalogu nástrojů je vybrána čelní fréza  $\varnothing 100$  mm s VBD označená výrobcem Walter jako **F4033.B32.100.Z12.06** s vhodnou destičkou označenou jako **SNMX120512-F67 WKP25**. U veškerého obrábění bude použito chlazení nástroje řeznou kapalinou, tedy údaj o chlazení nebude dále uváděn. Některé dále vybrané nástroje umožňují chlazení vnitřkem nástroje. Vybraný stroj Hüller Hille NBH 630 touto možností chlazení disponuje, proto u nástrojů, které tuto možnost chlazení umožňují, bude této možnosti chlazení využito. Při použití chlazení vnitřkem nástroje je řezná kapalina přiváděna přímo do místa řezu. Při použití pouze vnějšího chlazení jsou účinky řezné kapaliny nižší. Řezná kapalina je použita z důvodu, aby docházelo k chlazení nástroje, ke snížení třecího odporu, k odplavování a vyplachování třísek apod. Otáčky a posuvy všech nástrojů jsou souhrnně uvedeny v tabulce 7 v kapitole 4.2 *Návrh řezných podmínek*.

Na obrázku 18 je možno vidět vygenerované dráhy nástroje při hrubování obvodu, tyto dráhy jsou označeny zelenou barvou. Červeně jsou pak označeny limitní kontury. Žlutě jsou označeny nájezdy nástroje.



Obr. 18: Dráha nástroje při hrubování obvodu



### 5.2.2 Hrubování uvnitř součásti

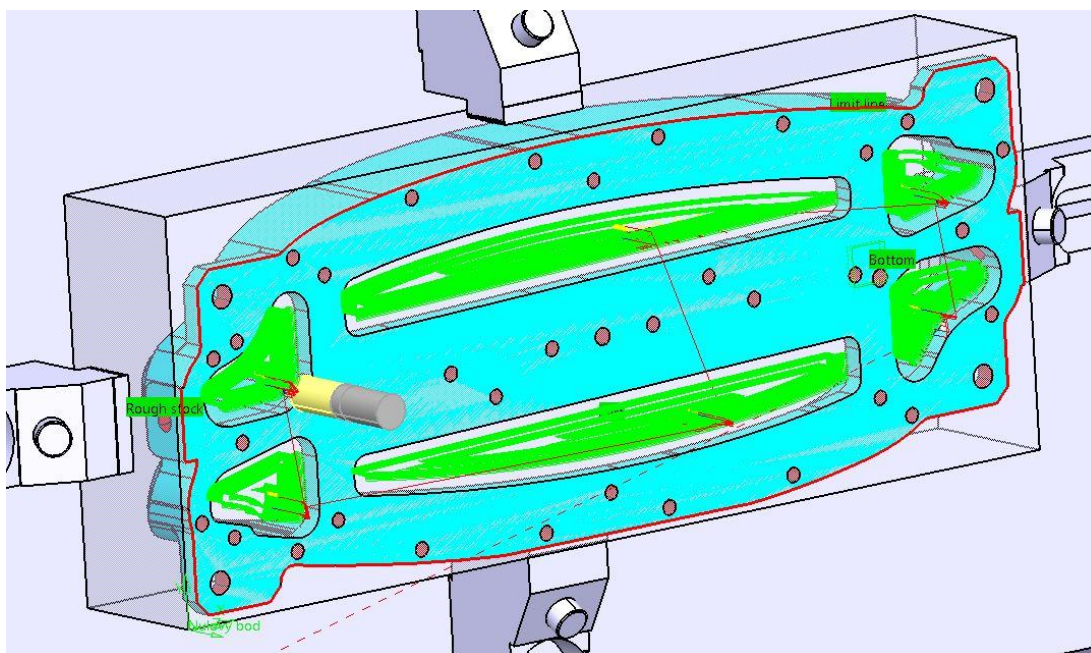
Po vyhrubování obvodu je nutné vyhrubovat tvar uvnitř součásti. Je snaha o co nejrychlejší úběr materiálu. Jsou tedy voleny co největší možné nástroje. Velikost průměru frézy je zde limitována šířkou dvou podélných „drážek“. Byla tedy zvolena toroidní fréza  $\varnothing 24$  mm s VBD s rádiusem 6 mm, která je označena jako **F2231.M.024.Z02.06** a vhodná destička pro tento nástroj je označena jako **RDMT1204M0-D57 WKP25**. Fréza je zobrazena na obrázku 19. Funkce pro hrubování byla použita stejná jako u hrubování obvodu. Hrubování je vhodné provést do hloubky 16 mm od čelní roviny. Tato hloubka je zvolena z toho důvodu, že šířka stěny dna součásti je 15 mm. Hloubka řezu  $a_p$  je



Obr. 19: Fréza D24 [9]

definována na 0,8 mm a boční přísuv  $a_e$  na 12 mm. V těchto dutinách není možné „zavrtávání“ mimo obrobek, je tedy nutné definovat, jakým způsobem bude provedena změna hladiny frézování (změna v ose Z). V tomto případě je způsobem pro zavrtávání zvoleno „rampování“. Jedná se o způsob, kdy nástroj vykonává pohyb v ose Z a současně se pohybuje do strany, tímto pohybem nástroj vytváří šikmou plochu. Toto opatření je zvoleno z důvodu, aby bylo eliminováno riziko poškození nástroje v jeho ose rotace. Tento nástroj nedokáže v jeho středu obrábět materiál.

Na obrázku 20 je zobrazena automaticky vygenerovaná dráha nástroje pro hrubování uvnitř součásti, kde zeleně jsou opět označeny dráhy nástroje při obrábění a červeně limitní kontury, kterými je definována oblast pro generování drah nástroje.



Obr. 20: Dráha nástroje při hrubování uvnitř součásti

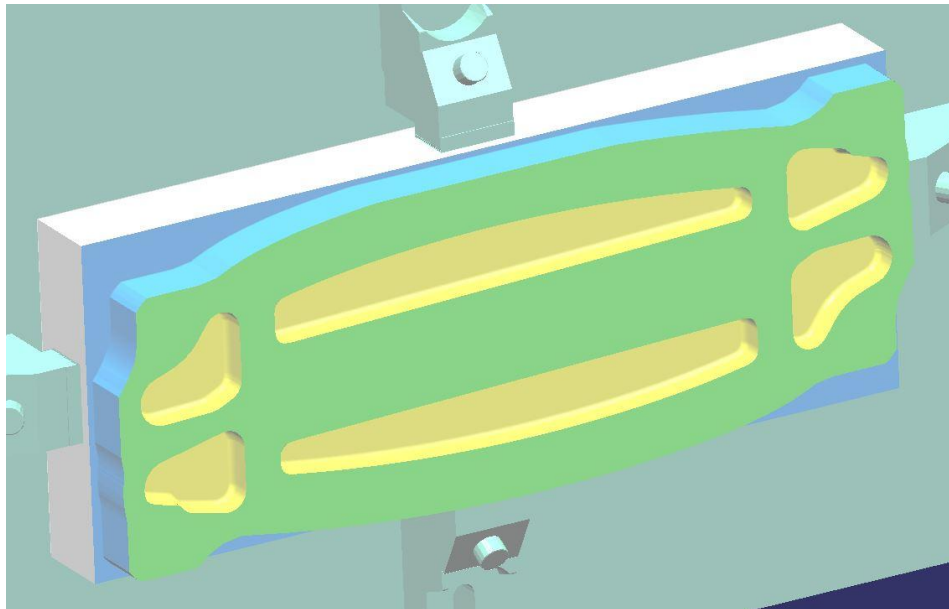
### 5.2.3 Hrubování malých rádiusů

Po hrubování frézou  $\varnothing 24R6$  zbyly na polotovaru na některých místech velké přídavky materiálu. Nástroj  $\varnothing 24R6$  měl vysokou produktivitu odebrání třísky, ale do malých prvků obrobku se nevešel. Jedná se zejména o vnitřní rohové prvky či malé rohové rádiusy. Je tedy nutné ještě před odebráním přídavku po hrubování tato místa vyhrubovat nástrojem o menším průměru. Byla využita opět funkce *Roughing*. CAM systém sám vyhledá místa, kde předchozímu nástroji neumožnil přístup z důvodu jeho velikosti, a na tato místa vytvoří vhodnou strategii obrábění. Je ale nutné mít zapnutou funkci zbytkového obrábění.

V některých místech součásti jsou rádiusy menší než R8, které již nebudou dokončeny. Tyto rádiusy jsou mimo funkční plochy a není tedy nutné je dokončovat menším nástrojem.

Nástroj byl vybrán s ohledem na to, že bude použit i pro dokončovací operace. Bude použita válcová fréza  $\varnothing 16$  mm s pájenými břity označená jako **F1677.M.020.Z03.40.P**.

Na obrázku 21 lze vidět výsledek simulace obrábění před vrtáním otvorů. Dále je na obrázku 22 vidět použitá fréza s pájenými břity.



Obr. 21: Simulace obrábění



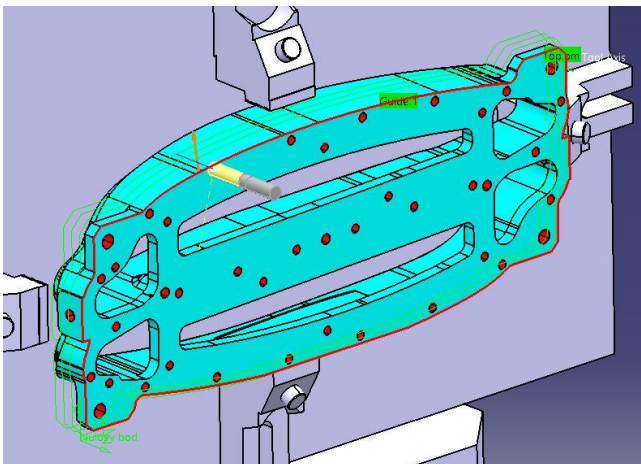
Obr. 22: Fréza s pájenými břity

### 5.2.4 Dokončení tvaru prvního upnutí

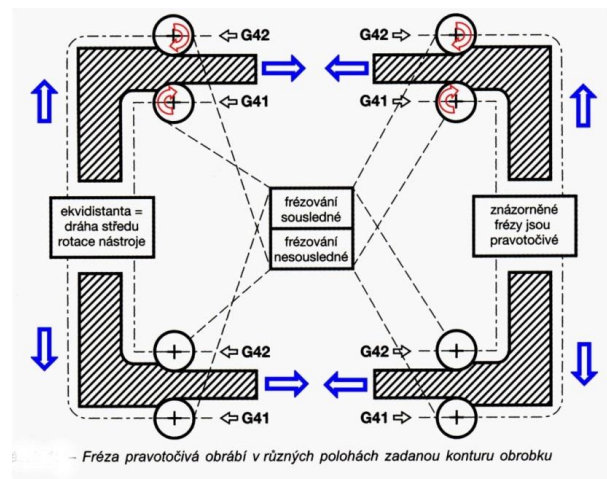
Na polotovaru je nyní přídavek 0,5 mm. Jelikož jsou veškeré dokončované plochy rovnoběžné s osou obrábění (osou Z), je využita funkce *Profile Contouring*. Tato funkce je základní strategií pro obrábění obvodem frézy, tudíž je využitelná pro dokončení boků a vnitřku součásti. V této části je vhodné při generování NC kódu využít boční korekce nástroje. Tímto umožníme snadnou úpravu výsledného rozměru obsluhou stroje, bez toho aby se musel upravovat samotný NC kód.

Při použití boční korekce je programován přímo obvod součásti. Ovládací software stroje obsahuje knihovnu s nástroji, ve které je zadán i průměr nástroje. Program po vyvolání boční korekce (G41 a G42) převezme poloměr z tabulky nástrojů a vytvoří odpovídající ekvidistantu dráhy nástroje o převzatý poloměr. Tohoto lze s výhodou využít pro snadné korigování rozměrů při konturování. Na obrázku 24 je uveden příklad boční korekce při programování v ISO kódu. Z obrázku je zřejmé, že druh boční korekce je závislý i na způsobu obrábění, (zda-li se jedná o sousledné nebo nesousledné obrábění).

Boční část obrobku je možné dokončit na tři vrstvy, tedy v tomto případě hloubka řezu je 14 mm. Vnitřní část součásti je vhodné dokončit na jednu hloubku řezu, která odpovídá 15 mm. Dokončení bude provedeno stejným nástrojem, který byl použit při předchozí operaci, tedy nástrojem  $\varnothing 16$  mm označený jako **F1677.M.020.Z03.40.P**.



Obr. 23: Dráhy nástroje při konturování



Obr. 24: Korekce nástroje [10]



### 5.2.5 Vrtání a závitování

V tuto chvíli je dokončen tvar obrobku z prvního upnutí a nyní zbývá výroba otvorů a závitů. Otvory je možné vytvořit za pomoci funkce *Drilling*. Na obrázku vpravo lze vidět dialogové okno této funkce. V první záložce je možno nadefinovat velikosti nájezdu a přejezdů, v druhé záložce pak lze interaktivně v modelu vybrat otvory, které mají být vrtány. Další záložky jsou shodné jako při použití funkce *Roughing*, která byla již popsána v kapitole 5.2.

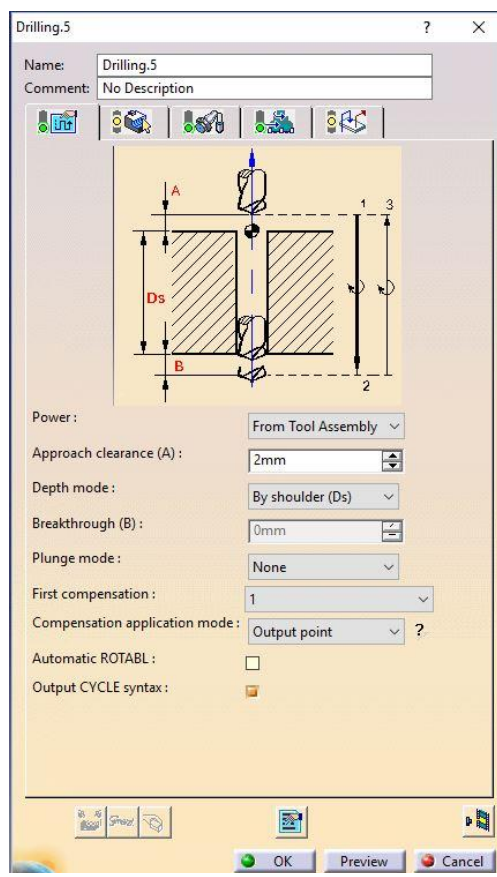
První operací je vrtání otvorů  $\varnothing 12$  mm nástrojem označeným jako **B3213.DF.12,0.Z01.36R** s odpovídající destičkou pro tento nástroj označenou jako **LCMX050203-D57 WAP20**. U této operace řezná kapalina zajišťuje mimo chlazení a mazání také nutný výplach třísky.

V dalším kroku jsou vrtány otvory  $\varnothing 10,5$  mm. Pro tyto otvory je nutno zvolit prodloužený nástroj, jelikož největší vrtaná hloubka je 80 mm. Je tedy nutné zvolit vrták o délce minimálně osminásobku průměru vrtáku. Těmto požadavkům vyhovuje karbidový vrták s chladícím kanálkem označený jako **A3486TIP-10.5**.

Posléze budou vrtány otvory  $\varnothing 10,2$  mm. Na vybraných otvorech, dle výkresové dokumentace, bude později vytvořen závit M12. Průměr 10,2 mm je vhodný průměr otvoru pro dokončení závitu strojním závitníkem. Nástrojem je vrták označený jako **B3213.DF.10,2.Z01.30R** se stejnou destičkou jako u vrtáku  $\varnothing 12$ , tedy s destičkou označenou jako **LCMX050203-D57 WAP20**.

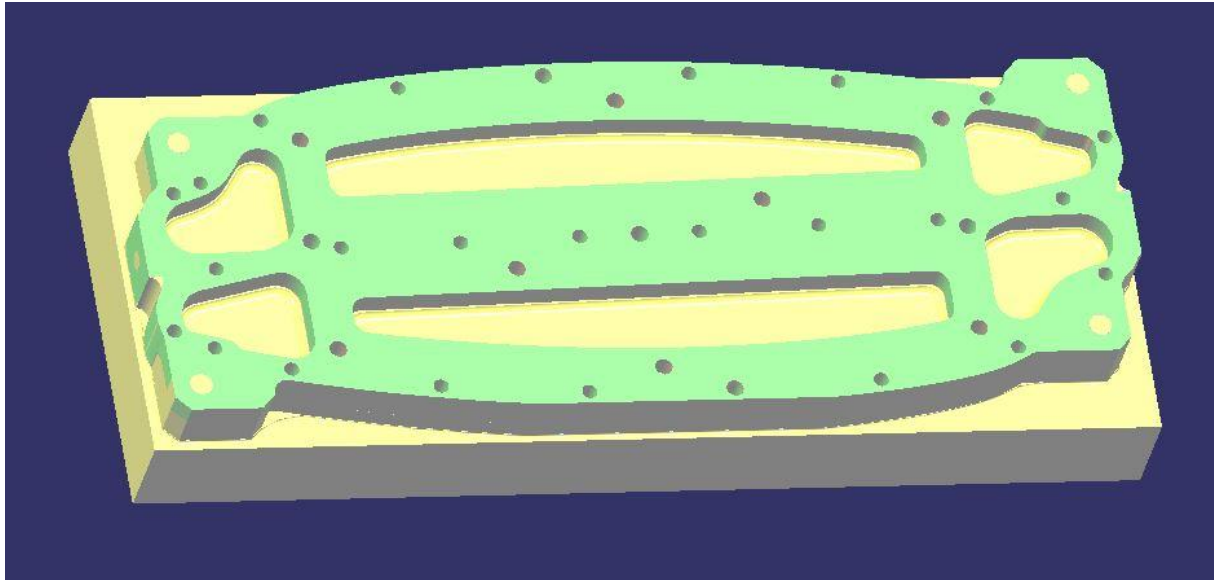
Poslední operací při obrábění z této strany obrobku bude závitování. Stroj Hüller Hille NBH 630 umí synchronizovat posuv s otáčkami nástroje, není tedy nutné používat vyrovnávací hlavičky pro upnutí závitníku. Závit M12 jsou průchozí a jejich hloubka je pouze 15 mm. Podle této skutečnosti byl vybrán vhodný závitník. Závitníky pro slepé a průchozí otvory se mezi sebou liší tvarem šroubovice, která je určena pro obvod třísky z místa řezu. Za vhodný závitník byl zvolen závitník označený jako **7026345-M12**. Pro tvorbu strategie je využita funkce *Tapping*, která je určena pro řezání závitů. Tato funkce má podobné prostředí jako funkce *Drilling*.

Díry 16H7 budou dokončeny při obrábění z druhé strany. Důvodem je zvýšení přesnosti jejich polohy vůči střížným hranám. Při vyvrtání děr z první strany obrábění by do pozic děr byla vnesena nepřesnost vzniklá přeupínáním obrobku. V tuto chvíli je možno považovat obrábění z první strany za dokončené. Nyní je nutné provést přeupnutí obrobku pro obrábění z druhé strany.



Obr. 25: Dialogové okno vrtání

Na obrázku 28 je vidět výsledný obrobek vytvořený simulací systému Catia V5 po obrobení z první strany společně s rozměrovou analýzou. Rozměrová analýza barevně odliší povrchy ploch dle jejich odchylek vůči 3D modelu. Plochy v rozměrové toleranci jsou znázorněny zelenou barvou. Plochy, na kterých je ještě nutné odebrat materiál, se zobrazují žlutou barvou. Tolerance je definována na  $\pm 0,1$  mm.



Obr. 26: Analýza rozměrů

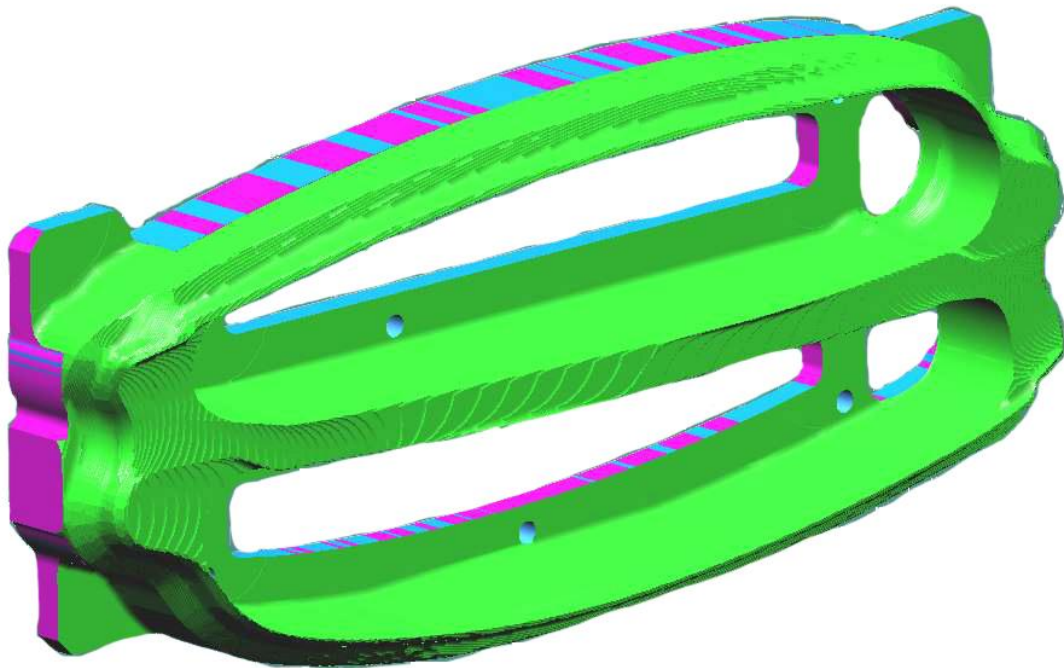
### 5.3 Tvorba obráběcích strategií pro druhou stranu součásti

Po otočení součásti musí obsluha stroje znovu stanovit nulový bod součásti. Nulový bod je umístěn ve středu plochy na spodní straně součásti a toto umístění bude sděleno obsluze ústně. Upnutí polotovaru pro obrábění z druhé strany je popsáno v kapitole 4 - *Návrh výroby*.

#### 5.3.1 Hrubování nástrojem $\varnothing 66$ mm

Stejně jako u hrubování v první části (před otočením obrobku), je snaha zvoleným nástrojem odebrat co nejvíce přebytečného materiálu ve všech místech obrobku. Na veškerých plochách je zanechán přídavek 0,5 mm. Tento přídavek bude později odebrán při dokončovacích operacích. Pro generování drah nástroje byla využita již známá funkce *Roughing*. Obráběno bude frézou o  $\varnothing 66$  mm s kruhovými destičkami označenou jako **F2334.B27.066.Z07.06** s destičkami s radiusem R6 označenými jako **ROHX1204M0-D57 WKP25**. Hloubka řezu  $a_p$  je definována na 1 mm a boční přísuv  $a_e$  na 48 mm.

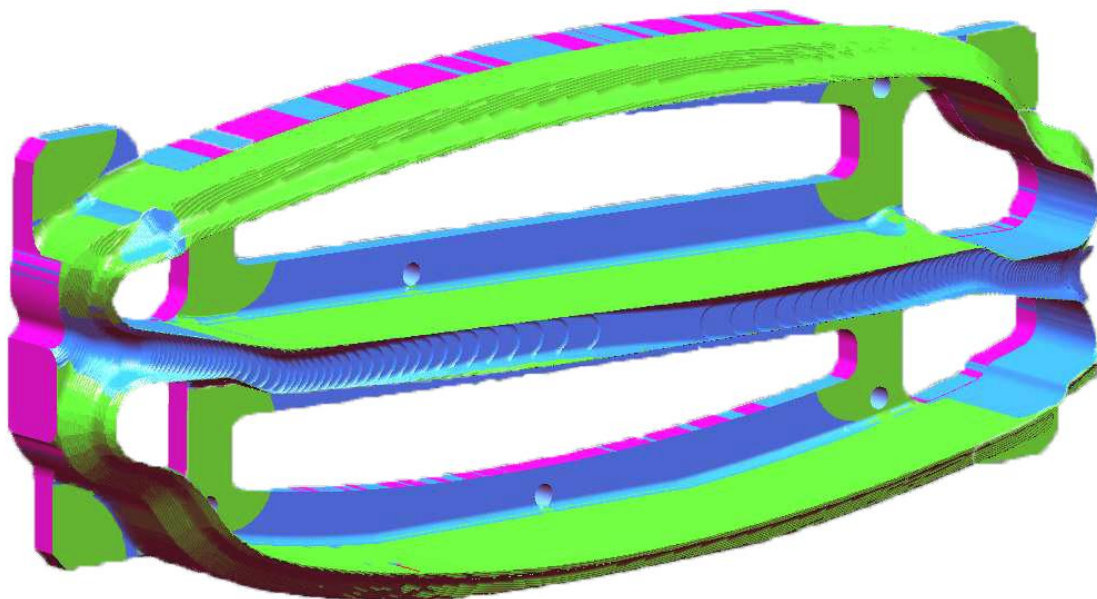
Na obrázku 27 je vidět výsledek obrábění po hrubování nástrojem  $\varnothing 66$  mm.



Obr. 27: Obrobek po hrubování nástrojem  $\varnothing 66$  mm

### 5.3.2 Hrubování nástrojem $\varnothing 24$ mm

Po vyhrubování následuje dohrubování nástrojem o menším průměru. Jelikož na obrobku zůstala nevyhrubovaná místa z důvodu velkého průměru hrubovací frézy, je nutné provést dohrubování těchto míst nástrojem o menším průměru. Znovu byla použita funkce *Roughing*. Pro tuto operaci byl zvolen nástroj, který byl již použit při obrábění z první strany. Jedná se o frézu  $\varnothing 24$  mm s VBD s rádiusem 6 mm, která je označena jako **F2231.M.024.Z02**. Výsledek dohrubování je k vidění na obrázku 28.



Obr. 28: Dohrubování nástrojem  $\varnothing 24$  mm



### 5.3.3 Hrubování kulovou frézou R8

Dalším krokem po dohrubování nástrojem  $\varnothing 24$  mm je dovyhrubování střední části součásti kulovou frézou o vhodném průměru. Ve střední části obrobku se ještě nachází velké množství materiálu k odebrání. Kulová fréza pro dokončování by byla v těchto místech zbytečně nadměrně přetěžována a mohlo by dojít k poškození břitových destiček, proto je nutné v této části provést postupné odbírání materiálu po jednotlivých vrstvách. Byla

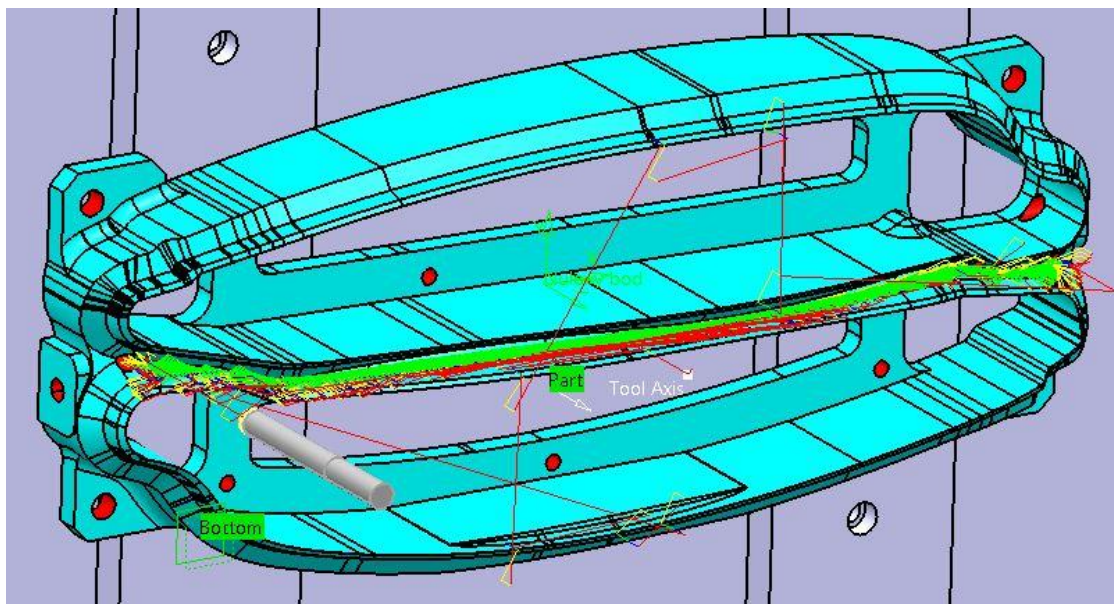


Obr. 29: Kulová fréza [11]

použita již známá funkce Roughing.

Nástrojem pro toto hrubování je kulová fréza  $\varnothing 16$ , která je označena jako **F2339.T14.016.Z02.11** a vhodné destičky pro tento nástroj jsou označeny jako **XDMT1303080R-F55 WKP25**. Maximální hloubka  $a_p$  je omezena na 0,8 mm a maximální velikost bočního úběru  $a_e$  je omezena na 10 mm. Při obrábění kulovou frézou je zapotřebí brát v úvahu, že v ose nástroje je nulová řezná rychlost, nástroj by tedy neměl vykonávat nájezdy do materiálu jen v jeho ose otáčení (osa Z).

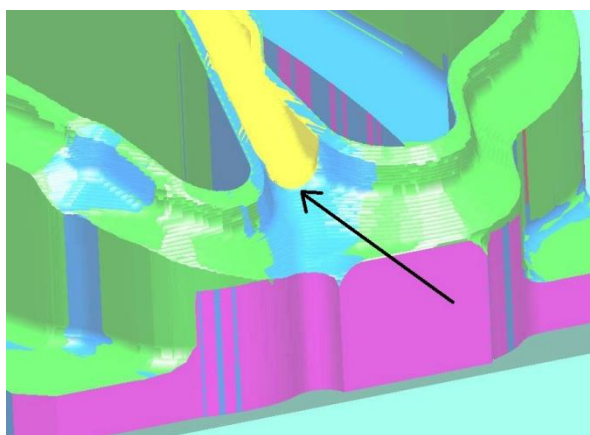
Na obrázku 30 jsou vidět vygenerované dráhy nástroje pro kulovou frézu  $\varnothing 16$ . Z obrázku je zřejmé, že dohrubování je prováděno jen ve střední části obrobku.



Obr. 30: Dráhy kulové frézy

### 5.3.4 Dokončování nahrubo

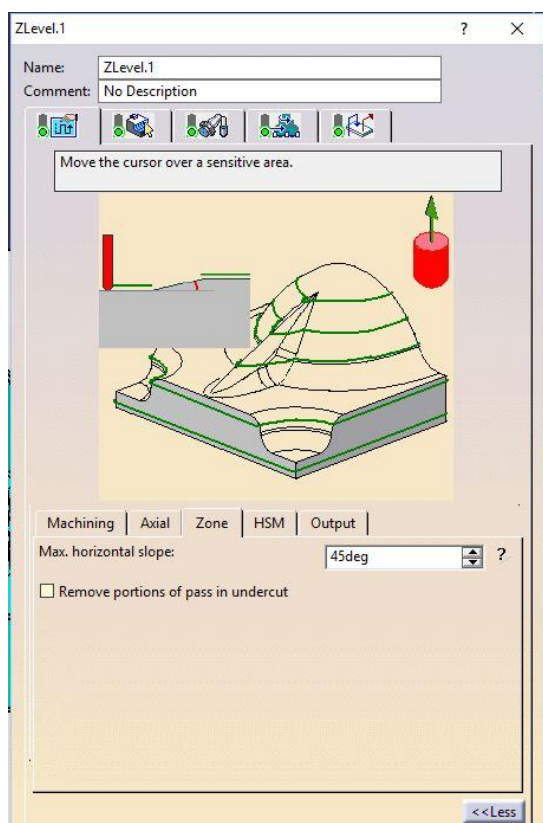
V této části je možno považovat obrobek za vyhrubovaný, nyní je tedy možno přejít k dokončovacím operacím. Pro dokonalý povrch při dokončování se vyžaduje, aby dokončovací kulová fréza měla vysokou stabilitu řezu. Z toho plyne, že je požadováno, aby na polotovaru byly téměř stejné přírůstky materiálu ve všech jeho částech. Na obrobku lze nyní ještě nalézt problematické oblasti, které je potřeba upravit pro pozdější dokončování. Na nejvíce problematickou oblast je poukázáno na obrázku 31. V této části zůstává ještě velké množství materiálu. Za pomoci funkcí *ZLevel* a *Sweeping* bude odebrán tento zbytkový materiál.



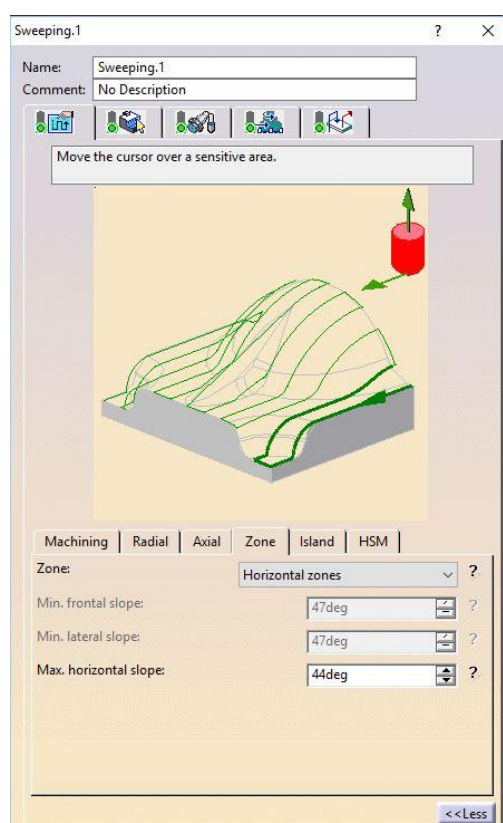
Obr. 31: Problematická oblast

Jak již název funkce napovídá, funkce *ZLevel* odebrává materiál po jednotlivých vrstvách podobně jako funkce *Roughin.*, Vzdálenost mezi těmito vrstvami se rovná hloubce řezu  $a_p$ . Tato strategie se hodí pro obrábění vertikálních a šikmých ploch na součásti. V jedné ze záložek dialogového okna této strategie je k dispozici možnost pro omezení strmosti plochy. Pod tento úhel již nebudou generovány dráhy nástroje. Šikmou plochou se rozumí úhel plochy cca 45 až 90°.

Funkce *Sweeping* je opakem předchozí funkce. Funkce generuje dráhy nástroje, které plynule kopírují tvar součásti v zadaném směru. Dráhy jsou od sebe ve vzdálenosti, která se rovná vzdálenosti bočního (radiálního) přísuvu, tedy vzdálenosti  $a_e$ . Tato strategie je vhodná pro obrábění horizontálních a šikmých ploch do přibližně 45°. Dráhy nástroje pro jednotlivé funkce jsou zřejmé z obrázků 32 a 33.

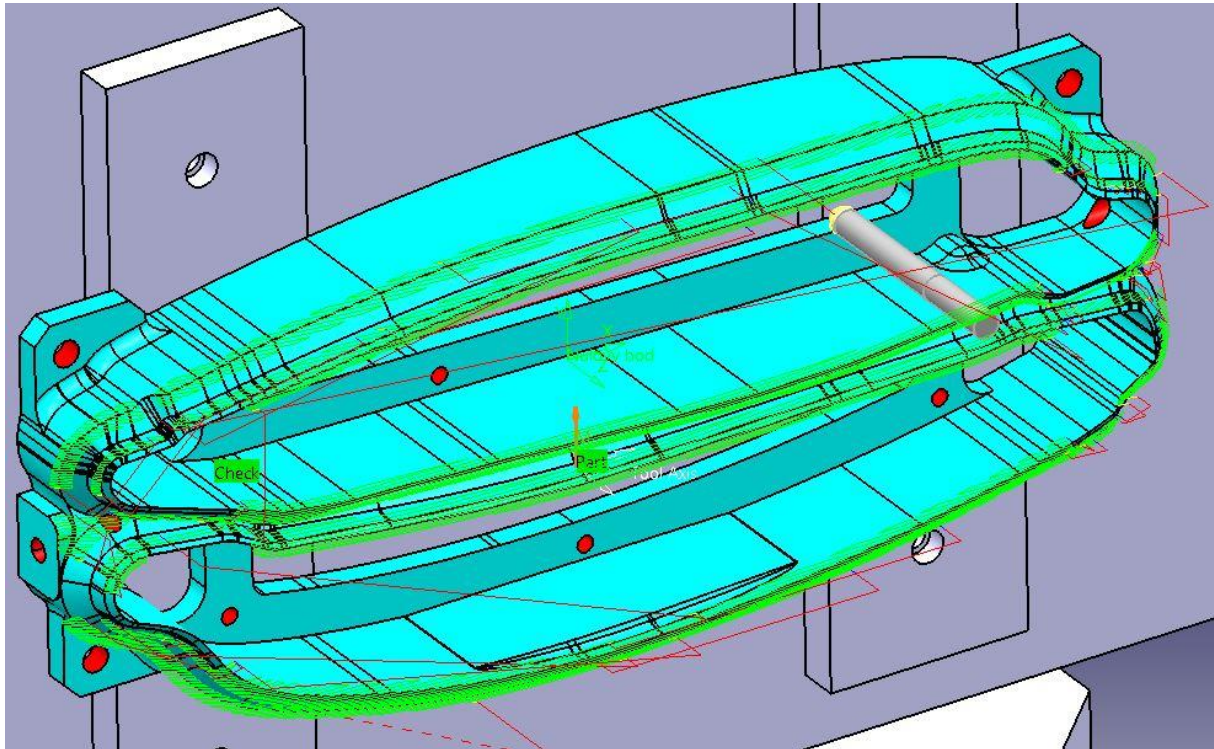


Obr. 33: Dialogové okno - ZLevel



Obr. 32: Dialogové okno - Sweeping

Pro tuto část obrábění byl využit stejný nástroj jako v předchozí operaci, tedy kulová fréza  $\varnothing 16$ . U operace *ZLevel* je hloubka řezu  $a_p$  omezena na 1,6 mm, boční přísuv se u této operace nedefinuje. U operace *Sweeping* je maximální hloubka řezu  $a_p$  omezena na 1 mm a boční přísuv  $a_e$  je definován na 1,6 mm. Přídavek na plochy pro finální dokončování byl stanoven na 0,3 mm. Těmito operacemi připravíme obrobek pro finální dokončování (šlichtování). Dráhy nástroje, které jsou vygenerovány funkcí *Sweeping*, lze vidět na obrázku 34 zelenou barvou. Červenou barvou jsou vyznačeny přejezdové dráhy nástroje, tyto dráhy jsou vykonávány rychloposuvem stroje.



Obr. 34: Dráhy nástroje při použití funkce *Sweeping*

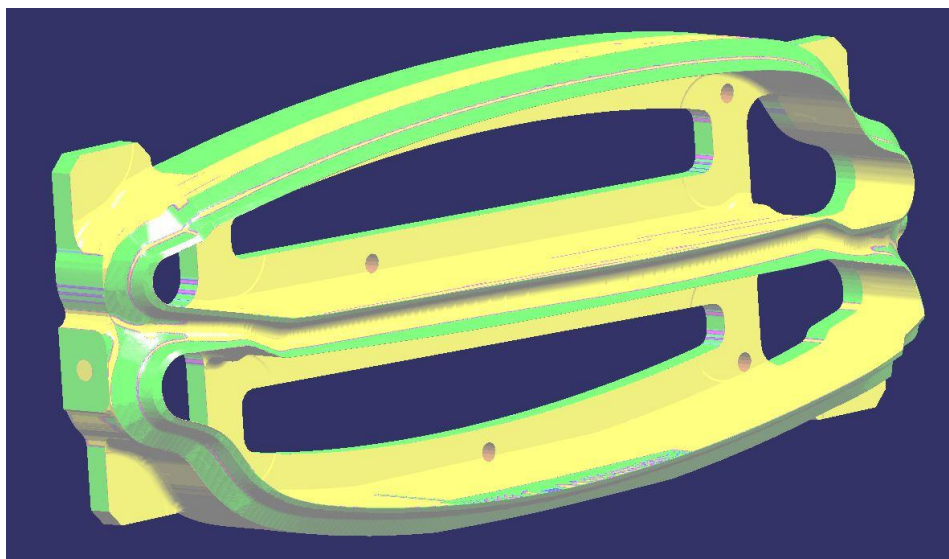
### 5.3.5 Dokončování tvarových ploch

Nyní je na plochách přídavek 0,3 mm pro dokončení. Pro dokončování je využito opět funkcí *ZLevel* a *Sweeping* a stejného nástroje jako v předchozím kroku. Změnou v této operaci vůči předchozímu kroku jsou velikosti přísuvu a hloubky řezu. Nyní je maximální boční přísuv pro obě funkce 0,5 mm. Maximální hloubka řezu vyplývá z přídavku materiálu, tedy její hodnota je 0,3 mm. Nízká velikost bočního přísuvu v kombinaci s kulovou frézou  $\varnothing 16$  by měla zajistit dostatečně přesné rozměry společně s vyhovující drsností povrchu. Dráhy nástroje jsou podobné dráhám, které jsou zobrazeny na obrázku 34.



### 5.3.6 Frézování malých prostorů

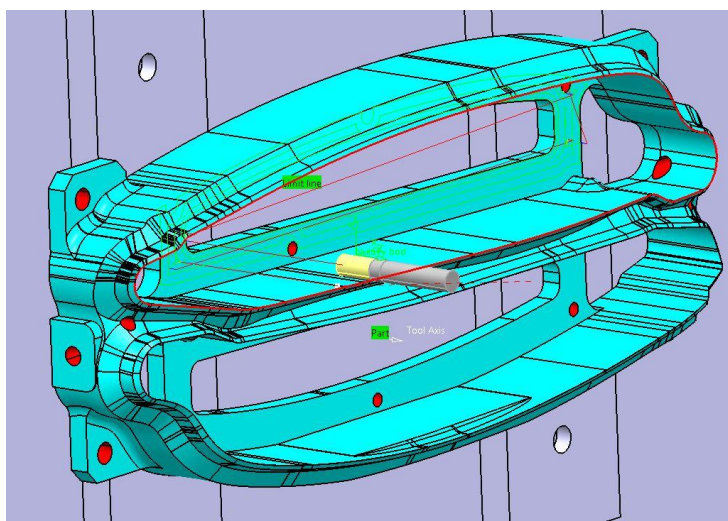
Pokud je nyní součást podrobena analýze rozměrů (obrázek 35), je možno zjistit, že v některých oblastech střední části zbývá k odebrání ještě až 4 mm materiálu. Tato oblast je tedy postupně dokončena dvěma průměry nástrojů, konkrétně kulovými frézami o průměrech 10 a 6 mm. Toto opatření zaručí dokončení všech malých radiusů do velikosti R3, které se nacházejí v blízkosti funkčních ploch. Je opět využito již známé funkce *Roughing*. Tuto funkci lze mimo hrubování použít i jako funkci pro dokončování. Při správném nastavení parametrů se tato funkce chová podobně jako funkce *ZLevel*. Použitými nástroji budou kulové frézy označeny jako **H8016418-10** a **H8016418-6** hloubky řezu jsou u obou fréz stejné a jsou stanoveny na 0,4 mm. Boční přísuv je definován u obou fréz také na 0,4 mm.



Obr. 35: Analýza rozměrů po dokončení tvarových ploch

### 5.3.7 Dokončování rovinných a vertikálních ploch

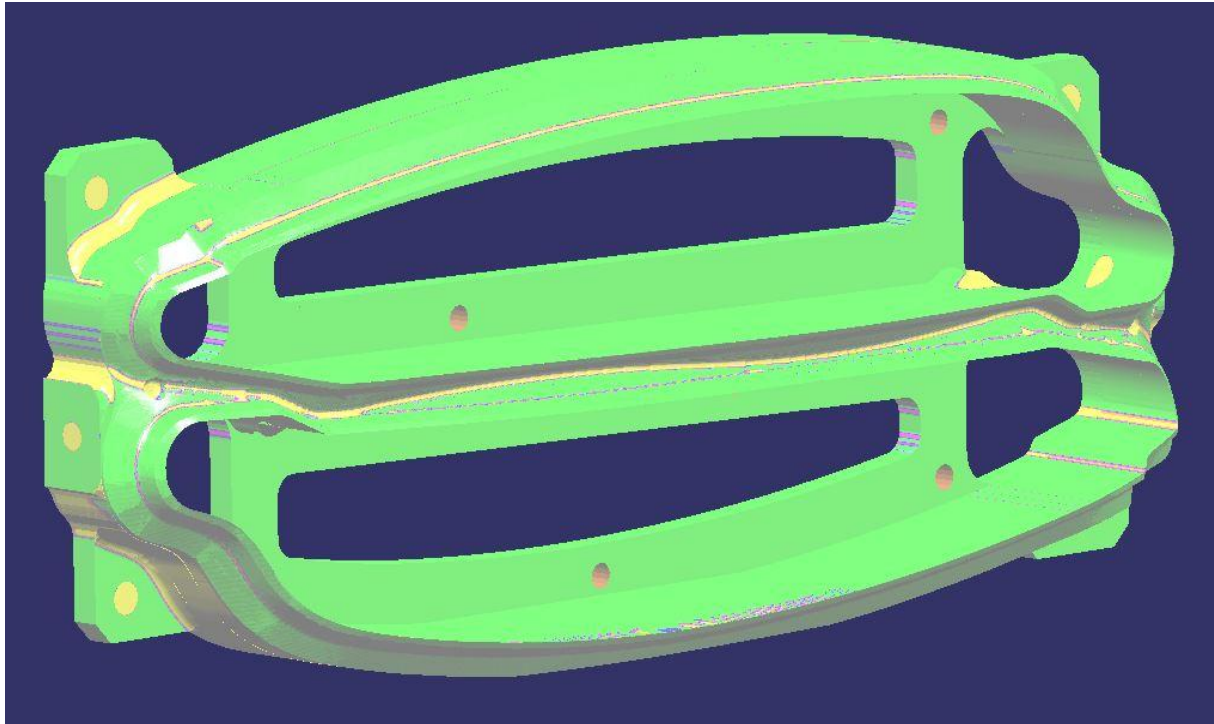
Nyní je možno přejít k dokončení vertikálních a horizontálních ploch. Jedná se o obvod součásti a o dno součásti. Pro obrobení dna součásti byla využita funkce *Spiral milling*. Tato funkce slouží pro dokončování rovinných ploch, plochy na dně součásti mezi tyto plochy patří. No obrázku 36 jsou vidět dráhy nástroje při použití této funkce. Pro tyto operace bude použit stejný nástroj, který byl použit v kapitole 5.2.3. Jedná se o nástroj  $\varnothing 16$  mm. Maximální hloubka řezu je definována dle přídavku materiálu tak, aby obrobení bylo provedeno na jednu vrstvu. V tomto případě je tedy hloubka řezu 0,5 mm. Boční přísuv nástroje je stanoven na 8 mm.



Obr. 36: Dráhy při použití funkce *Spiral milling*

Pro dokončení vertikálních ploch uvnitř a zvenčí součásti byla použita již známá funkce *Profile Contouring*. Vnitřní i vnější obvod součásti byl dokončen na tři hladiny, aby nedošlo k přetížení nástroje.

Na obrázku 37 je vidět součást po dokončení obrábění všemi frézovacími nástroji. Plochy, které se ještě zobrazují jinou než zelenou barvou, jsou rádiusy, které nejsou funkčními plochami. Tyto plochy již není nutné více dokončovat. Jejich dokončování by zbytečně zvyšovalo časovou náročnost při obrábění a tím dále zvyšovalo cenu obrábění. Obrobení součásti je již nyní velice časově náročné. Dále se přechází k vrtání zbývajících otvorů.



Obr. 37: Analýza rozměrů po dokončení frézování

### 5.3.8 Vrtání děr $\varnothing 10$ a $\varnothing 16H7$

Nyní zbývá pouze vyvrtat otvory dvou různých průměrů za pomoci již dříve použité funkce *Drilling*. Jak již bylo zmíněno, otvory  $\varnothing 10$  mm se nacházejí na šikmých plochách, tedy při výběru nástroje musíme vybírat takový nástroj, který má v možnostech použití vrtání na šikmé ploše. Tyto požadavky splňuje nástroj, který je označen jako **B3213.DF.10,0Z01.30R** s destičkou označenou jako **LCMX050203-D57 WAP20**.

Otvor  $\varnothing 16$  má tolerovaný průměr, bude tedy nutné, aby byl dokončen výstružníkem o vhodném rozměru. Jak již bylo zmíněno při návrhu strategie obrábění, tento otvor mohl být vytvořen i při prvním upnutí součásti, ale vytvořením tohoto otvoru až při druhém upnutí zajistíme přesnější polohu otvoru vůči střížné hraně. Kdyby byl tento přesný průměr vytvořen při prvním upnutí, byla by vnášena odchylka polohy otvoru. Tato odchylka by mohla vzniknout při ustavování obrobku pro druhé upnutí. Vrtákem  $\varnothing 15,8$  mm je předvrtán otvor pro následné vystružování, tento nástroj je označen jako **A3885TFL-15.8**. Dále se za pomoci funkce *Reaming* provede vystružení nástrojem **F4162-16**.

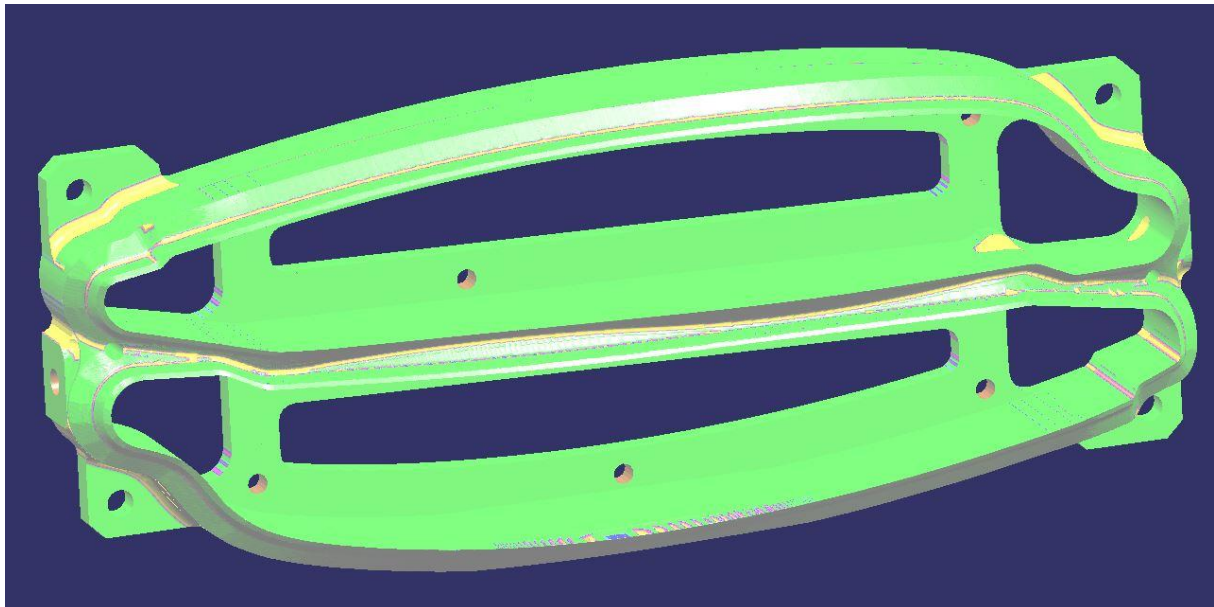


### 5.3.9 Tvorba závitu M16

Závit M16 se nachází na boku součásti, nyní je možno využít otočného stolu stroje a pootočit obrobkem o 90°. Je opět využito standardní strategie *Drilling* a *Tapping*. Vhodný vrták je jsou označen jako **B3213.DF.14,0.Z01.42R** s destičkou označenou jako **LCMX06T204-D57 WAP20**. Závitník je označen jako **7026345-M16**.

Na obrázku 38 je možné vidět kompletně obrobenu součást. Z obrázku je zřejmé, že materiál k odebrání zůstal jen v koutech s malými rádiusy. Jak již bylo řečeno, tyto plochy nejsou funkčními plochami a není tedy nutné je dále obrábět. V tuto chvíli je možné považovat součást za kompletně dokončenou.

V některých částech obrobku je možné si při analýze rozměrů všimnout ještě rozměrových odchylek od 3D modelu. Tedy mimo rádiusů se i další plochy zobrazují jinou než zelenou barvou. Tyto odchylky vznikly nepřesností výpočtu simulace, jelikož pro rychlejší výpočet drah nástrojů byla snížena přesnost výpočtů. Před finálním generováním NC kódu by bylo nutné zvýšit přesnost výpočtu a zpřesnit dráhy nástrojů.

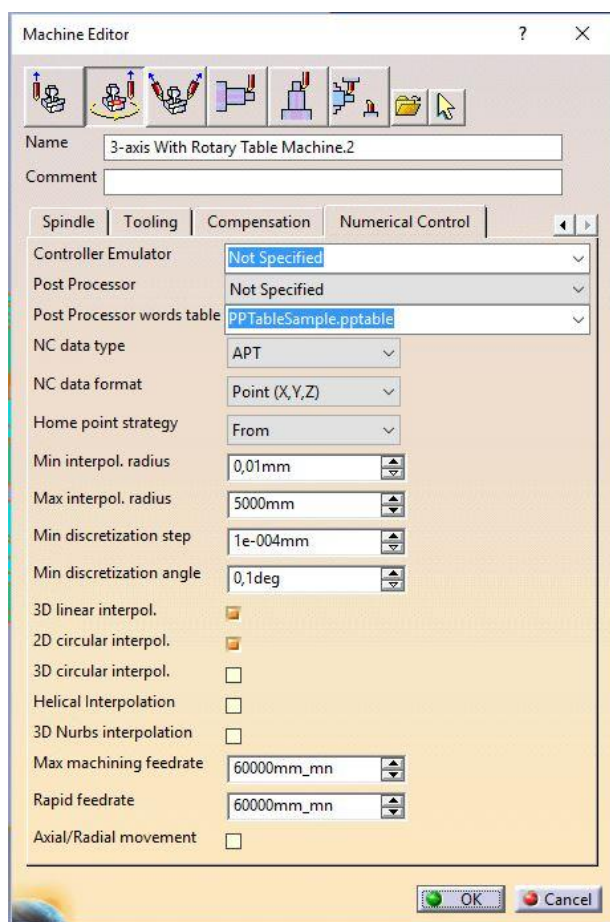


Obr. 38: Analýza rozměrů při plně obrobene součásti

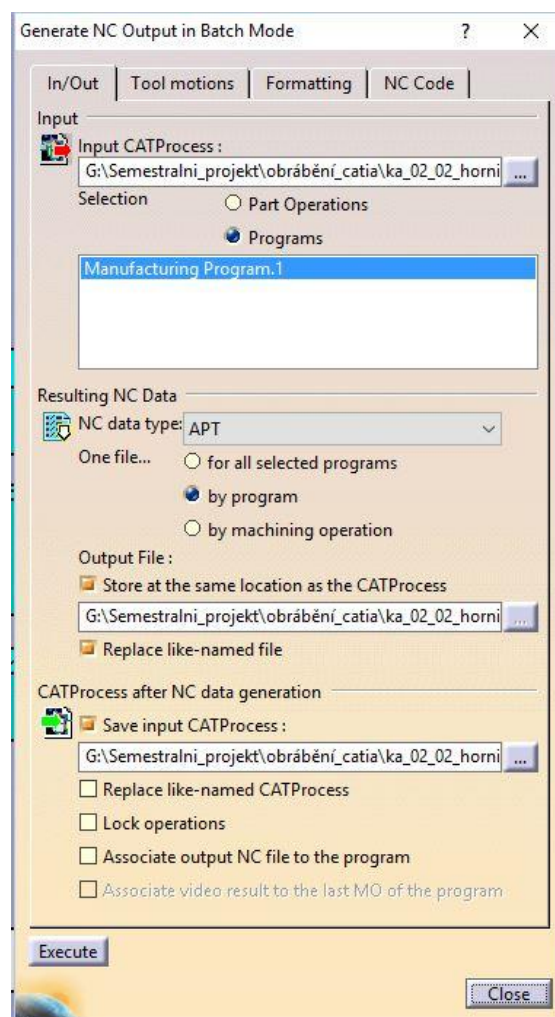
## 5.4 Export programu do NC dat

Pro dokončení celého procesu tvorby strategie je nyní nutné exportovat programy pro první a druhé upnutí do NC kódu, který je čitelný strojem Hüller Hille NBH 630 s řídicím systémem Siemens 840D. Použitý CAM systém negeneruje přímo NC program, ale pouze tzv. *CL data* ve formátu *APT*. Tyto *CL data* jsou generována dle navržených drah obrábění. *CL data* ve formátu *APT* je nutné dále konvertovat externím postprocesorem na konečný NC kód. Pro generování NC kódu je nutné nastavit vhodný postprocesor. Toto nastavení se provádí otevřením položky *Machine* v dialogovém okně označené jako *Part Operation*. Dále je nutné zvolit záložku *Numerical control*. V této záložce je posléze vybrán vhodný postprocesor pro vybraný stroj (Obr. 39). Dále se výběrem ikony *Generate NC code in batch mode* otevře dialogové okno stejného názvu jako je název ikony (Obr 40). Zde je nutné zvolit vhodný výběr formátu pro *CL data*. Po kliknutí na ikonu *Execute* dojde ke generování *CL dat*.

Generování NC dat není ve výukových verzích Catia umožněno, proto výsledný NC kód nebude přiložen v přílohách této práce. NC kód bude generován ihned po získání vhodného postprocesoru. *CL data* ve formátu *APT* jsou přiložena na CD, které je součástí této práce.



Obr. 39: Dialogové okno - Machine Editor



Obr. 40: Dialogové okno - Generate NC Output in Batch Mode

## 6. Závěr

Cílem této práce bylo vytvoření technologie výroby střížníku, která je součástí střížného nástroje pro vystříhování akustických dílů v automobilech. Součástí práce bylo vytvoření navržené technologie v CAM systému Catia V5, aby mohla být součástí obrobena na stroji s CNC řízením. Tato zakázka pro KKS nebyla dosud realizována, tudíž výsledek zvolené technologie při obrábění nebylo možné ověřit. Musíme tedy vycházet pouze z analýzy rozměrů modelu, který je vytvořen simulací obrábění.

Při návrhu technologie bylo nutné vyzkoušet více strategií, aby strojní čas byl co nejnižší a rozměry, respektive kvalita, povrchu dosahovala co nejvyšší možné jakosti. Do této bakalářské práce byly posléze vybrány nejvhodnější strategie pro výrobu součásti. Strojní čas, který byl vypočten systémem Catia V5, vyšel celkově na cca 20 hodin. Z polotovaru bylo odebráno 80% materiálu. Je tedy zřejmé, že výroba takovýchto součástí je velice časově i ekonomicky náročná. Jelikož byla zadána výroba jen jednoho kusu, nebylo by ekonomicky výhodné polotovar připravovat za pomoci dalších technologií než je třískové obrábění. Při výrobě více kusů by bylo vhodné uvažovat o přípravě polotovaru. Příkladem může být vyříznutí průchozích kapsových otvorů drátořezem. Tímto opatřením bychom snížili časovou náročnost pro hrubovací operace a tím snížili časovou i ekonomickou náročnost výroby. Hrubovací operace se podílejí na výsledném čase obrábění ve velké míře. Konkrétně se jedná o přibližně 75% času obrábění.

Způsob obrábění byl limitován výrobními prostředky. Pokud by byl k dispozici stroj s kontinuálním řízením pěti os, bylo by možné jej s výhodou využít k vyklánění nástroje tak, aby šikmá rezná hrana mohla být dokončena tečně bokem nástroje. Touto možností by byla střížná hrana vyrobená ve vyšší kvalitě, než při použití zvolených technologií, které jsou uvedeny v této bakalářské práci. Zřejmě by došlo i ke snížení strojních časů a tím by opět došlo k efektivnější výrobě. Je možné, že existuje další vhodná strategie pro výrobu součásti, než byla uvedena při navrhování strategie výroby, je ale nutné zvážit poměr mezi časem nutným pro vývoj zlepšení technologie a časem uspořeným při výrobě součásti.

## Seznam použité literatury

1. Převodník materiálů. Preciz s.r.o. [online]. 2012 [cit. 2016-02-04]. Dostupné z: <http://www.preciz.cz/sluzby-hlavni/material-normal/1.2312>
2. Pokolm: *Katalog a technická příručka* [online]. Pokolm Frästechnik GmbH, 2012 [cit. 2016-05-03]. Dostupné z: <https://www.pokolm.de/cz/downloads/?did=60>
3. FFG Werke - NBH 630. *FFG Werke* [online]. FFG Werke, 2016 [cit. 2016-05-03]. Dostupné z: <https://www.ffg-werke.com/en/ffg-europe/products-services/milling/horizontal-machining-centers/nbh/nbh-630.html#c1659>
4. *REIMMANN AG* [online]. Mönchaltorf: Reimann AG, 2014 [cit. 2016-05-03]. Dostupné z: <http://www.reimann.ch/htm/393/de/nbh-170-nbh-230-nbh-350.htm?Produkte=14979&output=print&Categorie=Fraesen&Hersteller=2626>
5. *Robust side clamps*. Norelem [online]. 2014 [cit. 2014-11-11]. Dostupné z: [http://www.norelem.com/xs\\_db/BILD\\_DB/0/www/750/04500.jpg](http://www.norelem.com/xs_db/BILD_DB/0/www/750/04500.jpg)
6. *WALMAG MAGNETICS: Břemenové magnety* [online]. Kroměříž: Walmag, 2012 [cit. 2016-05-04]. Dostupné z: <http://www.walmag.cz/cs/produkty/manipulace/bremenove-magnety/>
7. *Iteco s.r.o.: Sloupové jeřáby* [online]. Brno: Iteco, 2012 [cit. 2016-05-04]. Dostupné z: <http://www.iteco.cz/katalog-0/>
8. *Dokumentation NBH630-3: CNC obráběcí centrum*. Strojírna Vimperk s. r. o., 2014
9. *Walter-tools* [online]. Kuřim: Water, 2016 [cit. 2016-05-07]. Dostupné z: <https://www.walter-tools.com>
10. *Programování a simulace CNC strojů II.: Digitální učební materiály* [online]. 2013 [cit. 2014-11-11]. Dostupné z: [www.dumy.cz/stahnout/102323](http://www.dumy.cz/stahnout/102323)
11. *Souhrnný katalog* [online]. Kuřim: Walter, 2012 [cit. 2016-05-08]. Dostupné z: [https://waltertools.blaetterkatalog.de/gc2012/cz/#page\\_1](https://waltertools.blaetterkatalog.de/gc2012/cz/#page_1)
12. JANDEČKA, K., J. ČESÁNEK a P. KOŽMÍN. ZČU. Programování NC strojů. 2000.
13. VRABEC, M., J. MÁDL. ČVUT. NC programování v obrábění. 2004.
14. STANĚK, J., J. NĚMEJC a. ZČU. Metodika zpracování a úprava diplomových prací. 2005.

## Seznam příloh

Příloha č. 1 – Vlastností stroje Hüller Hille NBH 630

Příloha č. 2 – Vlastností stroje Hüller Hille NBH 230

Příloha č. 3 – Výrobní výkres součásti pro vrtání a závitování KA02.02.2.02

Příloha č. 4 – Výrobní výkres součásti pro určení polotovaru KA02.02.2.01

Příloha č. 5 – Výkres sestavy střížného nástroje

## ***Příloha č. 1***

**Vlastnosti stroje Hüller Hille NBH 630**

<b>Hüller Hille NBH 630</b>			
<b>Posuvy</b>	Rozsah osy	X – pojíždí vřeteník	1025 mm
		Y – pojíždí vřeteník	800 mm
		Z – pojíždí stůl	1000 mm
	Síla posuvů	X	15000 N
		Y	10000 N
		Z	15000 N
	Zrychlení v ose X, Y, Z		7 m/s <sup>2</sup>
	Rychlost posuvů v ose X, Y, Z		1 – 70000 mm/min
	Rychloposuv		70 m/min
Polohovací nejistota		0,007 mm	
<b>Paleta</b>	Upínací plocha		630 x 630 mm
	Max. výška přípravku		1500 mm
	Čas výměny palety		cca 15 s
	Max. přepravní zatížení		1300 kg
	Max šířka přípravku		1150 mm
<b>NC stůl s momentovým pohonem</b>	Nejmenší krok		0,001 °
	Polohovací nejistota		0,0014°
	Otáčky osy B		80 1/min
<b>Vřeteno</b>	Max. otáčky		8000 ot/min
	Upínací kužel		SK 50
	Jmenovitý výkon		37 kW
	Průměr v předním ložisku		100 mm
<b>Zásobník nástrojů s MCS</b>	Počet nástrojů		150 ks (3x50 ks)
	Max hmotnost nástroje		40 kg
	Max. délka nástroje		800 mm
	Max. průměr nástroje		125 mm
	Doba výměny nástroje		3,5 s
<b>Řízení</b>			Siemens 840 D
<b>Hmotnost stroje</b>			24 000 kg

## ***Příloha č. 2***

**Vlastnosti stroje Hüller Hille NBH 230**

<b>Hüller Hille NBH 230</b>			
<b>Posuvy</b>	Rozsah osy	X – pojíždí stůl	1200 mm
		Y – pojíždí vřeteník	800 mm
		Z – pojíždí vřeteník	1200 mm
	Síla posuvů	X	15000 N
		Y	15000 N
		Z	10000 N
	Zrychlení v ose X, Y, Z		6 m/s <sup>2</sup>
	Rychlost posuvů v ose X, Y, Z		1 – 60000 mm/min
	Rychloposuv		60 m/min
Polohovací nejistota		0,007 mm	
<b>Paleta</b>	Upínací plocha		630 x 800 mm
	Max. výška přípravku		1355 mm
	Čas výměny palety		cca 10-11 s
	Max. přepravní zatížení		1200 kg
	Max. šířka přípravku		1250 mm
<b>NC stůl s momentovým pohonem</b>	Nejmenší krok		0,001 °
	Polohovací nejistota		±0,001°
	Otáčky osy B		15 1/min
<b>Vřeteno</b>	Max. otáčky		6000 1/min
	Upínací kužel		SK 50
	Jmenovitý výkon		37 kW
	Průměr v předním ložisku		100 mm
<b>Zásobník nástrojů s MCS</b>	Počet nástrojů		100 ks (2x50 ks)
	Max. hmotnost nástroje		40 kg
	Max. délka nástroje		650 mm
	Max. průměr nástroje		100 mm
	Doba výměny nástroje		3,5 s
<b>Řízení</b>			Siemens 840 D
<b>Hmotnost stroje</b>			32 000 kg



## ***Příloha č. 3***

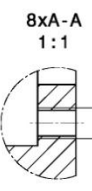
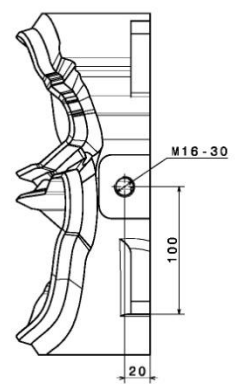
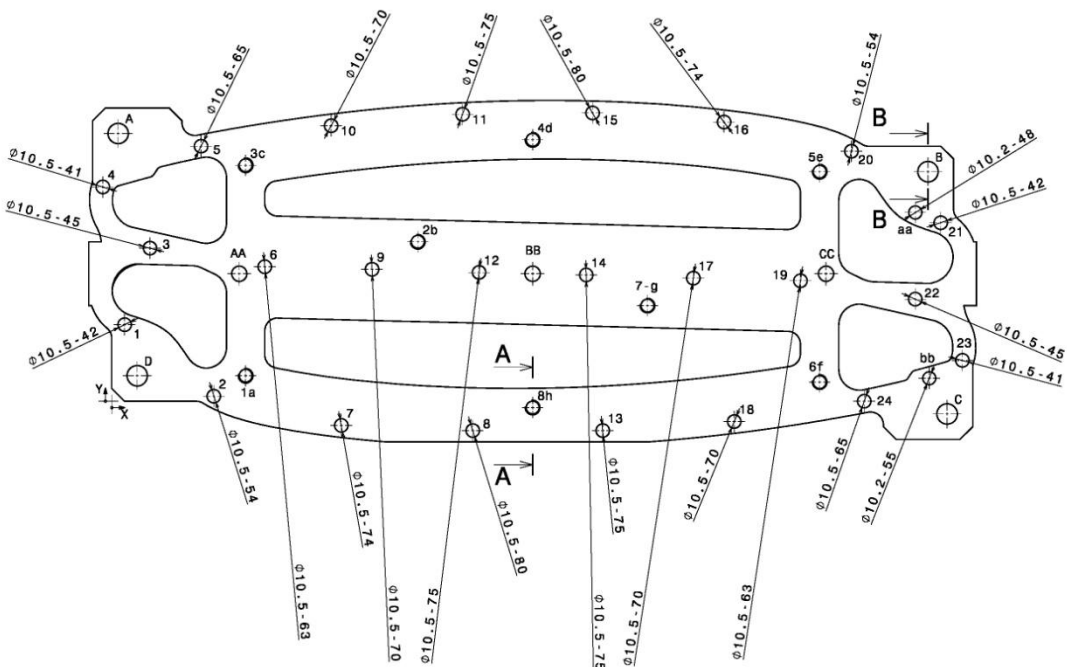
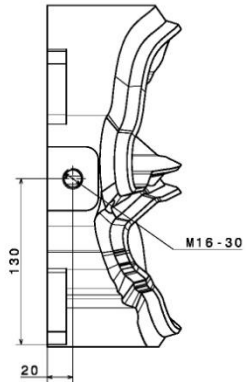
**Výrobní výkres součásti pro vrtání a závitování  
vyráběné součásti**

**(dodán katedrou KKS ve formátu \*.pdf)**

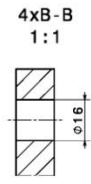


## ***Příloha č. 4***

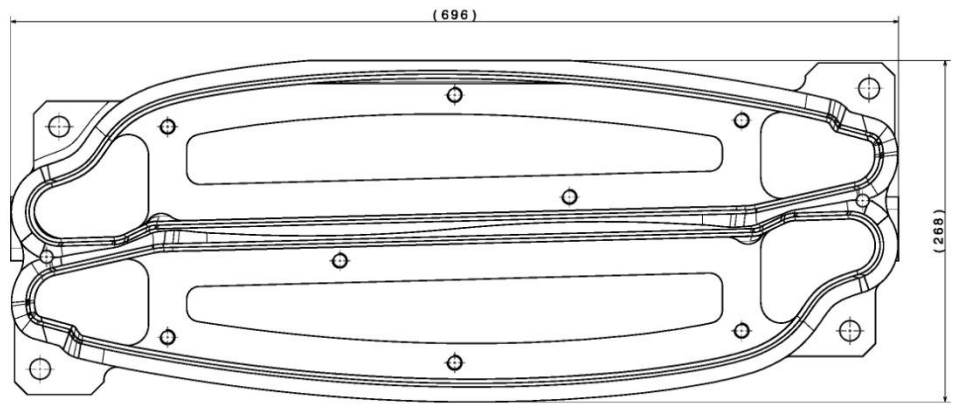
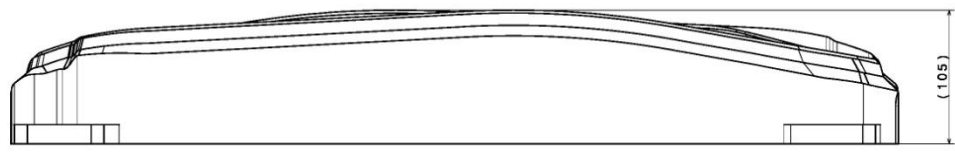
**Výrobní výkres součásti pro určení polotovaru  
(dodán katedrou KKS ve formátu \*.pdf)**



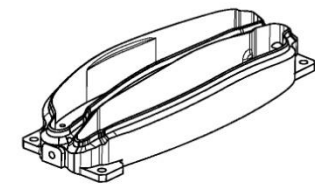
A-A		
REF.	X	Y
1a	105	20
2b	240	125
3c	105	185
4d	330	205
5e	555	180
6f	555	15
7g	420	75
8h	330	-5



B-B		
REF.	X	Y
A	5	210
B	640	180
C	655	-10
D	20	20



IZOMETRICKY POHLÉ



<math>\phi 12-30</math>		
REF.	X	Y
AA	100	100
BB	330	100
CC	560	100

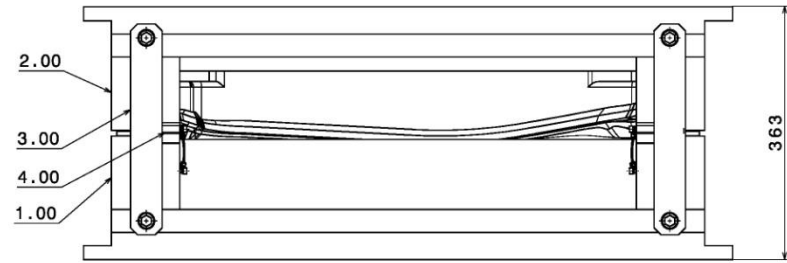
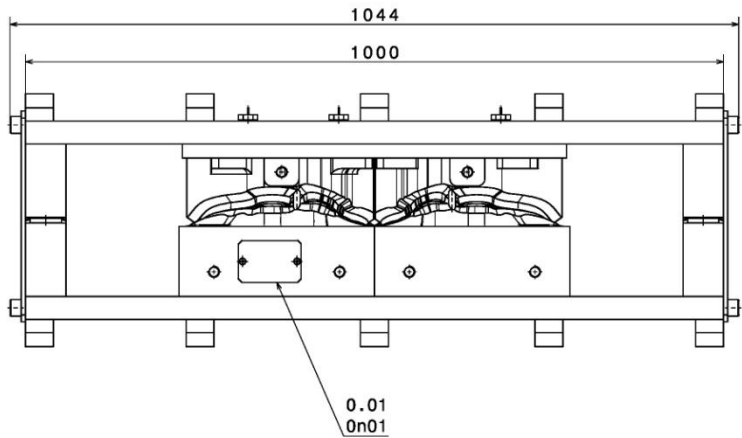
<math>\phi 10,2</math>		
REF.	X	Y
aa	630	148
bb	641	18

<math>\phi 10,5</math>		
REF.	X	Y
1	10	60
2	80	4
3	30	120
4	-7	168
5	70	200
6	120	105,5
7	180	-19
8	283	-23
9	204	103,5
10	172	216
11	275	225
12	288	101
13	385	-23
14	372	99
15	377	226
16	480	219
17	456	96,5
18	488	-16
19	540	94,5
20	580	196
21	650	140
22	630	80
23	667	32
24	590	0

Z.01	70679410		1920	08	33.9		KA02.02.2.01		
File:	Name: horky	Project:	Material:	1:1	C.1:1	Form:	Case system setting	Sheet no.	
File:	100-100	Item:	Material:	1:1	Weight:	Length:	Assembly drawing no.	Sheet	
GR22	Author / Date:	Drawn / Name:							
Checked by:	24/02/12	GRAC1							
Approved by:									
Reference:	Project name / change number:	Order / APR	Order / Date:	Project / Signature:	Printer / Date:				
Standard /	Project model / ARM file:	Project / Project:							
ISO 101	ISO 8015	ISO 8015	ISO 8015	ISO 8015	ISO 8015	ISO 8015	ISO 8015	ISO 8015	
	KA02.02.01.CAD/Draw	KA02	KA02.02.2.00	1:2					
<b>HORKY NUZ</b>									
Scale:	0	1	2	3	4	5	6	7	
Sheet no.:	0	1	2	3	4	5	6	7	
File name:	KA02.02.2.01	Sheet no.:	1	File title / sheet					

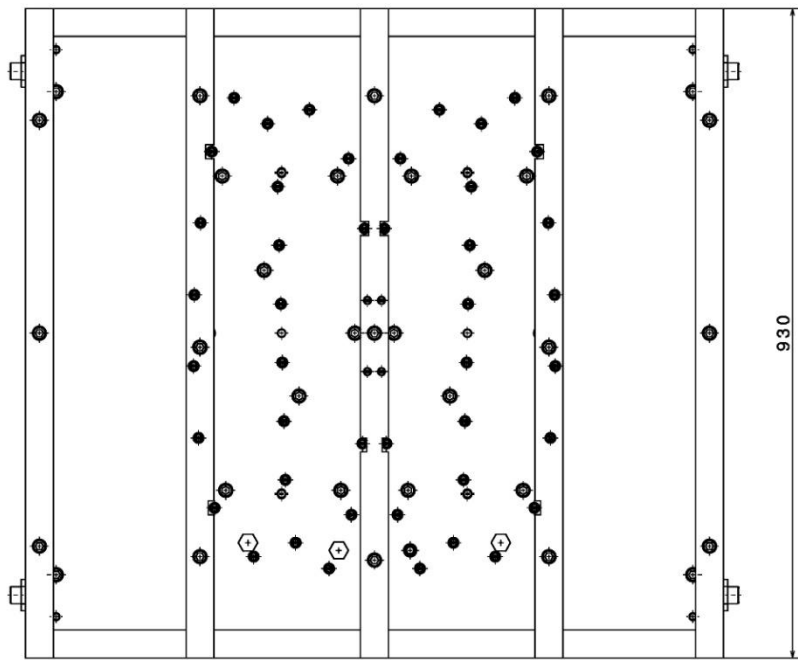
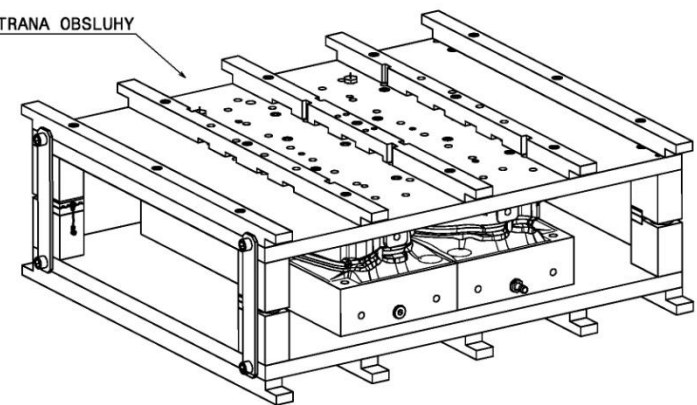
## ***Příloha č. 5***

**Výkres sestavy střížného nástroje  
(dodán katedrou KKS ve formátu \*.pdf)**



IZOMETRICKY POHLED

STRANA OBSLUHY



TECHNICKE POZADAVKY:  
1. STITEK 0.01 MONTAZNE PRIPEVNIT K NASTROJI ZE STRANY OBSLUHY

0n01	SROUB - M4x10	ISO 10642	-	-	0,001	-	-	2
4.00	SEST. TRANSP. DESTICKY				1	-	KA02.02.4.00	1
3.00	TRANSPORTNI_PASY				2	-	KA02.02.3.00	1
2.00	HORNI NASTROJ				423	-	KA02.02.2.00	1
1.00	SPODNI NASTROJ				387,8	-	KA02.02.1.00	1
0.01	STITEK - P3-95x65	CSN 42 8306	MOSAZ		0,09	-	KA02.02.0.01	1
Pop	Nazev - name	Podlizek	Material	T.O.	C/Trns	Hmot	Cliso vykesu	Prosta
Pos	Titul - use	Barva	Motriat	C/W	Weight	(T wog)	Drawing No.	Quart.
CAD 2	Datum / Date	Jmeno / Name						
Kvalif / 5	16/09/2012	E. MULLER						
Prakc /								
ChK								
Schval /								
APR								
Index	Popis zmeny / change	Schvel. / APN	Datum	Prosta	Poznámka / Note			
1								
2								
Tolerance / Toleroani		Soubor-mode / ASM file		Projekt / Project		Merklo / Scale		
ISO 108		Sestava_nastroj.CATProduct		KA-02		1:5		
ISO 8015		Soubor-vykres / DRW file		C. sestavy / Assembly No.				
ISO 2798nck		KA02.02.0.00.CATDrawing		KA02.02.0.00				
				C. hmotnost sestavy / Assembly weight		765		
SEKACI_NASTROJ			Riv		Cliso vykesu / Drawing NO		Format	
			0		KA02.02.0.00		A2	
Nazev / Title				List / sheet		1 / 1		