

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI**  
**FAKULTA STROJNÍ**

**Studijní program:** B0715P270003 – Strojírenství  
**Studijní specializace:** Programování NC strojů

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

**Racionalizace obrobení zadané součásti ve vybraném CAM systému**

**Autor:** Petr SKÁLA  
**Vedoucí práce:** Ing. Aneta JIRÁSKO, Ph.D.

Akademický rok 2021/202

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

Fakulta strojní

Akademický rok: 2021/2022

# ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Petr SKÁLA**  
Osobní číslo: **S19B0064P**  
Studijní program: **B0715P270003 Strojírenství**  
Specializace: **Programování NC strojů**  
Téma práce: **Racionalizace technologie obrobení zadané součásti ve vybraném SW**  
Zadávací katedra: **Katedra technologie obrábění**

## Zásady pro vypracování

1. Úvod
2. Analýza současného stavu
3. Racionalizace technologie obrobení zadané součásti
4. Vyhodnocení
5. Závěr

Rozsah bakalářské práce: **30 – 40 stran**  
Rozsah grafických prací: **dle potřeby**  
Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam doporučené literatury:

- NORTON, Robert L. *Cam design and manufacturing handbook*. 2nd ed. New York: Industrial Press, 2009. xv, 591 s. ISBN 978-0-8311-3367-2.
- Příručka SolidCAM
- ŠTULPA, Miloslav. *CNC: programování obráběcích strojů*. První vydání. Praha: Grada Publishing, 2015. 240 stran. ISBN 978-80-247-5269-3.
- EVANS, Ken. *Programming of computer numerically controlled machines*. 3rd ed. New York: Industrial Press, ©2007. xiv, 457 s. ISBN 978-0-8311-3316-0.
- STANĚK, J., NĚMEJC, J. :*Metodika zpracování a úprava diplomových (bakalářských) prací*. Plzeň: ZČU, 2005.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Aneta Jirásko, Ph.D.**  
Katedra technologie obrábění

Konzultant bakalářské práce: **Bc. Daniel Palacký**  
ŠMT, a.s.

Datum zadání bakalářské práce: **15. října 2021**  
Termín odevzdání bakalářské práce: **27. května 2022**

L.S.

---

**Doc. Ing. Milan Edl, Ph.D.**  
děkan

---

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

## **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**

Rád bych poděkoval Ing. Anetě Jirásko Ph.D. za cenné rady, věcné připomínky a vstřícnost při konzultacích a vypracování bakalářské práce.

## ANOTAČNÍ LIST BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

<b>AUTOR</b>	<b>Příjmení</b> Skála	<b>Jméno</b> Petr	
<b>STUDIJNÍ PROGRAM</b>	B0715P270003 Strojírenství		
<b>VEDOUCÍ PRÁCE</b>	<b>Příjmení (včetně titulů)</b> Ing. JIRÁSKO, Ph.D.	<b>Jméno</b> Aneta	
<b>PRACOVISŤE</b>	ZČU - FST – KTO		
<b>DRUH PRÁCE</b>	<b>DIPLOMOVÁ</b>	<b>BAKALÁŘSKÁ</b>	<b>Nehodící se škrtněte</b>
<b>NÁZEV PRÁCE</b>			

<b>FAKULTA</b>	strojní	<b>KATEDRA</b>	KTO	<b>ROK ODEVZD.</b>	2022
----------------	---------	----------------	-----	--------------------	------

### POČET STRAN (A4 a ekvivalentů A4)

<b>CELKEM</b>	56	<b>TEXTOVÁ ČÁST</b>	46	<b>GRAFICKÁ ČÁST</b>	2
---------------	----	---------------------	----	----------------------	---

<b>STRUČNÝ POPIS (MAX 10 ŘÁDEK)</b>  <b>ZAMĚŘENÍ, TÉMA, CÍL POZNATKY A PŘÍNOSY</b>	<p>Cílem práce je převést program pro obrobení příruby ze softwaru VISI SURF5 do softwaru SolidCAM a racionalizovat technologii obrobení. Práce se věnuje problematice hrubování, plynulého 5 – ti osého obrábění a automatizaci vrtání.</p>
<b>KLÍČOVÁ SLOVA</b>  <b>ZPRAVIDLA JEDNOSLOVNÉ POJMY, KTERÉ VYSTIHUJÍ PODSTATU PRÁCE</b>	<p>SolidCAM, SolidWORKS, příruba, HM hrubování, iMachining, rozpoznání děr. racionalizace</p>

**SUMMARY OF BACHELOR SHEET**

<b>AUTHOR</b>	Surname Skála	Name Petr	
<b>STUDY PROGRAMME</b>	B0715P270003 Engineering		
<b>SUPERVISOR</b>	Surname (Inclusive of Degrees) Ing. JIRÁSKO, Ph.d.	Name Aneta	
<b>INSTITUTION</b>	ZČU - FST - KTO		
<b>TYPE OF WORK</b>	<del>DIPLOMA</del>	<b>BACHELOR</b>	Delete when not applicable
<b>TITLE OF THE WORK</b>			

<b>FACULTY</b>	Mechanical Engineering	<b>DEPARTMENT</b>	KTO	<b>SUBMITTED IN</b>	2022
----------------	------------------------	-------------------	-----	---------------------	------

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

<b>TOTALLY</b>	56	<b>TEXT PART</b>	46	<b>GRAPHICAL PART</b>	2
----------------	----	------------------	----	-----------------------	---

<b>BRIEF DESCRIPTION TOPIC, GOAL, RESULTS AND CONTRIBUTIONS</b>	The aim of the work is to transfer the program for flange machining from VISI SURF5 software to SolidCAM software and to rationalize the machining technology. The work deals with the issue of roughing, continuous 5 - axis machining and drilling automation.
<b>KEY WORDS</b>	SolidCAM, SolidWORKS, flange, HM roughing, iMachining, hole detection, rationalization

## Obsah

Přehled použitých zkratk a symbolů.....	2
Seznam obrázků .....	3
Seznam tabulek .....	4
1 Úvod.....	5
2 Analýza současného stavu.....	6
2.1 Využití součásti a její hlavní funkční prvky .....	6
2.2 Rozbor materiálu součásti .....	7
2.3 Rozbor polotovaru součásti .....	8
2.4 Rozbor upnutí součásti .....	9
2.5 Stroje.....	10
2.6 Popis současného procesu výroby .....	12
2.7 Stávající software pro naprogramování obrábění součásti VISISURF 5 .....	13
2.8 Popis současného programu .....	16
2.8.1 Hrubování polotovaru .....	16
2.8.2 Horní část kapsy .....	17
2.8.3 Spodní část kapsy .....	22
2.9 Zhodnocení současné technologie .....	24
3 Racionalizace technologie obrobení zadané součásti.....	25
3.1 Představení systému SolidWORKS, SolidCAM.....	25
3.1.1 SolidWORKS .....	25
3.1.2 SolidCAM .....	25
3.2 Primární cíle ke zlepšení.....	25
3.3 Nástroje.....	26
3.4 Příprava před programováním .....	26
3.5 Tvorba nového projektu SolidCAM.....	27
3.6 Návrh nové technologie.....	28
3.6.1 Průchozí kapsa.....	28
3.6.2 Boční kapsa .....	37
3.6.3 Vrtání.....	41
4 Vyhodnocení .....	43
5 Závěr.....	45
Seznam použité literatury .....	46



## **Přehled použitých zkratk a symbolů**

SW	Software
ČSN	Česká technická norma
CAD	počítačem podporované projektování – z anglického computer aided design
CAM	počítačová podpora obrábění – z anglického computer aided manufacturing
R	poloměr
D	Průměr
3D	Trojrozměrný
HSS	Vysokorychlostní obrábění ploch
HSR	Vysokorychlostní dokončování
$a_p$	hloubka řezu [mm]

## Seznam obrázků

Obr. 1 Model příruby .....	6
Obr. 2 Popis příruby .....	7
Obr. 3 Chemické složení [1] .....	7
Obr. 4 Tvrdost [3] .....	8
Obr. 5 Polotovár .....	9
Obr. 6 Puklice .....	9
Obr. 7 Stolek .....	9
Obr. 8 Model stolek .....	10
Obr. 9 Část hrubovacího výkres .....	12
Obr. 10 VISI svislý panel .....	13
Obr. 11 VISI vodorovný panel .....	14
Obr. 12 Rozdělení vrstev .....	15
Obr. 13 Program hrubování .....	16
Obr. 14 Polotovár po hrubování .....	16
Obr. 15 Program VISI .....	17
Obr. 16 Vrták D18.5 [5] .....	17
Obr. 17 Vrták D16, D14 [6] .....	18
Obr. 18 Hrub vrtání .....	18
Obr. 19 Hrub. Vrtání .....	18
Obr. 20 Fréza HITACHY D25 [7] .....	19
Obr. 21 Hrub. frézování .....	19
Obr. 22 Fréza ISCAR D25 [8] .....	20
Obr. 23 Frézování boky a dna .....	20
Obr. 24 Fréza Rubig D16 [9] .....	21
Obr. 25 Frézování rádií .....	21
Obr. 26 VISI spodní část .....	22
Obr. 27 Vrták D34 [10] .....	22
Obr. 28 Díra D34 .....	23
Obr. 29 Frézování 1.1 .....	23
Obr. 30 Frézování 1.2 .....	23
Obr. 31 Frézování přechod .....	24
Obr. 33 Nástroje SolidCAM .....	26
Obr. 34 Polotovár SolidCAM .....	27
Obr. 35 Nastavení vstupních dat .....	27
Obr. 36 Části příruby pro racionalizovanou tech. ....	28
Obr. 37 Toroidní fréza D20 .....	28
Obr. 38 HM hrubování .....	29
Obr. 39 Toroidní fréza D14 .....	30
Obr. 40 iMachining .....	30
Obr. 41 Frézování kontura 1,2 .....	31
Obr. 42 Solid Verify horní .....	32
Obr. 43 HM dolní .....	32
Obr. 44 iMachining dolní .....	33
Obr. 45 Toroidní fréza D10 .....	33
Obr. 46 Frézování bokem nástroje pravá část .....	34
Obr. 47 Úprava ploch .....	34
Obr. 48 Frézování bokem levá část .....	35
Obr. 49 pomocná geometrie .....	35
Obr. 50 Kontura přechod .....	36
Obr. 51 Solid Verify dolní .....	36
Obr. 52 HM hrubování .....	37
Obr. 53 Solid Verify .....	38
Obr. 54 Čelní fréza D20 .....	38
Obr. 55 Kontura dna .....	39
Obr. 56 Toroidní fréza D6 .....	39

Katedra technologie obrábění

Petr Skála

Obr. 57 Frézování bokem nástroje .....	40
Obr. 58 Kontura rádius .....	40
Obr. 59 Solid Verify .....	41
Obr. 60 Výběr děr .....	42
Obr. 61 Nastavení rozpoznání děr .....	42

## Seznam tabulek

Tab. 1 Frézka Hermle C50U MT .....	11
Tab. 2 Frézka AXA VPC 55U .....	11
Tab. 3 Vrták 18.5 [6] .....	18
Tab. 4 Vrták D16 [6] .....	18
Tab. 5 Vrták D14 [6] .....	18
Tab. 6 Fréza HITACHY D25 [7] .....	19
Tab. 7 Fréza ISCAR D25 [8] .....	20
Tab. 8 Fréza Rubig D16 [9] .....	21
Tab. 9 Vrták D34 [10] .....	22
Tab. 10 Software časy .....	43
Tabulka 11 Software časy .....	43
Tab. 12 Příloha 1 .....	xlvii
Tab. 14 Příloha 2 .....	xlvii

# 1 Úvod

Bakalářská práce se zabývá možnostmi racionalizace výroby příruby HCW3 za použití SW SolidWORKS a SolidCAM, která je určena pro vřeten obráběcích strojů vyráběná firmou ŠMT a.s.. Bakalářská práce je zhotovena ve spolupráci s firmou ŠMT a.s. na základě zájmu o názorný příklad, jak by mohla vypadat práce a racionalizovaná technologie pomocí nového CAM softwaru.

V této práci bude nejprve řešen současný stav technologického postupu obrobení zadané součásti pomocí softwaru VISI SURF 5, ve kterém je daná součást naprogramována. Následně bude řešena tvorba racionalizovaného programu částí současné technologie se zaměřením na frézování a částečně vrtání, a to za pomoci softwaru SolidCAM. Cílem této práce je ukázat přínos, který by pro firmu mohl mít přechod na program SolidCAM a ukázat jeho možnosti v oblasti programování pro vybraného představitele, kontrole kolizí pomocí funkce Solid Verify, zefektivnění práce se sestavami, širší možnosti využití frézovacích strategií nebo využití automatizace v oblasti vrtání děr. Pro tvorbu racionalizovaného programu v jiném softwaru bylo několik důvodů. Prvním důvodem je fakt, že software, ve kterém byla součást naprogramována, pochází z 80. let. Software VISI SURF 5 byl prvotně psán pro operační systém MS DOS v 16bitové verzi. To mělo za následek, že při pozdějším přechodu na operační systém Windows, kdy export proběhl v původní 16bitové verzi, přestaly neopravené podprogramy fungovat. Díky tomu se operace, jako jsou automatické hrubování, staly nefunkčními, kdy se tento problém řešil mnohdy složitými cestami za pomoci kombinace většího množství nástrojů a operací, než by bylo nezbytně nutné. Další věcí byla možnost používání pouze drátových modelů. Jelikož drátový model není definovaný pomocí ploch, může dojít k nejednoznačnému určení geometrie a nevhodnosti vzhledem k požadovanému použití. VISI SURF 5 také neumožňoval plynulé 5 – ti osé obrábění, což vedlo ke komplikacím při obrábění složitějších kapes, která mají šikmá dna nebo stěny. V popisu současné technologie bude ukázán současný postup, který je jednak velmi náročný, ale také nepřináší požadovanou kvalitu povrchu šikmých stěn, na kterých zůstává struktura řádkování. To má za následek nadměrný otěr elektrických kabelů, které jsou kapsou vedeny. To může vést až k jejich poškození.

Mezi cíle této práce patří:

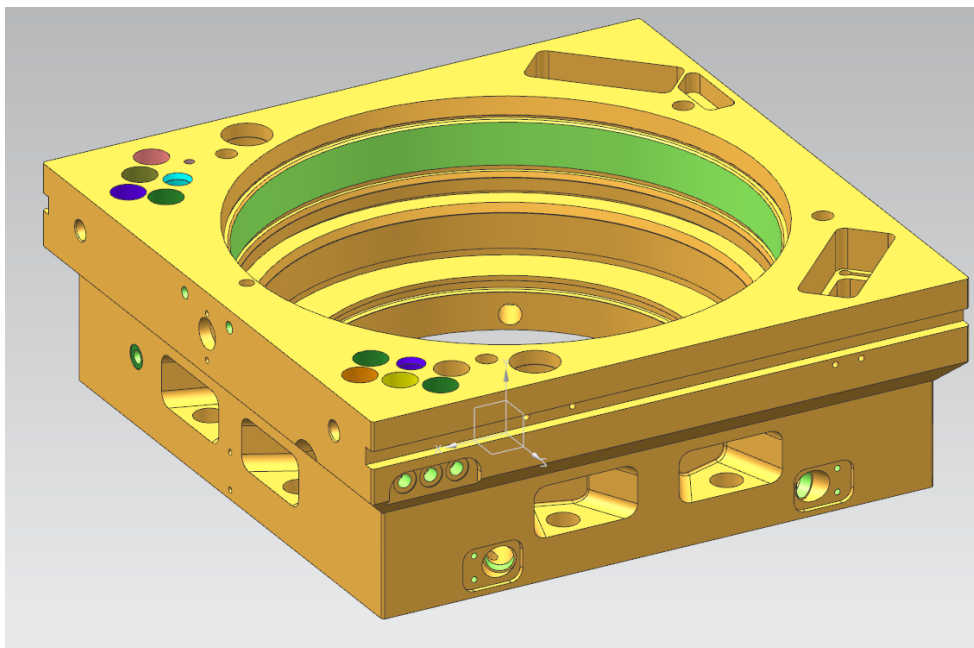
- Ukázat zefektivnění práce se sestavami a přehlednost nového CAD/CAM softwaru. Možnosti funkce Solid Verify v oblasti grafických simulací procesu obrábění, kontroly kolizí, obrobenost ploch.
- V samotné racionalizované technologii zjednodušení procesu hrubování, kde je cílem dosáhnout snížení počtu použitých nástrojů a operací.
- Vytvoření technologie plynulého 5 – ti osého obrábění a zlepšení kvality obrobených ploch.
- Automatizovat procesy typu vrtání většího počtu děr stejného průměru.

Pro přípravu výroby, jako je tvorba polotovaru, byl použit program SolidWORKS, pro tvorbu optimalizovaného programu byl použit program SolidCAM, ve kterém byl zpracován racionalizovaný program pro frézování kapes a vrtání na přírubě HCW3 pro frézovací hlavu.

## 2 Analýza současného stavu

### 2.1 Využití součásti a její hlavní funkční prvky

Zvolená součást příruba HCW3, funguje jako dělicí místo mezi strojem a jeho příslušenstvím, kterými jsou frézovací a vyvrtávací hlavy. Příruba je součástí příslušenství, které lze upínat na stroj. Příruba slouží k propojení médií, elektriky vedené pomocí konektorů, kdy na jedné straně příruby se nachází silnoproud a na druhé slaboproud. Také jsou zde rychlospojky pro ostatní média.



Obr. 1 Model příruby

Na každé přírubě je zhotoveno kódové označení, kde se za pomoci kolíků spíná bezkontaktní indukční spínač, který je umístěn v pinole stroje. Díky kódovému příslušenství dojde k jednoznačnému určení příslušenství a díky tomu lze automaticky nastavit předem stanovené parametry.

Příruba obsahuje dva aretační čepy, které slouží k vymezení přesné polohy podlitím. Příruba je jednoznačně určena třemi body – je centrovaná na kužel na pinole stroje a dvěma aretačními čepy. Aretační čepy jsou následně podlitý, čímž dosáhneme přesně vymezené polohy, která je následně opakovatelná při nutnosti sejmutí daného příslušenství.

Přesné vymezení polohy je třeba i u konektorů pro elektrické obvody. Aby nedošlo k ohnutí nebo zlomení, jsou i tyto konektory podlitý.

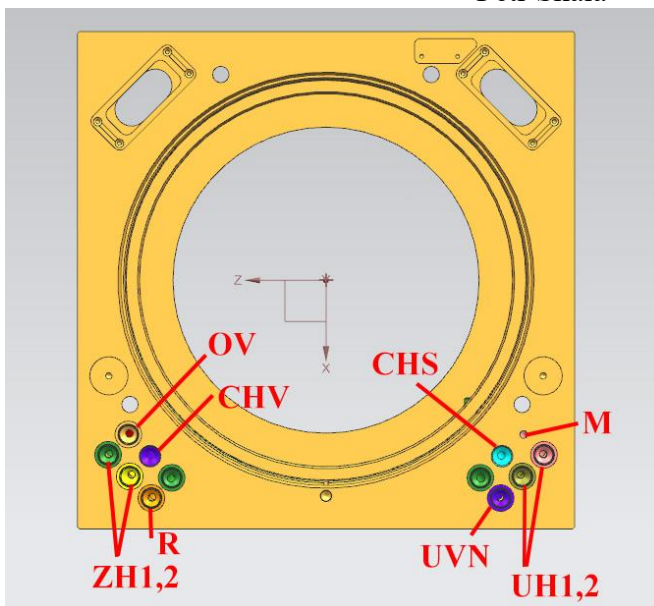
Dalším důležitým prvkem je drážka pro vodičko, které zajišťuje, aby nedošlo k protočení pístu. Na ploše pístu je umístěno čidlo, pomocí kterého stroj určí, zdali je příslušenství správně upnuto díky snímání polohy pístu. Čidlo vysílá signál do řídicího centra stroje.

Katedra technologie obrábění

Petr Skála

Na přírubě se také nachází různé druhy spojek a rychlospojek viz. Obr.2.

- UH1, UH2 – slouží k uvolnění Hirthovi spojky
- ZH1, ZH2 – slouží ke zpevnění Hirthovi spojky
- UN – slouží k uvolnění nástroje
- UZ – slouží ke zpevnění nástroje
- R – rezerva
- OV – vedení ochrany vzduchem
- M – mazání
- CHS – slouží k chlazení nástroje středem
- CHV – slouží k chlazení nástroje vnějškem



Obr. 2 Popis příruby

## 2.2 Rozbor materiálu součásti

Na výkrese dodaném s modelem součásti, je předepsán materiál ČSN 12050.6. Polotovar je zušlechťen na 192-239 HB a pevnost v tahu by měla být kolem 800 N/mm<sup>2</sup>. Zkušenosti z minulosti však jsou takové, že po zušlechťení se pevnost v tahu pohybuje spíše kolem 900 N/mm<sup>2</sup>. Ojedinele mohou dosahovat hodnoty v pevnosti v tahu 950 N/mm<sup>2</sup>, což znamená, že tvrdost stoupá až na 282 HB. Chemické složení oceli ČSN 12 050 viz. Obr.3

### Chemické složení oceli ČSN 12 050

Značka oceli	Chemické složení v %										
	C	Mn	Si	Cr	W	Mo	V	Ni max	Co	P max.	S max.
DIN není											
ČSN 12 050	0,42- 0,50	0,50- 0,80	max 0,40	max 0,40	max 0,10		0,40	0,045	0,045		208

Obr. 3 Chemické složení [1]

Nejmenší hodnota meze kluzu u oceli ČSN 12 050 je 275 MPa a pevnost v tahu je minimálně 550 MPa [2]

Katedra technologie obrábění

Petr Skála

Výše zmíněné vlastnosti v podobě zvýšené tvrdosti mají nežádoucí vliv při obrábění. Hlavním problémem nastává při závitování, kdy ačkoliv firma používá závitníky určené do materiálů s vyšší pevností, tak i přesto se vyskytují komplikace při vyřezávání závitů. Hlavním problémem je životnost nástroje. S tím nadále souvisí i zvýšená potřeba kontrolovat opotřebení, jelikož případná destrukce nástroje vede ke komplikacím s odstraněním nástrojů zaseklých uvnitř závitových děr.

Řezné podmínky se tedy volí s ohledem na možnost zvýšené pevnosti. V případě dodržení předepsaných materiálových vlastností by bylo možné volit podmínky dle tabulky viz. Obr. 4 z třídy P s materiálovým číslem 3, které jsou vhodné pro předepsanou tvrdost 239 HB. Jelikož tvrdost materiálu použitého polotovaru dosahuje hodnoty až 282 HB, jsme nuceni vybírat z řad P s materiálovým číslem 5. To má za následek pomalejší obrábění, ale také dražší nástroje a destičky.

ISO	Materiál	Stav	Pevnost v tahu [N/mm <sup>2</sup> ]	Tvrdost HB	Mat. číslo	
<b>P</b>	Nelegovaná ocel, litá a automatová ocel	< 0.25 %C	Žiháno	420	125	1
		>= 0.25 %C	Žiháno	650	190	2
		< 0.55 %C	Kaleno a popouštěno	850	250	3
		>= 0.55 %C	Žiháno	750	220	4
		Kaleno a popouštěno	1000	300	5	
	Nízko legovaná a litá ocel (do 5 % legujících prvků)	Žiháno		600	200	6
				930	275	7
		Kaleno a popouštěno		1000	300	8
				1200	350	9
	Vysoce legované, lité a nástrojové oceli	Žiháno		680	200	10
		Kaleno a popouštěno		1100	325	11
	Nerez ocel a litá ocel	Feritická/martenzitická		680	200	12
		Martenzitická		820	240	13

Obr. 4 Tvrdost [3]

### 2.3 Rozbor polotovaru součásti

Polotovarem pro přírubu je čtvercový výpalek o rozměrech 550x550x200 mm a uprostřed je zhotovena díra o průměru 300 mm. Jelikož velikost pracovního stolu CNC centra Hermle C50U MT je 1100x1000x750 mm, nevyskytují se při obrábění komplikace v podobě nedostatečného prostoru. Polotovar, který se používá pro zhotovení příruby, viz. Obr.5.

Dříve byly používány pro výrobu příruby HCW3 odlitky, ale ukázalo se, že odlitky velmi často obsahují pórovitou strukturu a vzduchové kapsy. To mělo za následek zhoršení podmínek pro obrábění, ale především nedostatečnou kvalitu výrobku. Volba polotovaru v podobě výpalku odstranila výše zmíněné problémy a ukázala se také být vhodnějším řešením po ekonomické stránce.



Obr. 5 Polotovár

## 2.4 Rozbor upnutí součásti

Na stůl obráběcího centra se upíná pomocný stůl, který byl zakoupen současně se strojem jako sada příslušenství. Pomocný stůl umožňuje frézování a vrtání při sklopení obrobku. Pomocný stolek je zkonstruován s ohledem na rozměry smykadla stroje a má výšku 200.5 mm. To umožňuje bezpečnou manipulaci, jelikož zadní hrana vedení smykadla je 193 mm vysoká. Bez pomocného stolku by docházelo ke kolizím mezi smykadlem a kolébkou anebo by byly zvýšeny nároky na délku vyložení nástrojů. S použitím stolku je umožněno obrábění součásti i na dolní hraně obrobku při sklopení kolébkky. Přesná poloha mezi obrobkem a stolkem je vymezena pomocí gumového kroužku. Fotografie stolku viz. Obr.6.

Pro upnutí polotovaru z horní strany ke stolku se používá přípravek puklice, která je vložena do příruby a následně je přišroubována k pomocnému stolku. Z druhé strany je upnuta pomocí upínek za vnitřní průměr, kde je třeba nechat místo pro obrobení zbylých děr ve středové díře příruby. Fotografie přípravku puklice viz. Obr.7



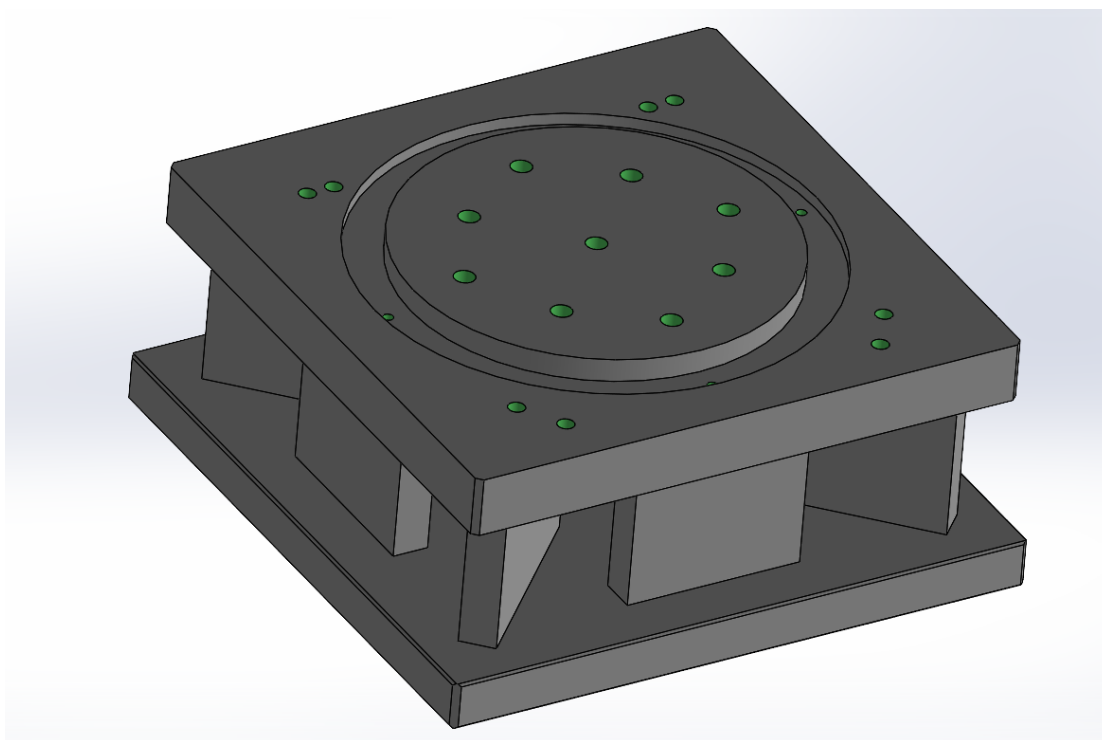
Obr. 6 Puklice



Obr. 7 Stolek



CAD model stolku viz. Obr.8. Model se od již používaného stolku lehce liší, z důvodu nových děr, které slouží pro upínání specifických dílů.



Obr. 8 Model stolek

## 2.5 Stroje

V ŠMT a.s. disponují dvěma stroji na kterých je obrábění příruby HVW3 možné. První je AXA VPC 55U a druhá HERMLE C50U MT. V tabulkách je možné nalézt základní parametry těchto strojů. Koupí novější frézky HERMLE C50U MT se začala příruba obrábět výhradně zde. Její hlavní výhodou jsou dvojnásobné otáčky, díky kterým lze například v kapsách používat rychloposuvové frézy bez kolísání rychlosti obrábění, ke kterému docházelo na frézce AXA VPC 55U.

Údaje o pracovním prostoru pro stroj Hermle C50U MT viz. Tab. 1

Údaje o pracovním prostoru pro frézku AXA VPC 55U viz. Tab.2.

Další údaje o frézkách viz. Příloha 1.



[4]

Tab. 1 Frézka Hermle C50U MT

Skupina strojů	Frézky
Označení	HERMLE C50U MT
Výrobce	Hermle

Osa X (mm)	1000
Osa Y (mm)	1100
Osa Z (mm)	750



Tab. 2 Frézka AXA VPC 55U

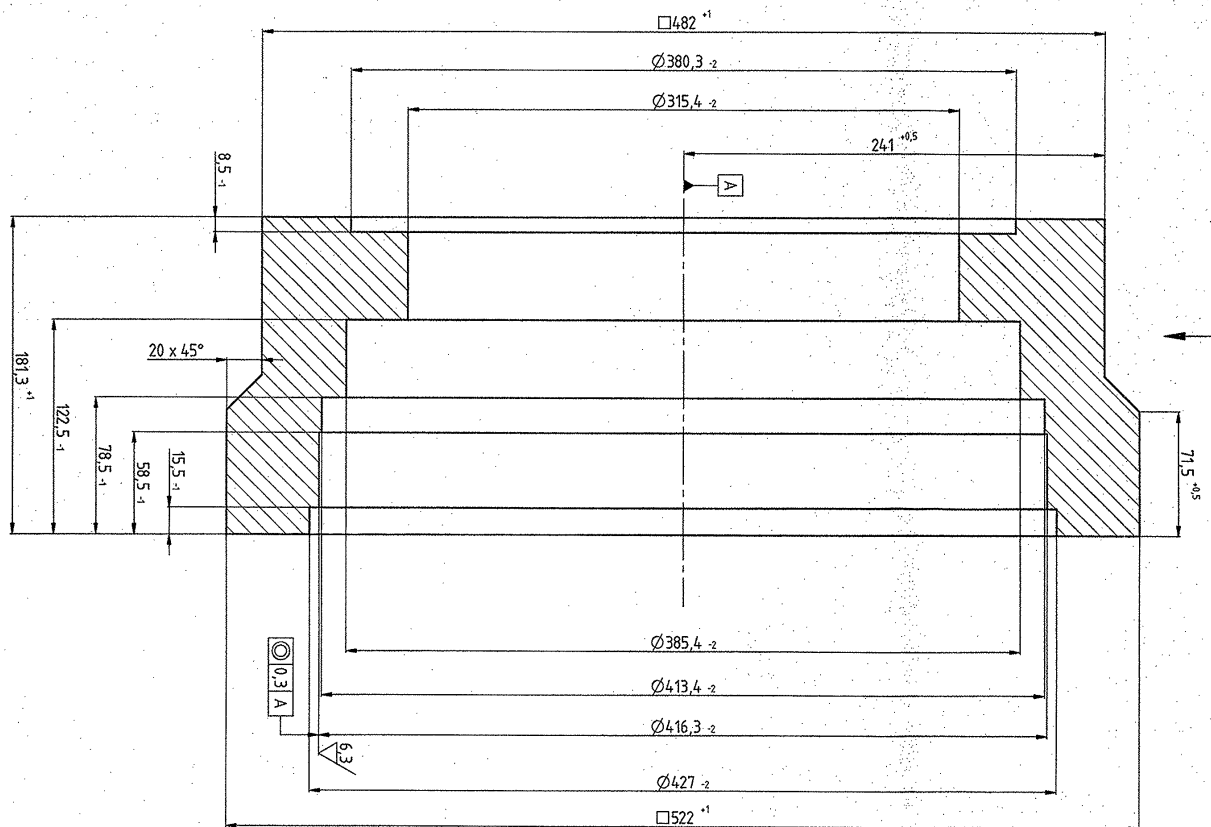
Skupina strojů	Frézky
Označení	AXA VPC 55U
Výrobce	AXA

Osa X (mm)	2300/2000 *)
Osa Y (mm)	1400
Osa Z (mm)	900

## 2.6 Popis současného procesu výroby

Výroba vychází z objednaného polotovaru výpalku. Dále je třeba polotovar vyhrubovat, kde lze uvažovat dvě varianty. První možností je, že obrobek je vyhrubován externí firmou, která obrobek vyhrubuje dle hrubovacího výkresu viz. Obr.9, kde je znázorněna část hrubovacího výkresu. Zde lze vidět rozměry po hrubování. Druhá varianta je, že se obrobek hrubuje až v ŠMT a.s., kdy proces hrubování polotovaru je popsán v kapitole 2.8.1. Hrubování polotovaru. Jako další operace následuje soustružení rozměrů díry, které probíhá na karuselovém soustruhu. Ačkoliv by bylo možné spojit operaci soustružení vnitřní díry a následné frézování obrobku, jelikož CNC centrum Hermle C50U MT umožňuje jak operace frézování, tak karuselování, tak tyto operace nejsou spojeny z důvodu, že po soustružení je nutné zakalit vnitřní kužel středové díry. Další operací po soustružení je kalení vnitřních průměrů a kužele. Následuje broušení, kde na rovinné brusce jsou broušeny čela rozměru 180 mm, kde je kladen důraz, aby již byly dodrženy geometrické tolerance, a to konkrétně 0.01 mm rovnoběžnost čel. Přídavek na plochu je zde zvolen 0.05mm. Přídavek je volen s ohledem na následující operaci frézování a vrtání, při které vznikají na povrchu čel škrábance od odchozích třísek. V CNC centru se již kompletně obrobí všechny díry, kanálky a kapsy na čisto. Následuje operace broušení, kde jsou již finálně obrobena obě čela na čisto. Následuje přeupnutí obrobku na karusel, kde jsou obrobena na čisto vnitřní rozměry a je vyřezán vnitřní závit M425 x 4-6H.

Výkres příruby HCW3 s příslušnými geometrickými tolerancemi a drsnostmi nebyl firmou dodán z důvodu, že výkres je součástí interních dokumentů firmy. Kapsy, kterými se tato práce zabývá, jsou tolerovány všeobecnými tolerancemi dle razítka výkresu.

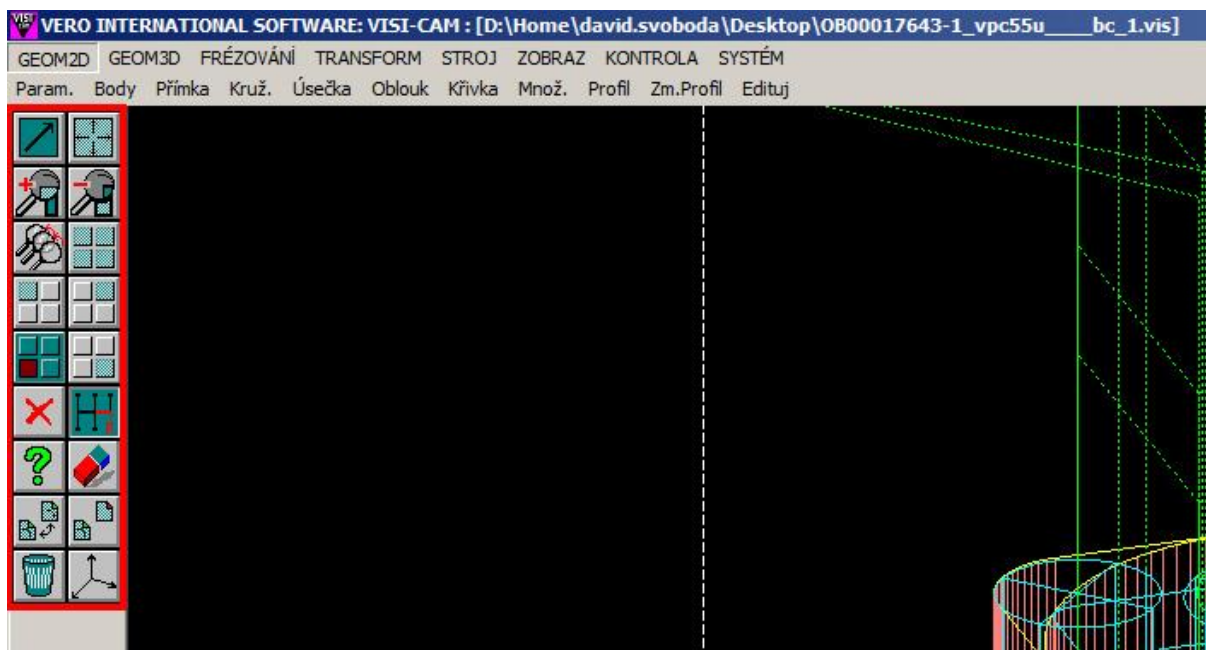


Obr. 9 Část hrubovacího výkresu

## 2.7 Stávající software pro naprogramování obrábění součásti VISISURF 5

Program na přírubu HCW3 byl naprogramován v 90. letech, kdy ve firmě byl používán v současné době již nepodporovaný CAM VISI SURF 5, konkrétně ve verzi pro frézování 2,5D s funkcí 3–5 ti osého frézování. Tento CAM byl zakoupen roku 1994, kdy byl již na sklonku své podporované životnosti, a to hlavně z důvodu, že nová nastupující verze s sebou přinášela ještě řadu nevyřešených problémů. Tento program byl vyvinut firmou Vero Software společně s firmou Missler, které se později rozdělily a Vero nadále vyvíjí software Visi a Missler software TopSolid. V současné době nelze dohledat již žádné informace o původním programu.

Verze VISI SURF 5 byla původně psána pro MS DOS a až později byla exportována na operační systém Windows. Export však proběhl v původní 16bitové verzi, což mělo za následek, že některé neopravené podprogramy, jako například správa nástrojů, bylo možné spustit naposledy na operačním systému Windows XP. Od následujících verzí Windows je tedy možné spustit jen hlavní část programu. VISI SURF 5 obsahoval pouze plošný modelář oproti stávajícím již objemovým modelářům. To mělo za následek poměrně obtížné vymezení objemových tvarů.



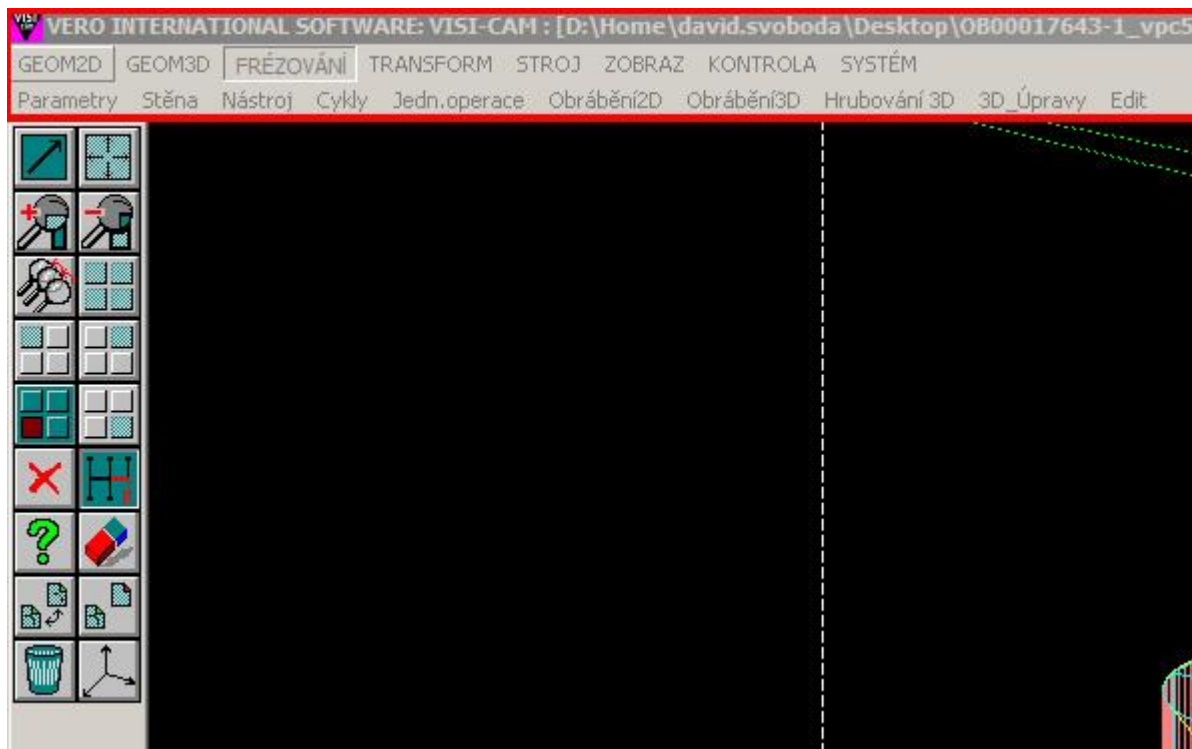
Obr. 10 VISI svislý panel

Na obrázku 10 si lze všimnout levého svislého bočního panelu, který slouží především k orientaci na pracovní ploše. Na tomto panelu se nachází přiblížení či oddálení pracovní plochy. Dále je zde možné přepínat mezi jednotlivými pohledy na obrobek. Lze si vybrat z celkem pěti možností, kdy poslední možností je pohled sdružující tři pohledy do jednoho okna, a to konkrétně půdorys, bokorys a izometrický pohled. Nachází se zde funkce vše na plochu. Pomocí tohoto panelu se také lze vracet zpět v rámci funkce nebo zpět z jakékoliv operace. Také se zde nachází tlačítka pro kopírování a vkládání. Lze zde vypínat a zapínat jednotlivé souřadné systémy. Na horním vodorovném panelu se nachází prvky, pomocí kterých se tvoří samotný program. Horní řádka slouží k výběru požadované funkce, která je dále

Katedra technologie obrábění

Petr Skála

rozvedena v jednotlivých záložkách v dolní řádce, která je proměnná. Pomocí prvních dvou záložek – GEOM2D a GEOM3D je možné vytvářet drátové modely obrobků. V další záložce STROJ najdeme možnosti pro volání nástrojů, definování přípravků, stolů. Záložka KONTROLA umožňuje různé způsoby měření vzdáleností a kótování modelu.



Obr. 11 VISI vodorovný panel

Na obrázku 11 lze vidět záložku FRÉZOVÁNÍ, kde najdeme podložky pro tvorbu frézovacích drah, ale také úpravu základních vlastností drátového modelu

Parametry – V této záložce je možné najít relativně obsáhlou tabulku, která umožňuje definovat velké množství parametrů před samotným programováním. Lze zde zadávat materiál obrobku, ale i stroje. Dále se zde nastavuje grafická podoba zobrazení nástrojů, kontur, nebo kolizní kontrola.

Stěna – Tato záložka slouží k rychlé editaci drátového modelu, kdy lze odebírat stávající stěny nebo si vytvářet stěny pomocné.

Nástroj – Tato záložka slouží k definování stávajícího nástroje a pro nástrojové simulace.

Cykly – Lze zde vytvářet nové cykly, ale také volat již vytvořené.

Obrábění2D – Tato záložka je rozdělena do několika podzáložek. Najdeme zde záložku frézování, ve které lze vybrat z několika možných operací a druhů frézování. Další záložka slouží pro tvorbu vybrání. Lze zde nastavit rotační frézování, frézování závitu, zaoblení a zkosení hran.

Obrábění3D – Záložka obsahuje funkce jako jsou obrábění ploch, kontura mezi 2 plochami, konstantní Z. Lze zde definovat i obrobení zbytkového materiálu, které je zde rozděleno do tří skupin – automatické, poloautomatické a tužkové neboli po námi zvolené kontuře. Bohužel

Katedra technologie obrábění

Petr Skála

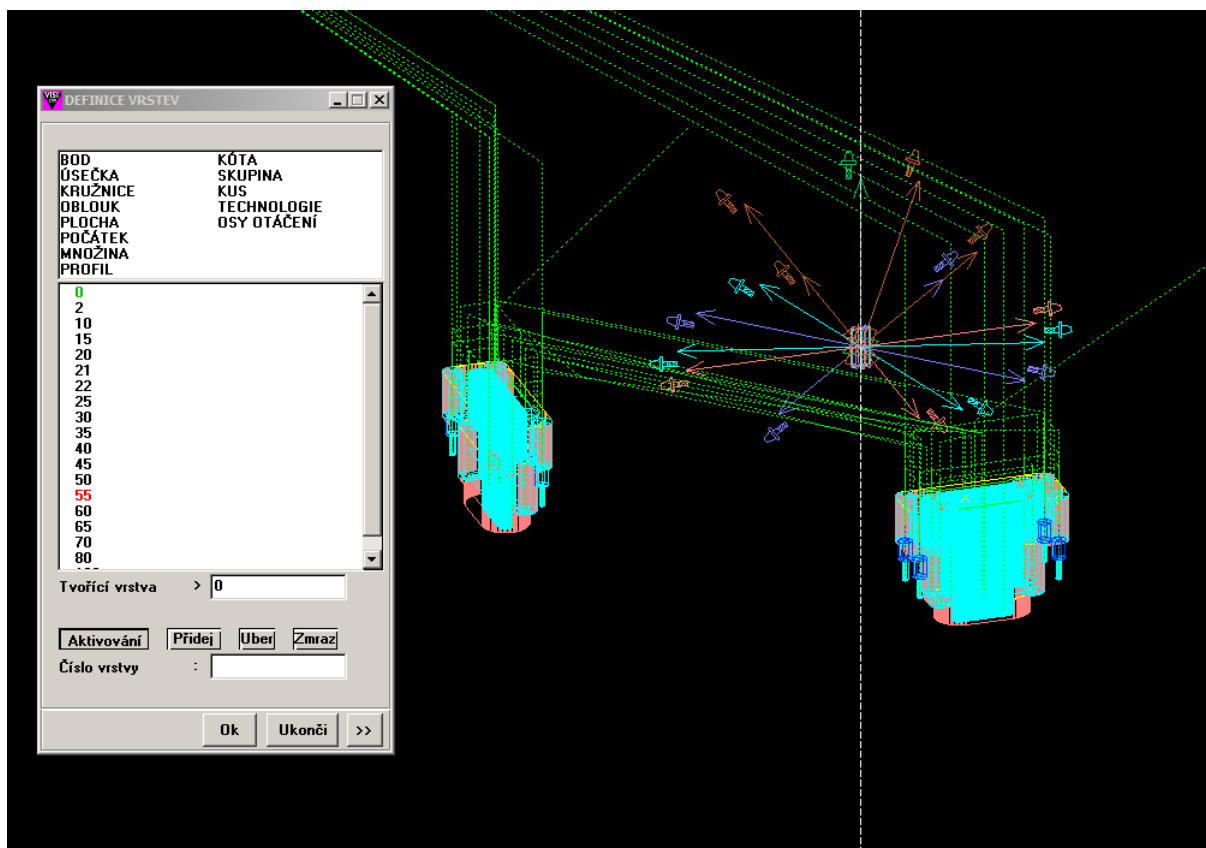
funkce automatického nebo poloautomatického obrobení zbytkového materiálu se neukázali jako příliš funkční.

Hrubování – Zde lze najít funkce pro hrubování, které zde fungují ve třech režimech. Automatické hrubování, obvodové a vybrání.

3D\_Úpravy – Díky této záložce lze lépe editovat oblasti, plochy a dráhy na obrobku. Je možno zde nastavit oblasti které se mají vynechat nebo ponechat, vymezují se zde řezné dráhy. Tato záložka slouží i k optimalizaci drah nástrojů. Lze zde editovat pracovní posuv i rychloposuv.

Edit – Je to souhrnná záložka, pomocí které lze editovat velké množství parametrů. Tato záložka slouží ke kontrole již nastavených operací, lze zde určit pořadí operací. Editovat a kopírovat již vytvořené obrábění. Nastavují se zde řezné podmínky. Lze zde kontrolovat obrábění a měnit barvy drah. Také se zde edituje hlavička celého programu.

Na obrázku 12 je možno vidět tabulku, která je pojmenována Definice vrstev. Tato tabulka slouží k tomu, aby se dalo lépe orientovat ve vygenerovaných drahách a tvarech. VISI SURF CAM umožňuje třídit operace do jednotlivých vrstev. Pro dobrou orientaci v programu je žádoucí dbát důraz na rozdělení do vrstev, jelikož v opačném případě nastává problém při editaci programu. Editace již vytvořených částí programu lze provádět několika způsoby, ale při správném rozmístění prvků do vrstev je nejsnazším způsobem rozkliknout daný grafický prvek. Jelikož lze používat pouze předdefinované pohledy a nelze si s polem libovolně otáčet jako v novějších programech, při nadměrné hustotě čar se tento úkol stává prakticky nemožným.

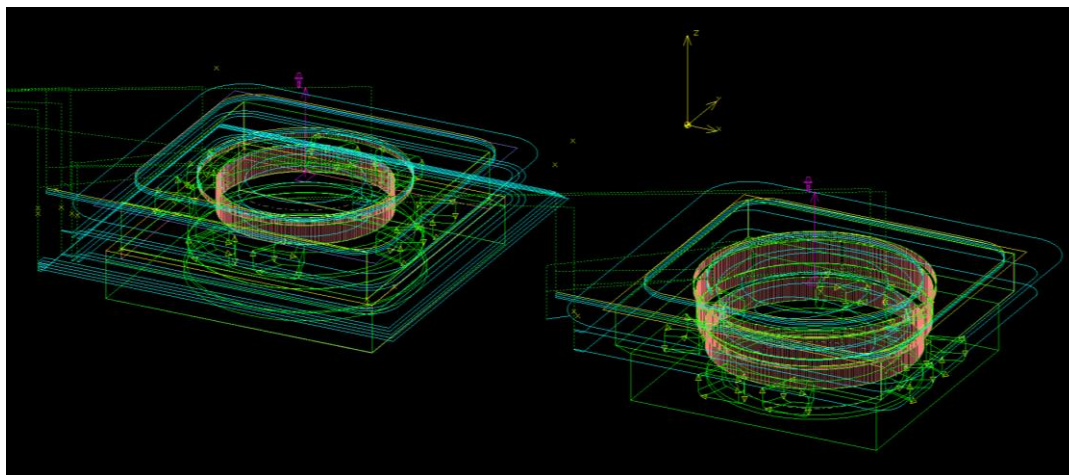


Obr. 12 Rozdělení vrstev

## 2.8 Popis současného programu

### 2.8.1 Hrubování polotovaru

Výpalek se nejprve vyhrubuje. Na polotovaru se hrubují veškeré plochy s přídavky 3 mm na plochu. Na obrázku číslo 13 můžeme vidět program vytvořený pomocí programu VISI CAM. Na levé straně obrázku vidíme hrubovací program pro spodní část obrobku a na pravé straně obrázku následuje horní část obrobku. Zde byl využit jednoduchý pomocný drátový model.



Obr. 13 Program hrubování

Na hrubování polotovaru se používají dva nástroje. Čelní fréza o průměru 160 mm s osmibokými plátky sloužící pro hrubování ploch a čelní válcová fréza s plátky do šroubovice o průměru 80 mm, pomocí které se hrubují obvody a úkosy. Čelní fréza se používá značky ISCAR o průměru 10 mm z řady fréz označené HELIOCTO. Tělo frézy nese označení HOF D160-10-40-R07. Na fréze se používají destičky s osmibokými plátky. Čelní válcová fréza hrubovací je použita od značky Widia o průměru 80 mm s katalogovým označením 123 930 836 00.

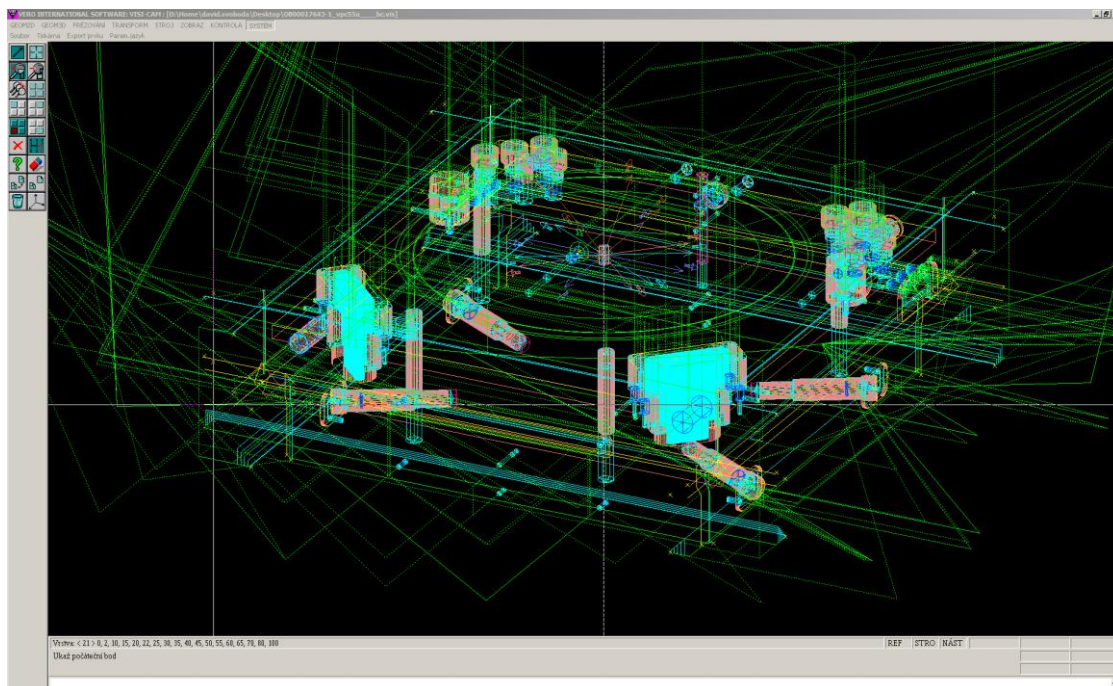
Na obrázku 14 je vidět stav obrobku po hrubování. Z obrázku je patrné, že v současnosti již neprobíhá v operaci hrubování tvorba bočních kapes. Tento krok byl v současnosti přesunut až do následujících operací.



Obr. 14 Polotovar po hrubování

## 2.8.2 Horní část kapsy

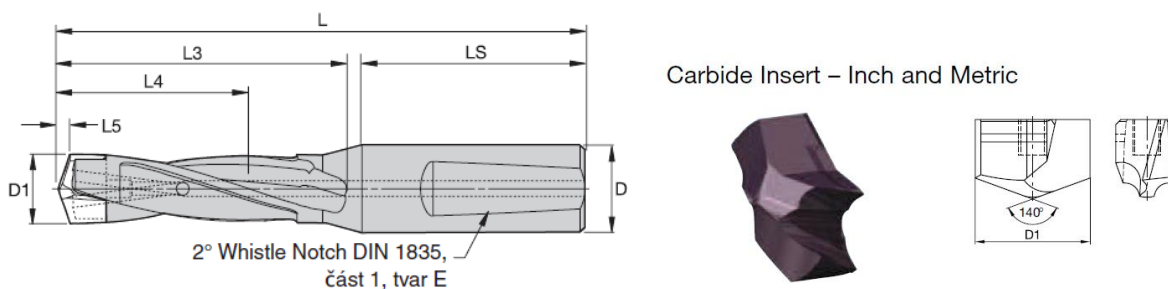
Na obrázku 15 je možné vidět NC program vytvořený pomocí programu VISI CAM pro horní část příruby. Jelikož při tvorbě tohoto programu nebyla využita možnost drátového modelu, který VISI SURF 5 nabízí, jedná se o pouhé kontury drah nástrojů. Pro lepší přehlednost v programu byly vypnuty nepotřebné vrstvy, v kterých se nacházely jiné operace než frézování průchozí kapsy. Stav po vypnutí nevhodících se vrstev je vidět na obrázku 12. Na následující průchozí kapse bude ukázán způsob současné technologie obrábění a použité nástroje.



Obr. 15 Program VISI

Jako první operace, která slouží k hrubování horní části kapsy, se využívá vrtání. V kapse se vrtá dohromady 12 děr. Tyto díry jsou rozmístěny v rádiusech horní části kapsy i spodní průchozí části kapsy. Ačkoliv VISI CAM obsahuje funkci automatického hrubování, z důvodu nedostatků nebyl využit, a tak tyto díry slouží k odběru materiálu v rozích, kde by jinak docházelo k problému opásání při obrábění monolitní frézou. Jsou zde použity 3 průměry vrtáků, které jsou uvedeny níže.

Modulární vrták značky Kennametal o průměru 18.5 mm řady KSEM s výměnou vrtací korunkou viz. Obr.16 a Tab.3 a dále jsou použity monolitní vrtáky značky Guhring s katalogovým označením 5511, a to ve dvou velikostech o průměru 14 mm a 16 mm viz. Obr. 17 a Tab.4, Tab.5.

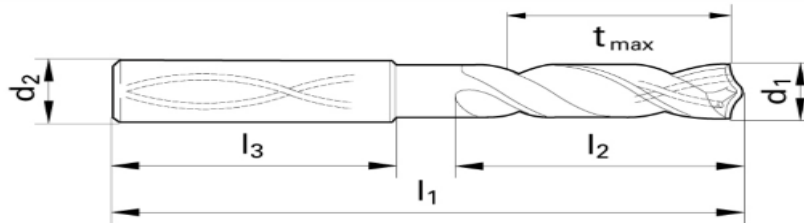


Obr. 16 Vrták D18.5 [5]



Tab. 3 Vrták 18.5 [6]

D1	L5	L4	L3	L1	L	D	LS
[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]
18.5	2.9	100	123	-	184	25	54



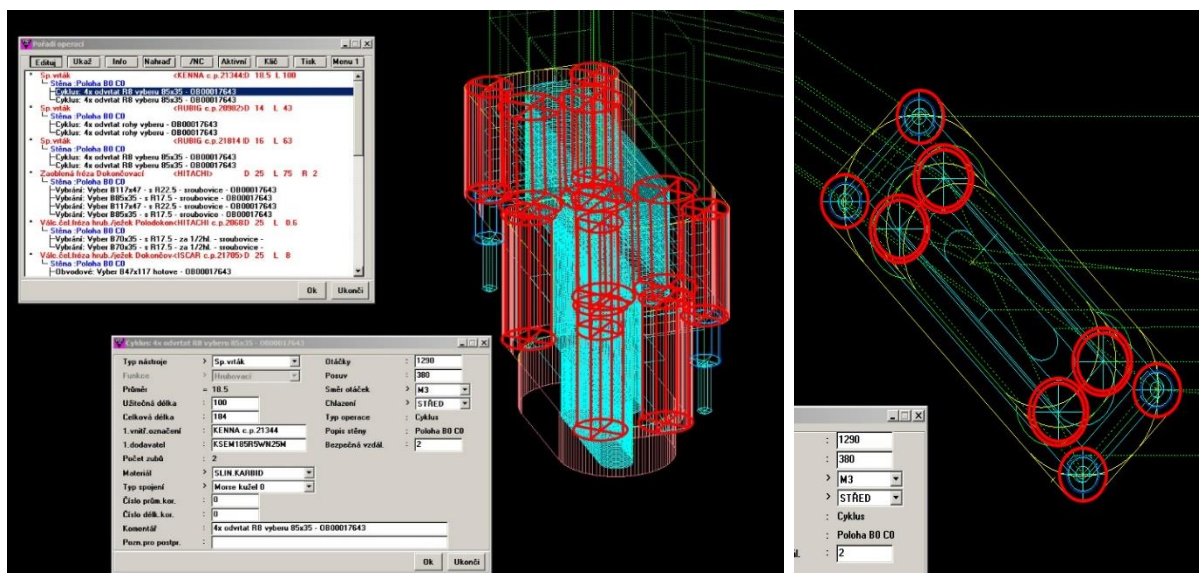
Obr. 17 Vrták D16, D14 [6]

Tab. 4 Vrták D16 [6]

d1, d2	l1	l2	l3	Tmax
[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]
16	133	83	48	59

Tab. 5 Vrták D14 [6]

d1, d2	l1	l2	l3	Tmax
[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]
14	124	77	45	56



Obr. 18 Hrub. vrtání

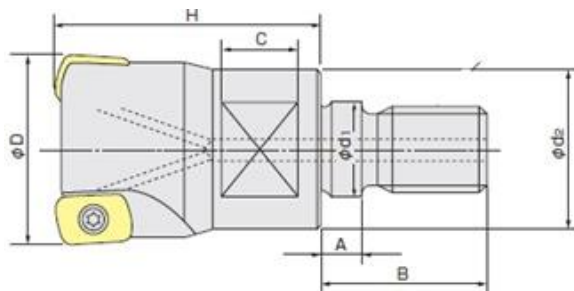
Obrázek 19 Hrub. Vrtání

Na obrázku 18 jsou vyobrazeny hloubky vrtání, které jsou znázorněny červeně, v porovnání s kapsou a na obrázku 19 je ukázáno jejich rozmístění, kde jsou jednotlivé díry opět zvýrazněny červenou barvou.

Katedra technologie obrábění

Petr Skála

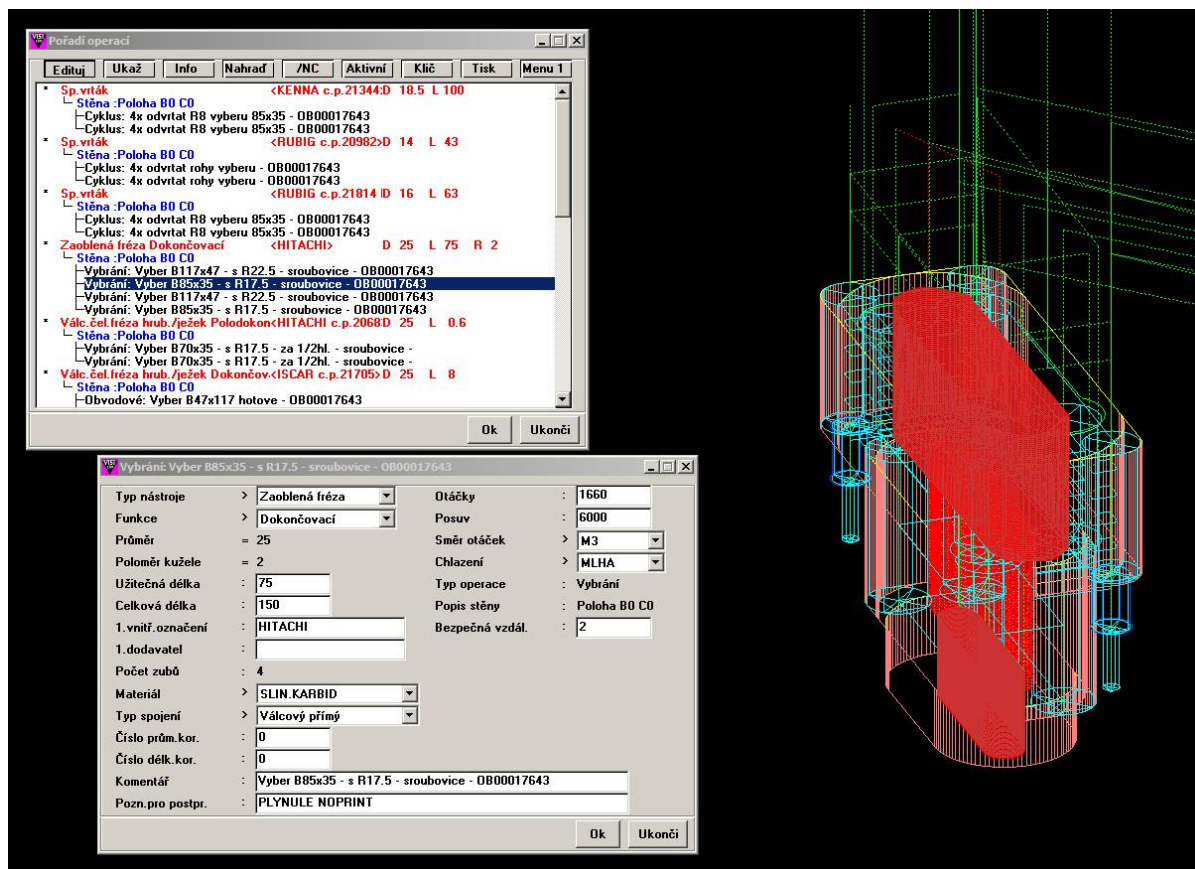
Jako další operace následuje hrubování kapsy, které se provádí rychloposuvovou frézou. Tato operace je rozdělena do třech kontur podle odstupňování kapsy. Kontura opisuje tvar pera, aby byla zajištěna co nejplynulejší změna směru a tím byly zajištěny co nejstabilnější rezné podmínky. Kontury je možné vidět na obrázku 21, kde červeně je zvýrazněna horní, prostřední a spodní kontura kapsy. Pro tuto operaci je použita rychloposuvová fréza značky HITACHY o průměru 25 mm viz. Obr.20 a Tab.6.



Obr. 20 Fréza HITACHY D25 [7]

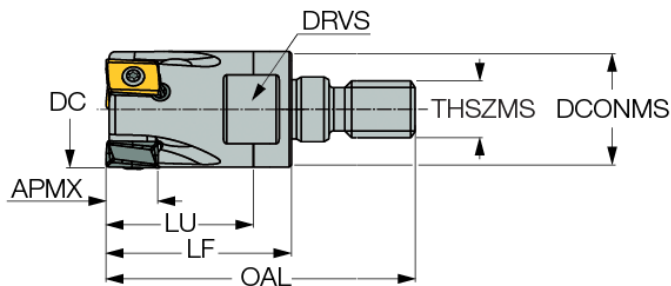
Tab. 6 Fréza HITACHY D25 [7]

D	A	B	C	d1	d2
[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]
25	7	22	10	12.5	21



Obr. 21 Hrub. frézování

V další operaci se již dokončují rovinné plochy boků a dno velké kapsy. Kontura je zvýrazněna na obrázku 23 červenou barvou. K frézování je použita válcová čelní fréza značky ISCAR o průměru 25 mm viz. Obr.22 a Tab.7. V horní části kapsy tak zbude materiál pouze kolem rohů. Přechodná nejmenší kapsa je dokončena na čisto až při přepnutí a obrábění dolní části příruby, a to z důvodu menších nároků na vyložení nástroje.



Obr. 22 Fréza ISCAR D25 [8]

Tab. 7 Fréza ISCAR D25 [8]

DC	APMX	LU	LF	OAL	DRVS	THSZMS	DCONMS
[mm]	[mm]	-	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]
25	8	-	28	50	17	M12	21

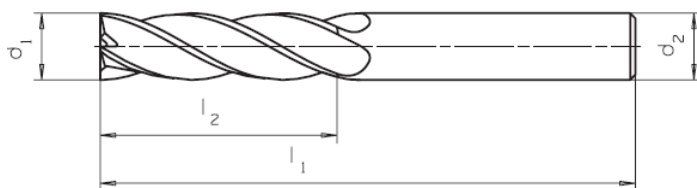
The screenshot shows a CAD software interface with a list of operations on the left and a 3D model of a part on the right. The 3D model is rendered in cyan and red, showing the cutting paths for the operations. The operations list includes:

- Válc.čel.fréza hrub./jezek Polodokon<HITACHI c.p.2068D 25 L 0.6
- Válc.čel.fréza hrub./jezek Dokončov.<ISCAR c.p.21705>D 25 L 8
- Válc.čel.fréza Dokončovací <RUBIG c.p.19037>D 16 L 65
- Sp.vrták <RUBIG c.p.21771 D 9 L 49

The 3D model shows a cylindrical part with a complex internal structure, with red lines indicating the cutting paths for the operations listed in the table.

Obr. 23 Frézování boky a dna

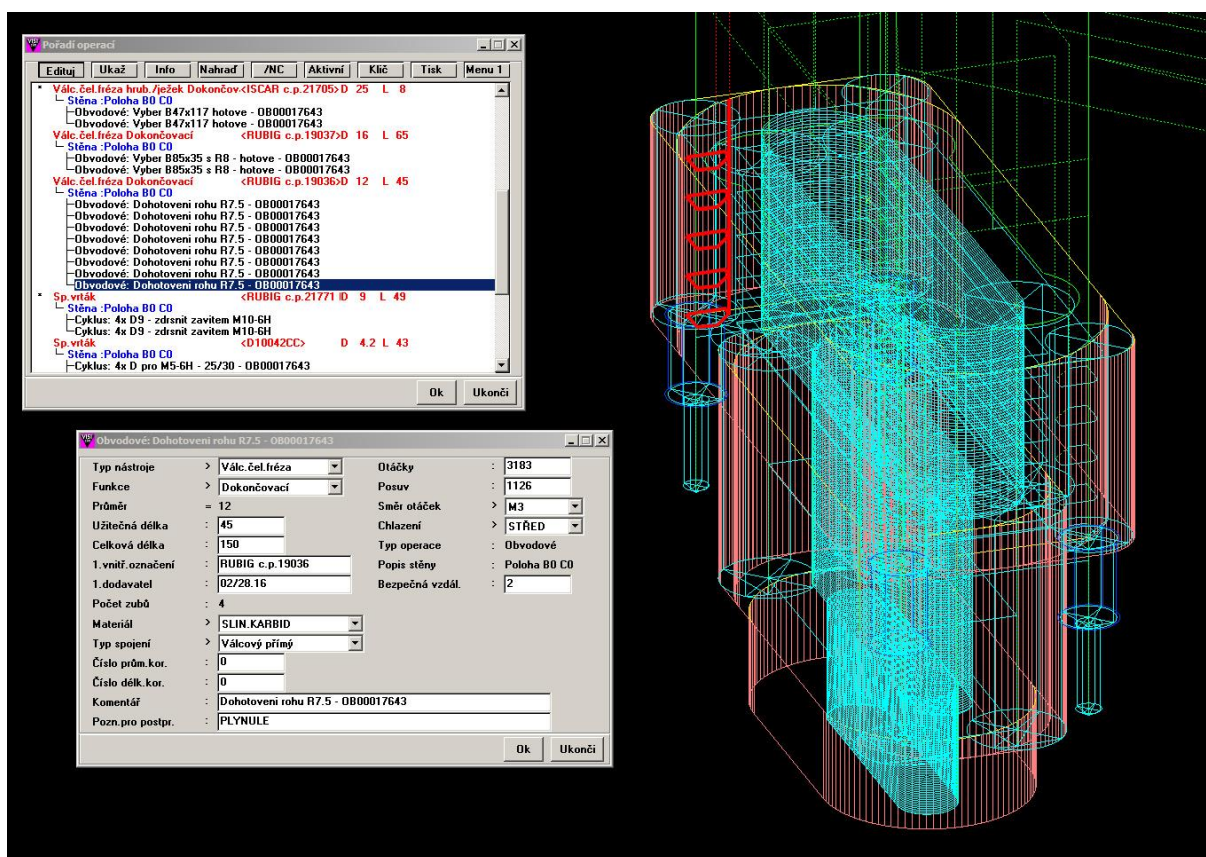
V další operaci se odebere zbytkový materiál, který zůstal v rozích po hrubování a dokončování boků a dna. Jedná se o zbytky materiálu, které zůstaly kolem rohů v důsledku odvrtání rohů vrtáky a následného obrábění čelní válcovou frézou velkého průměru. Tento materiál se odebrá monolitní frézou Rubig o průměru 16 mm viz. Obr.24 a Tab.8, kde je použita prodloužená verze frézy. Kontura je zvýrazněna pomocí červené barvy na obrázku 25.



Obr. 24 Fréza Rubig D16 [9]

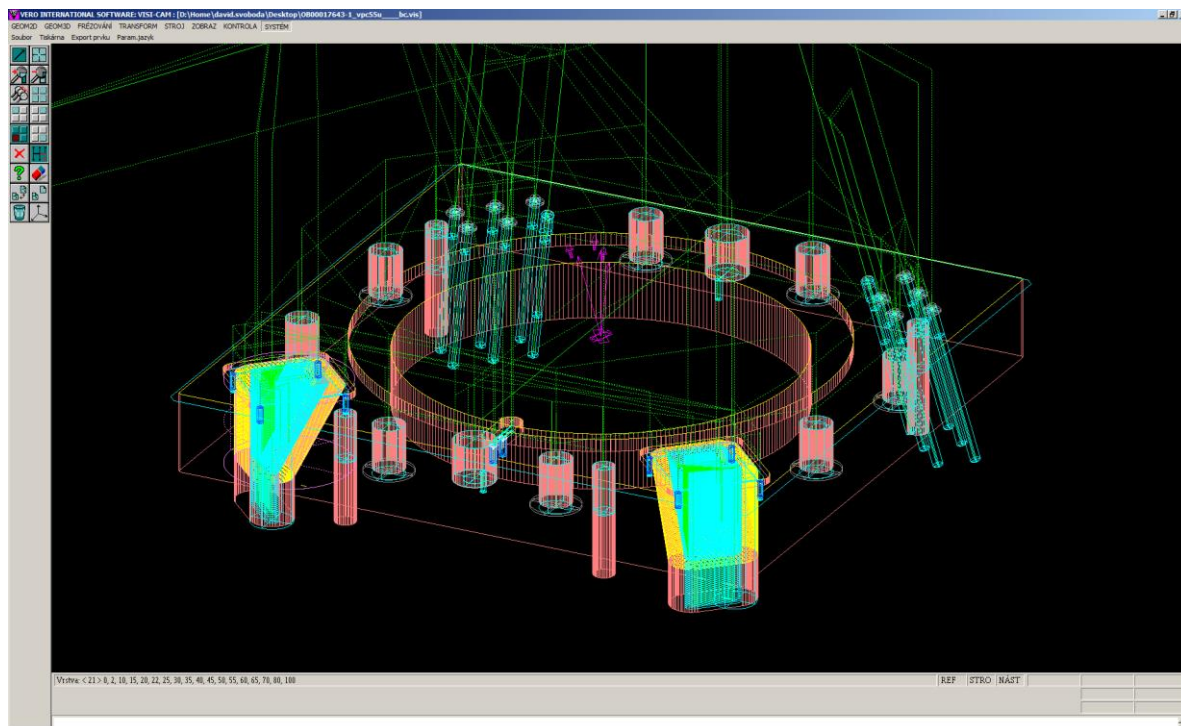
Tab. 8 Fréza Rubig D16 [9]

d1	L1	L2	D2	Z
[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	
16	150	65	16	4



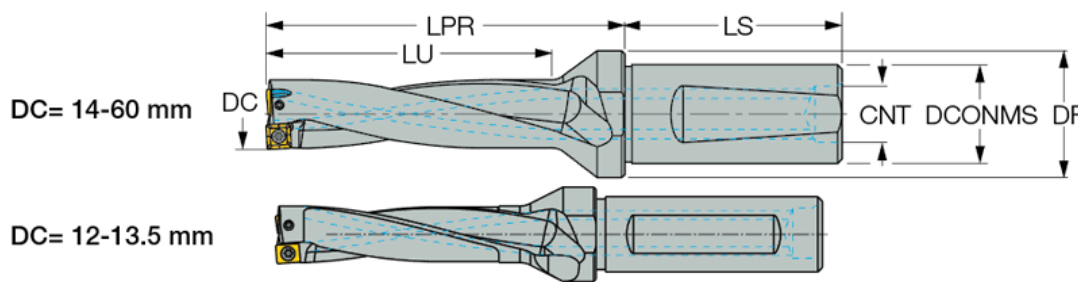
Obr. 25 Frézování rádií

2.8.3 Spodní část kapsy



Obr. 26 VISI spodní část

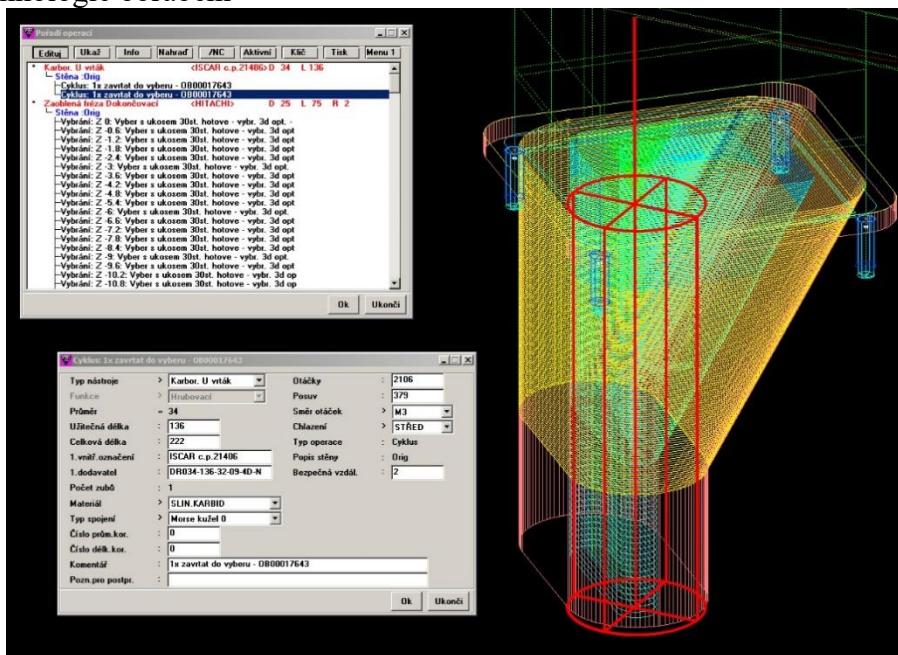
Do šikmé kapsy je nutno nejprve vyvrtat díru, jelikož se zde používá rychloposuvová fréza značky HITACHI, která je popsána již v předešlých operacích. Otvor je vrtán vrtákem ISCAR o průměru 34 s označením DR-4D-N s vyměnitelnými břitovými destičkami viz. Obr.27 a Tab.9. Díra má funkci při následném použití rychloposuvové frézy, která začíná jednotlivé dráhy z oblasti díry, aby nedocházelo k zavrtávání do materiálu. Zároveň by měla být i dostatečně prostorná, aby zde fréza nabrala dostatečnou počáteční rychlost. Umístění díry a její hloubka je zvýrazněno na obrázku 28 červenou barvou.



Obr. 27 Vrták D34 [10]

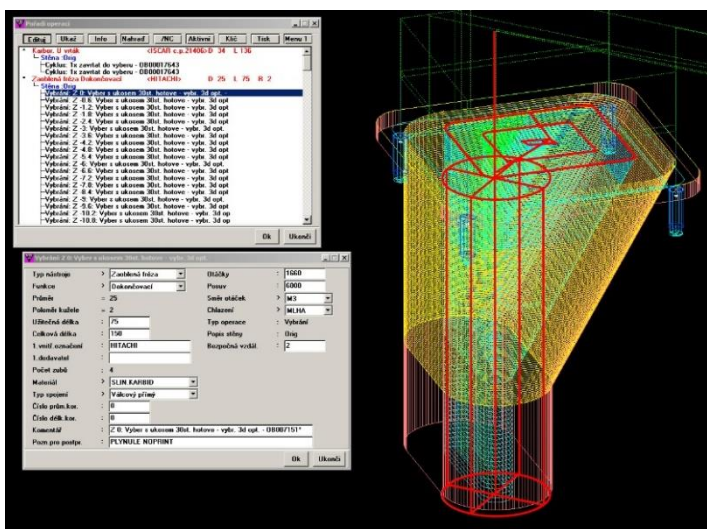
Tab. 9 Vrták D34 [10]

DC	DCX	LU	LPR	LS	DCONMS	DF	CNT
[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]
34	34.5	136	168	58	32	42	G1/2

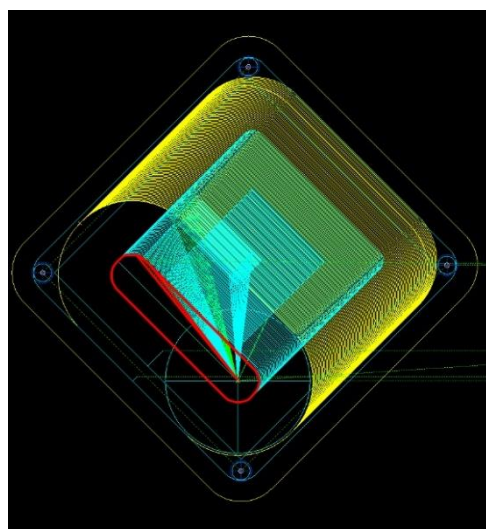


Obr. 28 Díra D34

Následuje operace hrubování kapsy, která má 1 stěnu a 2 rádia svažující se pod úhlem dolů. Jelikož VISI CAM neumožňuje souvislé 5-ti osé frézování, bylo nutné rozdělit tvar kapsy do postupně se zmenšujících kontur, které jsou odstupňovány po  $a_p = 0.6$  mm. To má za následek strukturu řádkování povrchu na šikmé ploše, kde následně dochází k nadměrnému otěru kabelů, které jsou zde vedeny, a to může vyústit až v jejich poškození. To může mít rozsáhlé následky, kdyby selhání nastalo za provozu. Na obrázku 30 si lze všimnout horní kontury, která je zvýrazněna červenou barvou, která se vlivem zmenšování prostoru uvnitř kapsy promění v konečnou konturu na obrázku 29, která je opět zvýrazněna pomocí červené barvy. Je zde použita rychloposuvová fréza HITACHI, která již byla použita pro hrubování horní části.

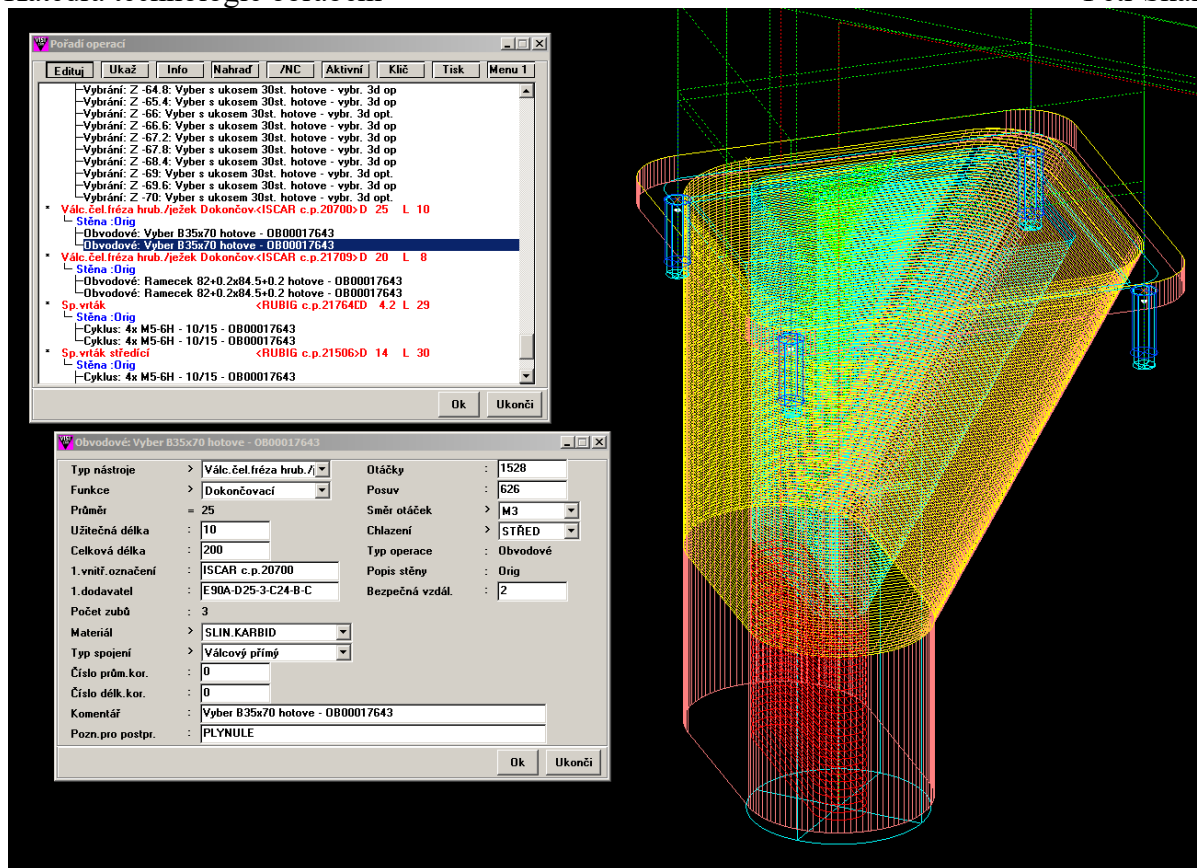


Obr.30 Frézování 1.1



Obr. 29 Frézování 1.2

Další operace je dokončení přechodu mezi dolní a horní částí kapsy, které je provedeno čelní válcovou frézou ISCAR o průměru 25 mm s předchozích operací. Kontura operace je zvýrazněna červenou barvou na obrázku 31.



Obr. 31 Frézování přechod

Následuje dokončení plochy kolem rámečku a sražení hran, které je provedeno nástroji čelní vřezovou frézou a srážecem značky ISCAR.

## 2.9 Zhodnocení současné technologie

Jelikož VISI SURF 5 nenabízí možnosti nových CAD/CAM softwarů, přistoupilo se zde k určitým kompromisům, které byly navíc umocněny nefunkčními částmi podprogramů po přechodu na operační systém Windows. To má za následek relativně složitý proces hrubování, kde zde v konkrétním případě byly použity čtyři nástroje v pěti samostatných operacích pro horní část kapsy. To zvyšuje časovou náročnost programování, ale i samotného obrábění a čas pro výměnu nástrojů.

Druhým problémem je nemožnost plynulého 5 - ti osého obrábění. Zde byla použita strategie řádkování kapsy po  $a_p = 0.6$  mm, kdy celá tato operace byla rozdělena do přibližně sta po sobě klesajících kontur. I zde se projevuje časová náročnost samotného programování. Byla zde použita rychloposuvová fréza, kdy hlavní výhoda těchto fréz se projevuje především na dlouhých rovných plochách. Posledním bodem je kvalita povrchu, jelikož po vyřádkování se zde vyskytuje struktura řádkování stěn. To má za následek, že se zde projevila snížená životnost kabelů, které jsou zde vedeny, a to nejspíše kvůli zvýšenému oteru.

## **3 Racionalizace technologie obrobění zadané součásti**

### **3.1 Představení systému SolidWORKS, SolidCAM**

#### **3.1.1 SolidWORKS**

Společnost SolidWORKS Corporation byla založena roku 1993. Jejím cílem bylo zpřístupnit širší veřejnosti 3D CAD technologie. Hlavním cílem bylo snížení požadavků na nákladný hardware, ale i přijatelná cena samotného softwaru. V roce 1995 byla vydána první verze SolidWorks 95. SolidWORKS Corporation se stala roku 1997 dceřinou společností Dassault Systèmes. [11] [12]

SolidWORKS je parametrický modelovací nástroj, který umožňuje tvorbu objemových i plošných součástí. Tento systém obsahuje velké spektrum funkcí. Od nejběžnějších funkcí jako je objemový modelář pro strojírenství, tak obsahuje také řadu pokročilých funkcí pro návrh plastových dílů, svařenců, práci s rozsáhlými sestavami s detekcí kolizí, či tvorbu výkresové dokumentace. [11] [12]

#### **3.1.2 SolidCAM**

Systém SolidCAM byl poprvé představen roku 1984. Později byl zakomponován do CAD systémů jako je SolidWORKS či Inventor. To umožnilo práci v rámci CAD i CAM modulů pouze v jednom okně, což se ukázalo jako krok správným směrem, který nám usnadňuje práci, ale také zkracuje čas, který by byl zapotřebí, kdyby práce probíhala ve dvou různých programech a oknech. [13]

Mezi základní funkce systému SolidCAM patří snadná tvorba 2,5D frézovacích drah nástrojů, HSS obrábění ploch, nebo HSR/HSM 3D frézování. Program obsahuje také 5 - ti osé frézování, kde lze nastavit podrobně strategii. Program také poskytuje plnou ochranu proti kolizím. Součástí programu je možnost programování soustružení, a to včetně operací s poháněnými nástroji. Systém obsahuje i modul pro programování měřicí sondy pro ustavení a měření obráběných součástí. Mezi přednosti systému pak patří nástroj iMachining, který se firma snaží každou novou verzí zlepšovat. Tento nástroj dokáže zkrátit čas programování, ale také se snaží snížit řezné časy, kde díky konstantnímu zatížení nástrojů prodlužuje jejich životnost. Snahou je co nejvíce zefektivnit výrobu a zredukovat náklady. [13]










### **3.2 Primární cíle ke zlepšení**

Hlavním cílem pro zlepšení je především tvorba racionalizované technologie obrábění kapes a ukázka možného přínosu prací s programem SolidCAM a jeho pokročilých funkcí 5 - ti osého frézování, či využití automatizovaných možností vrtání otvorů. Budou zde ukázány dvě varianty pro hrubování v SolidCAMu, které budou následně porovnány. Dále bude použita funkce frézování bokem nástroje. Jelikož se jedná o plynulé 5 – ti osé frézování, mělo by dojít k usnadnění programování šikmých den a ploch. Také by se měl zlepšit povrch v porovnání s předešlou technologií. Nakonec zde budou ukázány možnosti funkce rozpoznávání vrtání, pomocí níž lze v určitých případech také uspořit čas při programování.



### 3.3 Nástroje

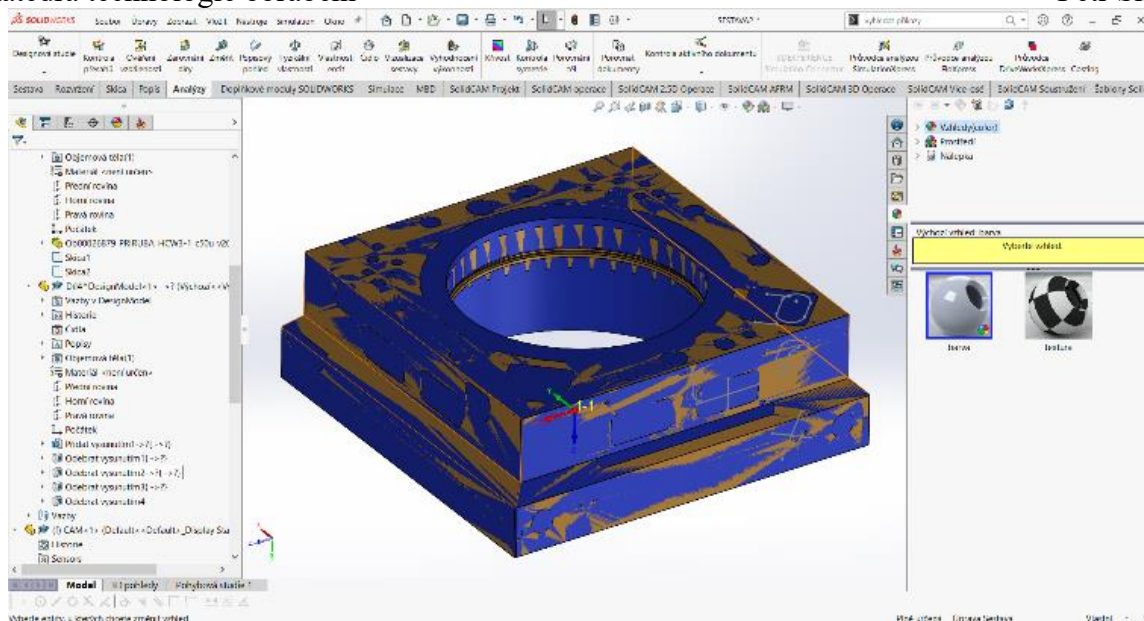
Na obrázku 32 lze vidět veškeré použité frézy a vrtáky. Nástroje byly vybírány z katalogu ZČU. U čelní válčové frézy o průměru 20 mm je důležitým údajem také zaoblení o poloměru 2 mm, pomocí kterého se zhotoví zaoblení o boční kapsy. Geometrie nástrojů bude uvedena pomocí obrázků v jednotlivých operacích.

Číslo nástro...	B...	Popis	Průměr	Typ nástrojě	R
Magaz...					
24 P		FR-D10 Z4-LONG - SEH 422816	10.000	Toroidní fréza	0.000
38 P		FR-D14 Z4-LONG - SEH 422816	14.000	Toroidní fréza	0.000
39 P		FR-D20 Z4-LONG - SEH 422816	20.000	Toroidní fréza	0.200
4 P		FR-D4 Z4-DRAW - SEH 422829	4.000	Toroidní fréza	0.150
13 P		FR-D6 Z4-LONG - SEH 422816	6.000	Toroidní fréza	0.000
370 P		VRT-D26-HSS	26.000	Vrták	0.000
357 P		VRT-D4-HSS	4.000	Vrták	0.000
315 P		VRT-D9	9.000	Vrták	0.000
103 P		FR-D20 Z3 R2-OSG-LONG - PSE11R020SS20-3L	20.000	Čelní fréza	2.000

Obr. 32 Nástroje SolidCAM

### 3.4 Příprava před programováním

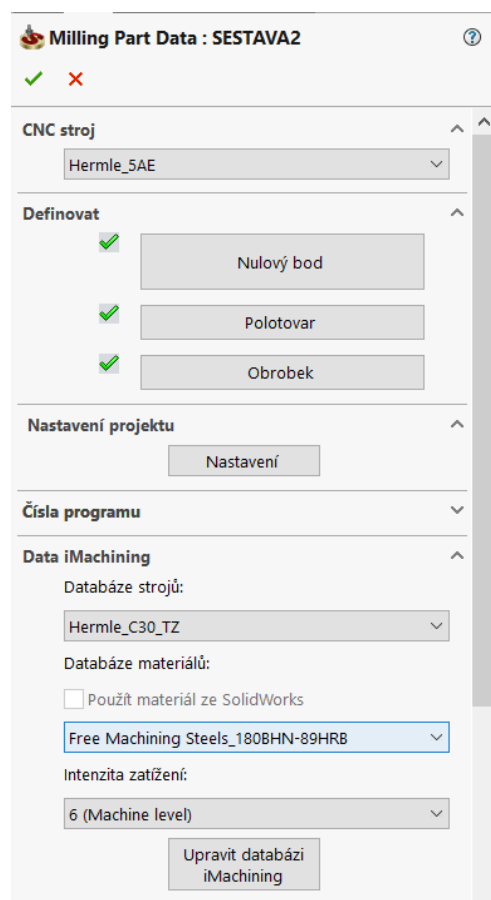
Před samotným programováním bylo nejprve nutné do CAD systému SolidWORKS naimportovat firmou dodaný model příruby HCW3. Model byl dodán ve formátu .stp. Po importu byla provedena automatická analýza chybných ploch, která diagnostikuje importovaný model, opraví chybné povrchy, které následně převede na objemy. [14] Analýza proběhla bez chyby, a tudíž bylo možné uložit model součásti s příponou .SLDPRT. Přípona .SLDPRT označuje soubor obsahující 3D objekt nebo část, který může být kombinován s jinými částmi do jednoho souboru například .SLDASM. [15] Tento formát souboru již lze otevřít v programu SolidCAM 2020. Nejprve však bylo nutné vytvořit polotovar odpovídající technologii, který následně sloužil pro kontrolu obrobených ploch pomocí funkce Solid Verify. K vytvoření funkčního seskupení modelu příruby a polotovaru je nutné pracovat v SolidWORKSu na úrovni sestavy. Polotovar má shodné vnější rovinné plochy s rozměry již obrobené příruby, tudíž slouží pouze pro kontrolu obrábění kapes a vrtání. Jeho model lze vidět na obrázku 33, kde pomocný polotovar je zvýrazněn modrou barvou, pod nímž prosvítá žlutý model příruby HCW3. Polotovar byl vytvořen pomocí poloautomatických prvků dostupných v SolidWORKS pro vytvoření objemů. [14] [15]



Obr. 33 Polotovár SolidCAM

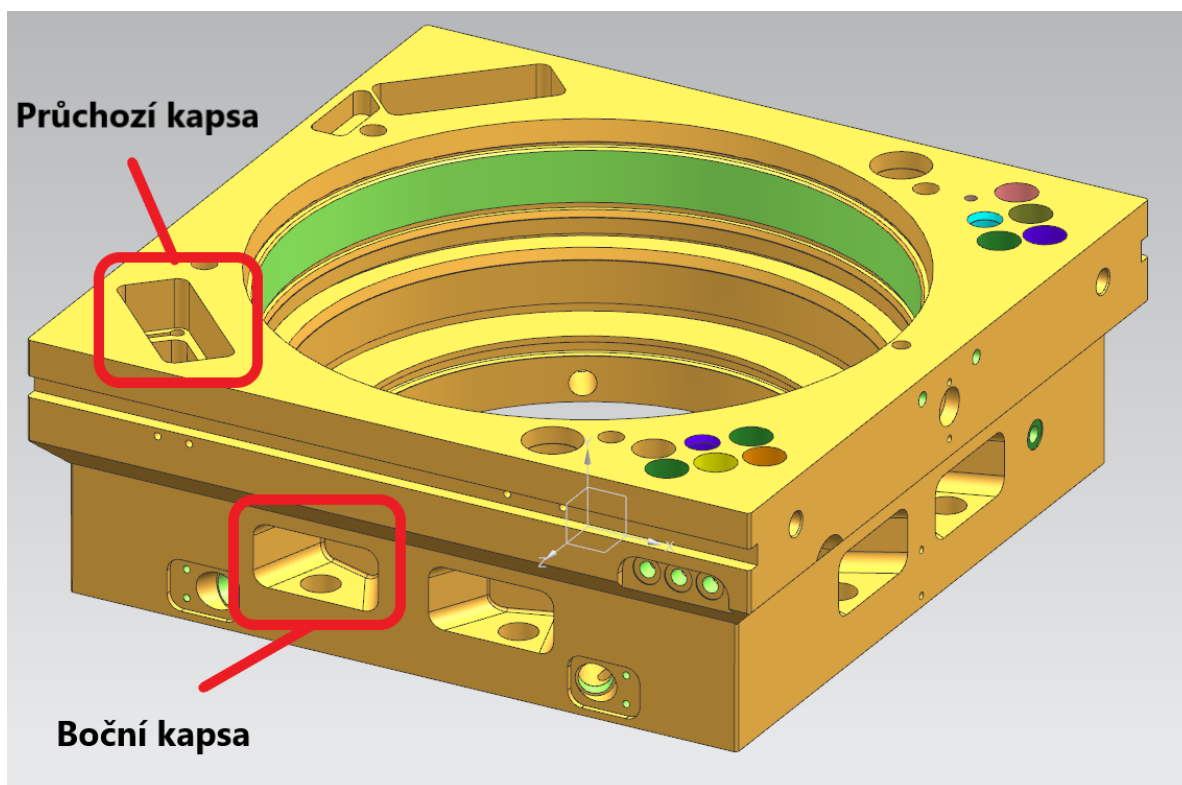
### 3.5 Tvorba nového projektu SolidCAM

Po vytvoření nového projektu se nejprve zobrazí tabulka viz Obr.34, kde je nutné definovat základní parametry nového projektu. Jako první parametr, který je nutné zadat je výběr CNC stroje. Zde bylo zvoleno CNC centrum Hermle\_5AE, a to z důvodu, že kinematika stroje je stejná, jako kinematika stroje používaného ve firmě ŠMT a.s.. Dalším parametrem, který je potřeba definovat je Nulový bod. Ten byl umístěn do středu horní plochy obrobku. Poté je nutné nadefinovat polotovár. Zde byl zvolen již předem vytvořený CAD model polotovaru. U položky Obrobek byl vybrán CAD model příruby HCW3. Dále je zde nutné nastavit parametry pro Data iMachining, kde byl vybrán ze záložky Databáze strojů CNC centrum Hermle\_C30\_TZ a materiál. Intenzita zatížení byla ponechána na Machine level 6 vzhledem k obráběnému materiálu. Tyto parametry budou následně zahrnuty při výpočtech operace iMachining pro co nejefektivnější výpočet drah a zatížení nástroje.



Obr. 34 Nastavení vstupních dat

### 3.6 Návrh nové technologie

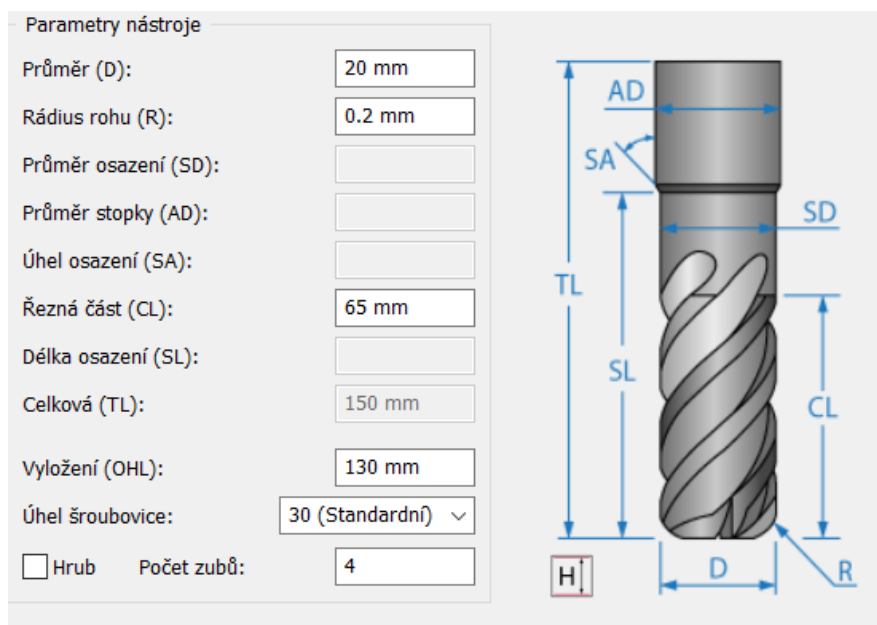


Obr. 35 Části příruby pro racionalizovanou tech.

#### 3.6.1 Průchozí kapsa

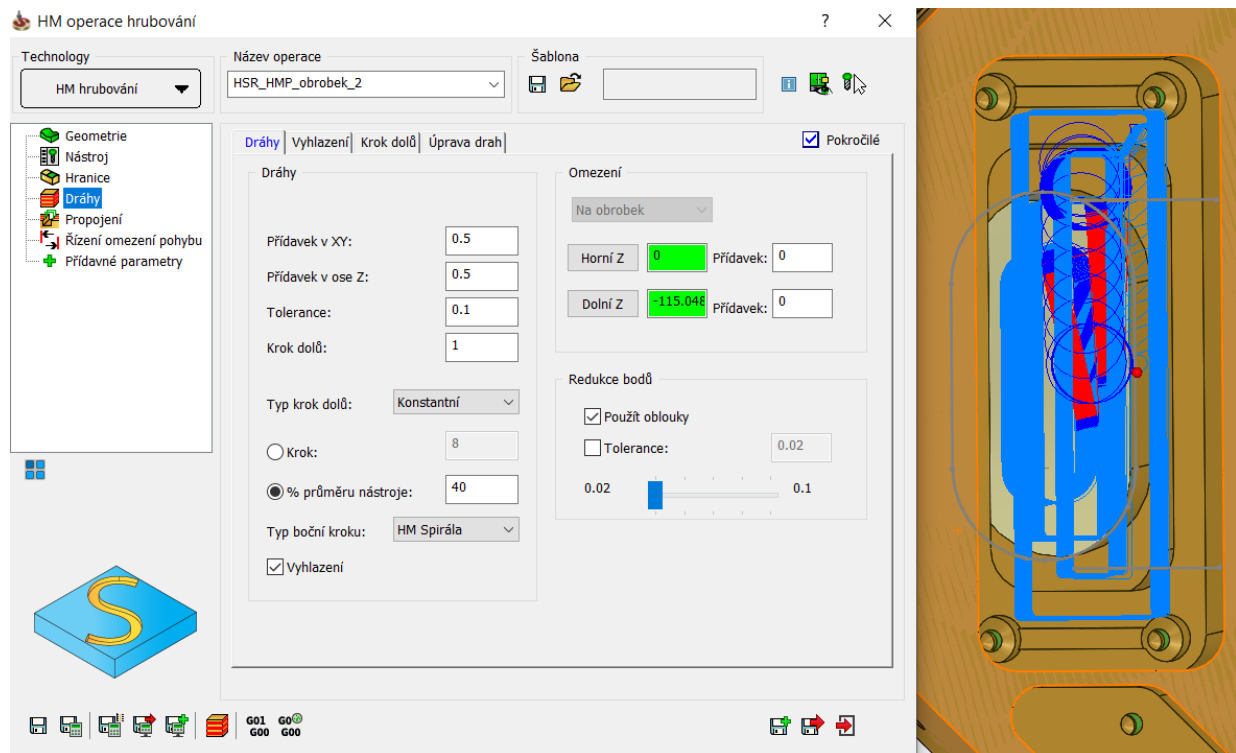
Jako první bylo řešeno hrubování horní části kapsy. Zde se nabízely dva způsoby hrubování. První způsob bylo použít operaci HM hrubování. Jelikož tato funkce pracuje s neustále aktualizovaným polotovarem, dochází zde k optimalizaci drah přejezdů nástrojů a tím i k úspoře času. [16]

Pro tuto operaci byla zvolena jako nástroj toroidní fréza o průměru 20 mm viz. Obr. 36.



Obr. 36 Toroidní fréza D20

Postup pro nastavení operace viz. Obr.37 byl následující. V záložce „hranice“ bylo nutno omezit pracovní prostor pouze na obvod kapsy, kde pracovní oblast byla zvolena vnitřní. V záložce „dráhy“ byly nastaveny požadované přídavky, které činí 0.5 mm na stěny a dno. Horní rovina byla zvolena totožná s horním okrajem a kapsy a hloubka hrubování byla nastavena -115.048 mm, což je spodní křivka šikmé stěny, která se nachází na spodní straně příruby. Krok dolů byl zvolen po 1 mm. Orientační čas obrábění vypočtený softwarem SolidCAM činí 17 minut, což je téměř o 7 minut lepší než současný čas při technologii, která je ve firmě používána. Další výhodou je menší množství nástrojů a ušetřený čas na jejich výměnu a seřízení.



Obr. 37 HM hrubování

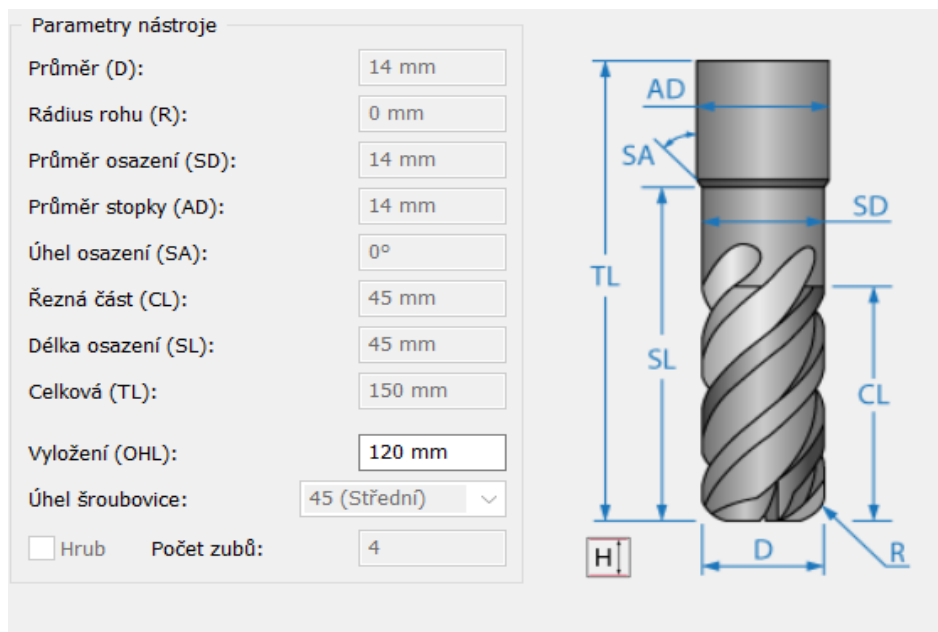
Druhou možností bylo použít inovativní funkci iMachining. „Díky unikátním patentovaným "morfujícím spirálám" a inteligentním oddělováním ostrovů a dělením oblastí, lze získat ve výrobě co nejkratší čas obrábění. Díky vlastnosti udržování konstantního mechanického a tepelného zatížení nástroje, lze docílit co nejdelší životnosti nástroje a nejvyšší rychlosti odebrání materiálu.“ [17]

Nespornou výhodou funkce je, že umožňuje odebrání materiálu na plnou hloubku nástroje s menším radiálním úběrem. Funkce generuje přizpůsobené dráhy nástroje, díky kterým jsou eliminovány výkonové výkyvy pro nástroj. Nástroj by tak podle výrobce měl být neustále přesně zatížen. Je zde také eliminováno obrábění vzduchu tím, že dráhy jsou co nejefektivněji přizpůsobeny danému dílu. [18]

Katedra technologie obrábění

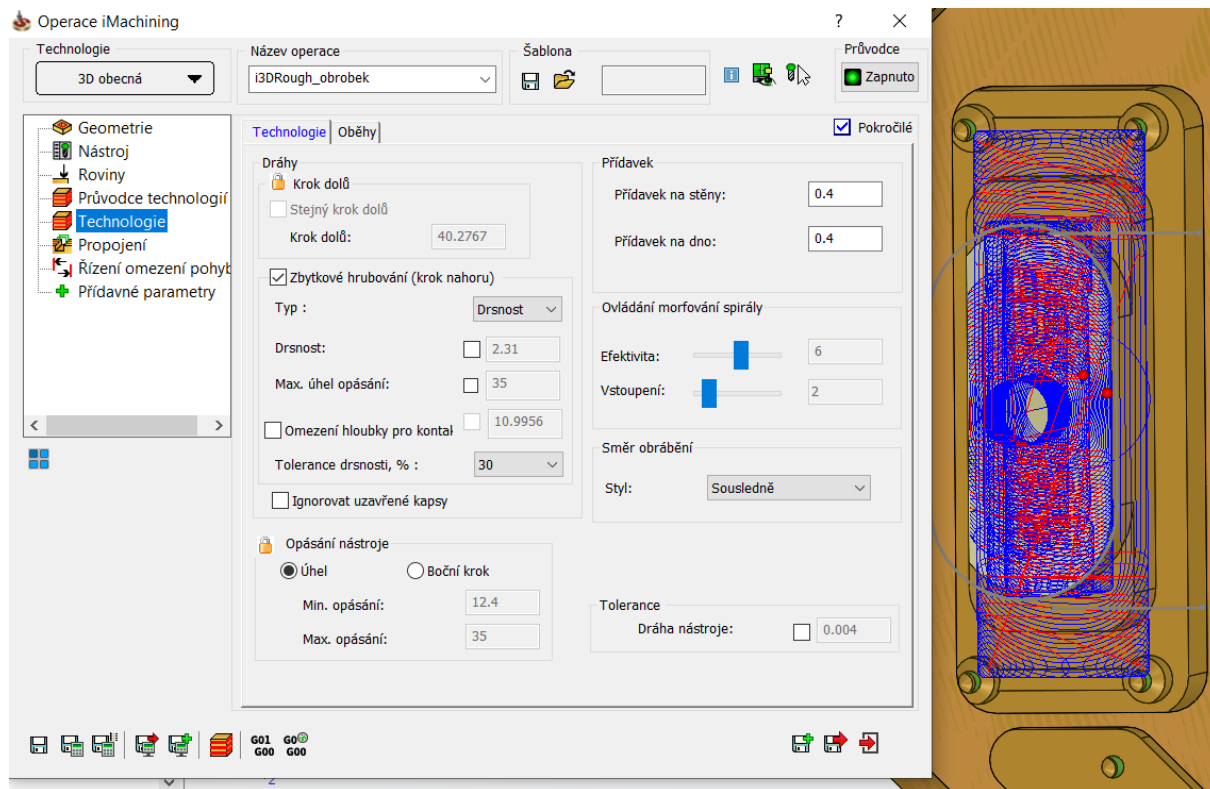
Petr Skála

Pro tuto operaci byl zvolen nástroj toroidní fréza o průměru 14 mm viz. Obr.38.



Obr. 38 Toroidní fréza D14

V záložce „geometrie“ viz. Obr.39 bylo nutno vytvořit pracovní oblast, a to pouze vztaženou na oblast kapsy. V záložce roviny byla nadefinována hloubka, která i zde činila -115 mm v ose Z, viz předešlá operace HM hrubování. V záložce „technologie“ byly zvoleny přídávky na stěnu a dno 0.4 mm. Upravovaly se zde řezné podmínky, kdy maximální tloušťka třísky byla zvolena 0.05 mm a maximální úhel opásání 25 %. V záložce „propojení“ bylo nutno nastavit předvrtání, které bylo provedeno vrtákem o průměru 26 mm. Orientační čas spočítaný softwarem v činí 13 min což činí teoretickou úsporu 11 min vůči technologii původní.



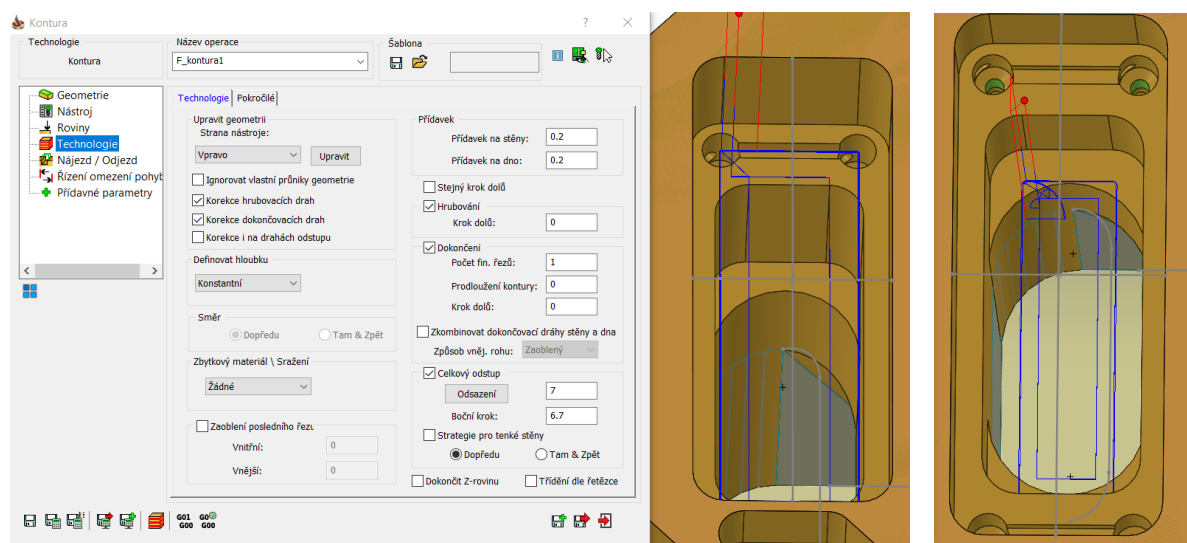
Obr. 39 iMachining

Katedra technologie obrábění

Petr Skála

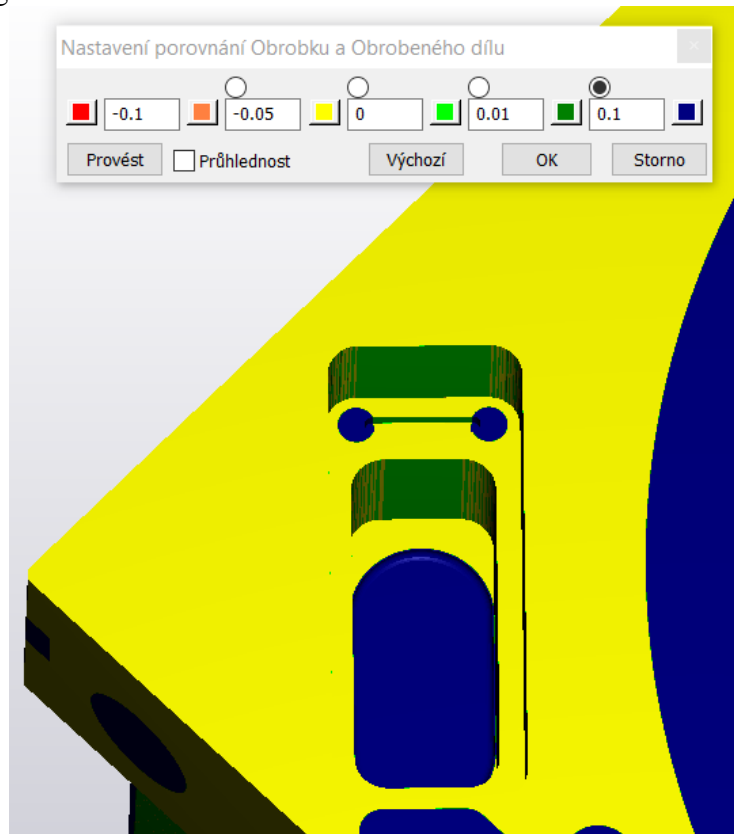
Na obrobení bočních stěn a ploch dna v kapse byla použita operace kontura. Řadí se mezi 2,5D operace, kam se řadí také vrtání, řezání závitu a frézování kontur, kapes, drážek.

Bude zde popsán postup pro obrobení horní části kapsy, kdy pro dolní část je postup téměř totožný, viz. Obr.41.1,2. V záložce „geometrie“ byla vybrána kontura obvodu horní části kapsy. Jako nástroj zde byla použita toroidní fréza o průměru 14 mm viz. Obr.38. V záložce „roviny“ byla vybrána počáteční rovina (totožná s horní plochou modelu) a jako dolní rovina dna první úrovně kapsy. V záložce „technologie“ bylo nutno upravit stranu nástroje, která byla zvolena vlevo. Jelikož v rádiusech, které mají poloměr 7.5 mm zbylo větší množství materiálu po hrubování, bylo zde nutno nastavit hrubování, kde přídavek na stěny a dno byl zvolen 0.2 mm. V záložce „celkový odstup“ bylo vytvořeno celkové odsazení 7 mm a bočním krokem 6.7 mm, což zajistilo obrobení celé plochy dna.



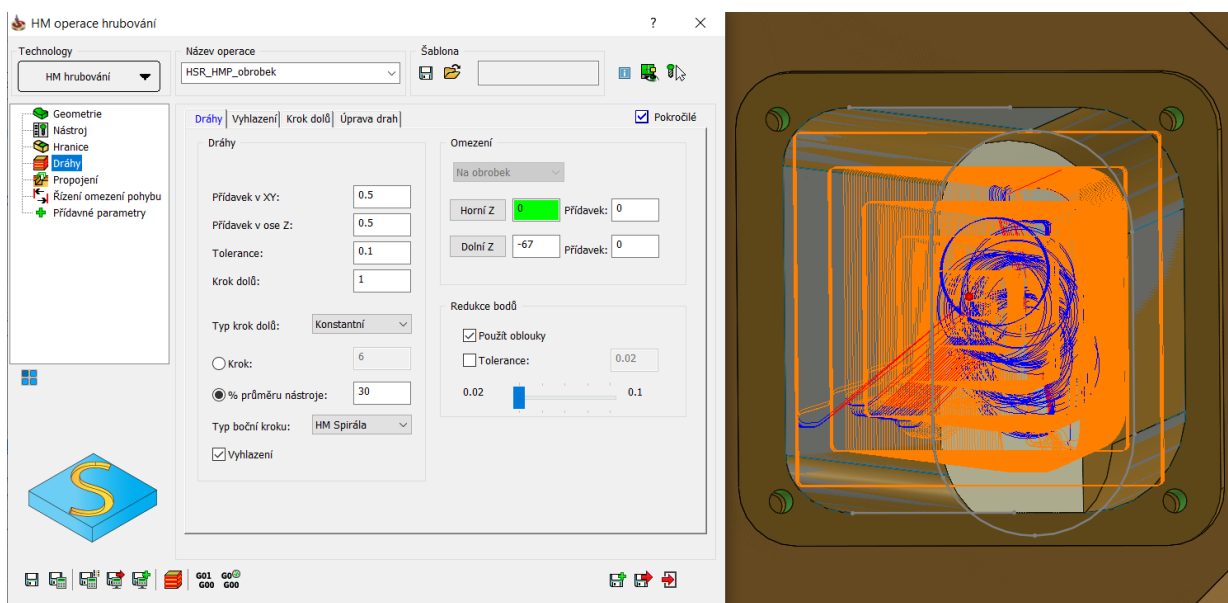
Obr. 40 Frézování kontura 1,2

Pomocí Solid Verify lze vidět na obrázku 41, že až po spodní hranu je vše obrobno bez přídavku s výjimkou 4 děr, které budou obrobny až následně za pomoci funkce automatického rozpoznávání děr.



Obr. 41 Solid Verify horní

Z druhé strany příruby byl postup podobný, jako v horní části. Nejprve se však musela vytvořit v nastavení CAM systému přeupnutí obrobku a vytvoření nového nulového bodu. Nejprve byla vytvořena hrubovací operace pomocí funkce HM hrubování viz. Obr.42. Byla použita toroidní fréza o průměru 20 mm viz. Obr.36. Bylo nutno vytvoření hranic, které byly vztaženy pouze na požadovanou kapsu. Hloubka hrubování byla 67 mm, což je hranice, na které dojde k propojení s hrubováním, které probíhalo z horní strany kapsy. Přídavky byly voleny 0.5 mm na plochy a dno a krok dolů 1 mm. Tato operace byla softwarem vypočtena na 31 min, což je o 8 min rychlejší než operace v současné technologii.

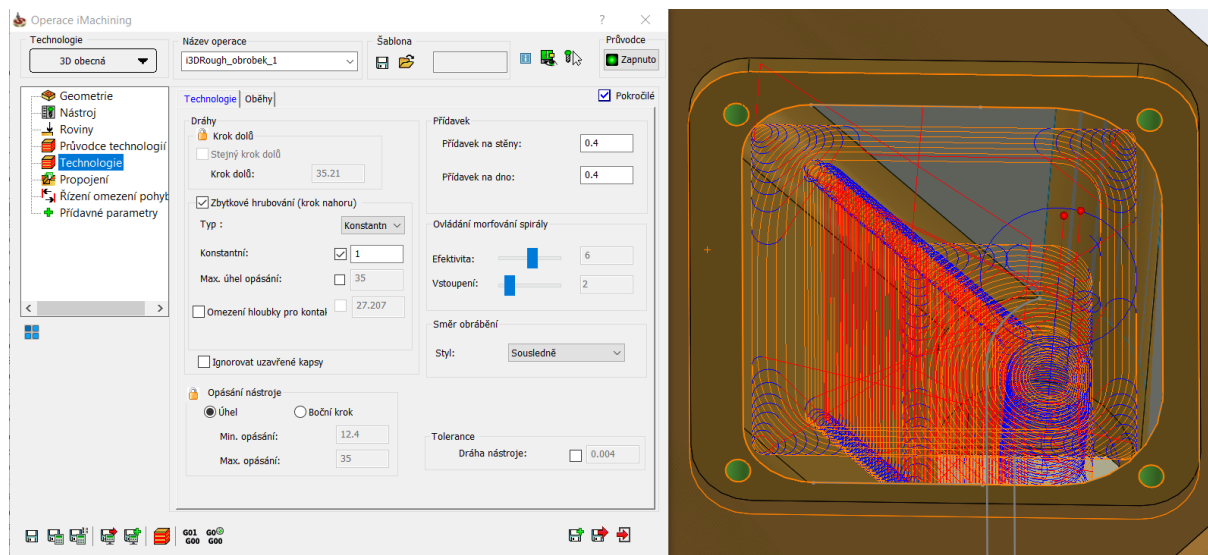


Obr. 42 HM dolní

Katedra technologie obrábění

Petr Skála

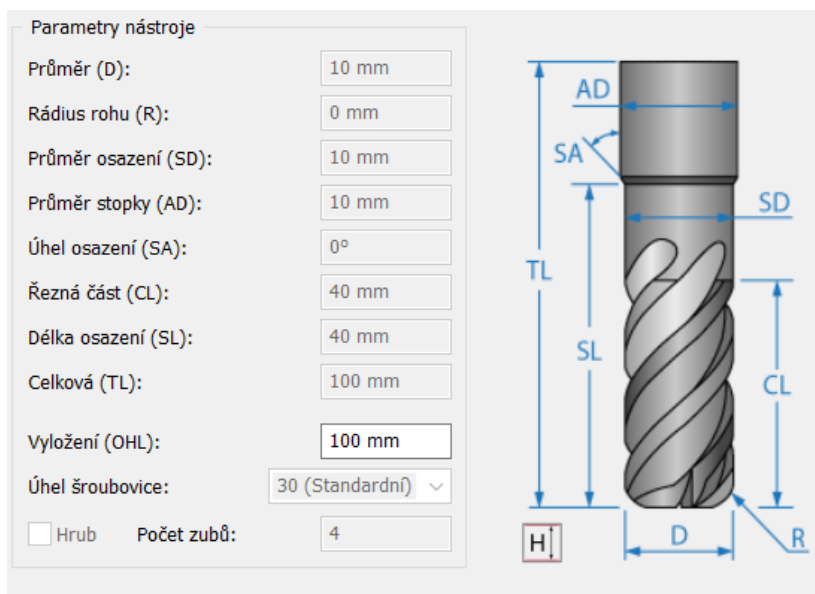
Jako druhá možnost byla opět zvolena funkce iMachining viz. Obr.43. I zde bylo nutno nejprve vytvořit hranice. Jako nástroj zde díky dostatku prostoru mohla být použita toroidní fréza o průměru 20 mm. viz. Obr.36. Bylo nutno i zde zvolit předvrtání otvoru, které proběhlo vrtákem o průměru 26 mm. Přídavky byly zvoleny 0.4 mm na plochy a dno. Bylo zde nutno nastavit také v záložce „technologie“, zbytkové hrubování, krok, který byl zvolen jako konstantní s hodnotou 1 mm. Tím bylo docíleno maximálního přídavku na šikmé stěně do 1 mm. Upravovaly se zde též řezné podmínky, kdy maximální tloušťka třísky byla zvolena 0.05 mm a maximální úhel opásání 25 %. Tato operace byla vypočtena na 25 min což činí teoretickou úsporu 14 min než za současné technologie



Obr. 43 iMachining dolní

Problematickou částí se ukázaly obvodové plochy kapsy. Zde byla použita operace frézování bokem nástroje, které spadá již do plynulého 5 - ti osého frézování. Původně bylo zamýšlené obrobění celé plochy jednou operací, což se nakonec nepodařilo realizovat, jelikož se nepodařilo propojit plochy způsobem, aby došlo k obrobění veškerých ploch a nedocházelo ke kolizím s materiálem.

Pro operace frézování bokem nástroje byla zvolena toroidní fréza o průměru 10 mm viz. Obr.44.



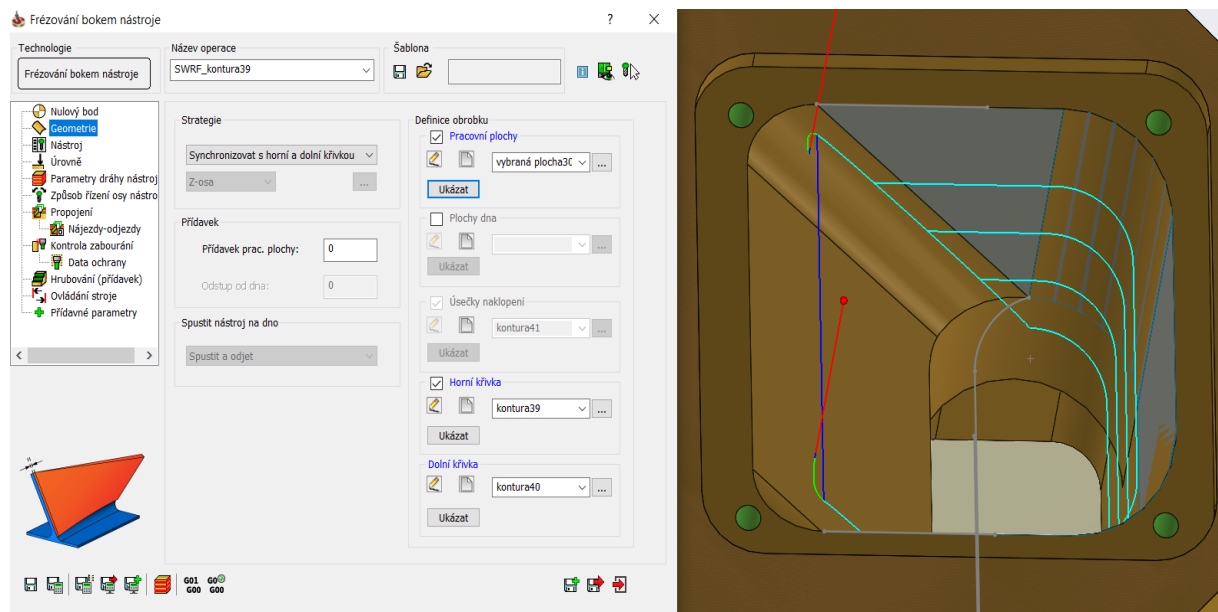
Obr. 44 Toroidní fréza D10



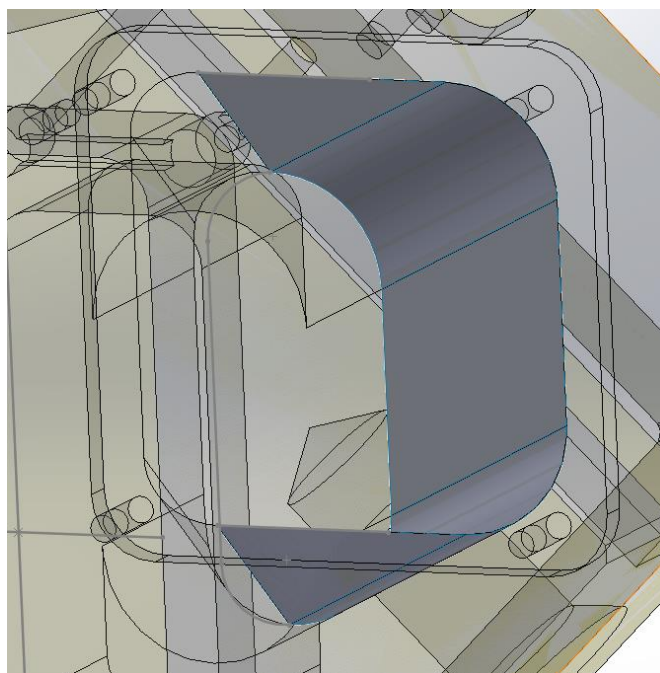
Katedra technologie obrábění

Petr Skála

Nejprve byla vytvořena operace pro část bez šikmé stěny a rádií viz. Obr.45, kde v záložce „geometrie“ byly vybrány boční plochy, které musely být opraveny v modelu viz. Obr.46. Jako horní a dolní křivka byly vybrány kontury, které tvořili horní a spodní část obráběných ploch. V záložce „propojení“ bylo důležité nastavit mezery při obrábění a propojení mezi řezy, kde byla vybrána možnost dle ploch. Dále zde byly vybrány pokračující rádia a šikmá stěna jako kontrolní vůči kolizím. Kolizím bylo zabráněno odjetím v ose nástroje.

**Obr. 45 Frézování bokem nástroje pravá část**

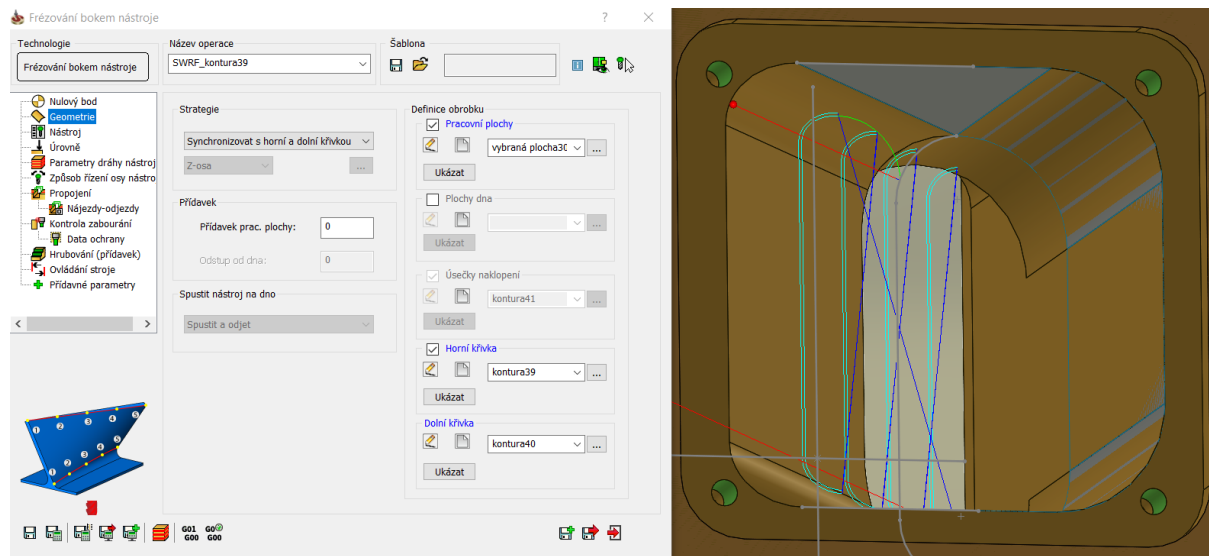
Také se zde ukázaly jako chybné některé plochy, které jsou znázorněny na obrázku 45. Podél těchto ploch SolidCAM nedokázal vygenerovat konturu, která by kopírovala obvod stěny. Tyto plochy byly vytvořeny jako pomocná geometrie viz. Obr.46, což vedlo již k správnému vypočtení drah.

**Obr. 46 Úprava ploch**

Katedra technologie obrábění

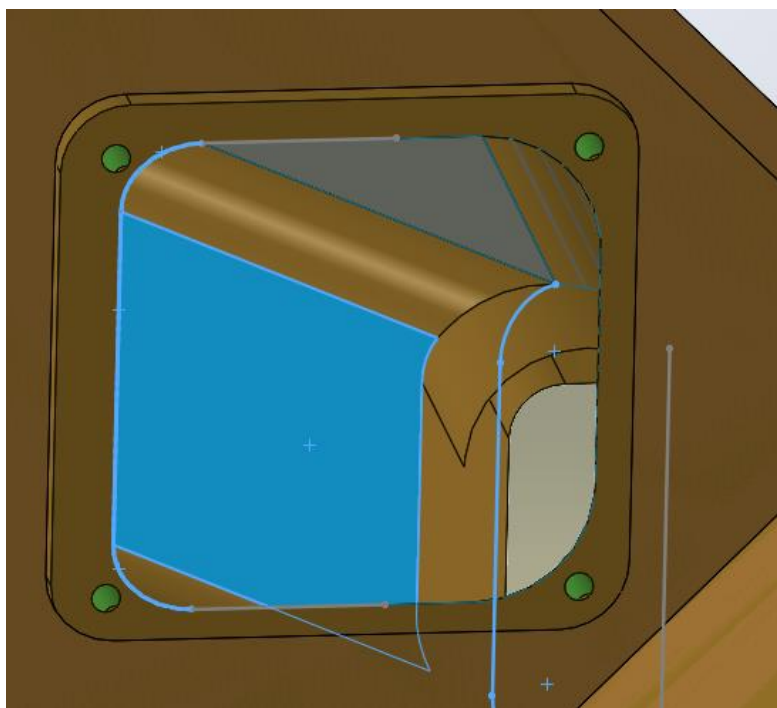
Petr Skála

Druhá operace frézování bokem nástroje byla použita pro šikmou plochu a dvě rádia po stranách viz. Obr.47. Zde bylo nutno zvolit strategii z automaticky na synchronizovat s horní a dolní křivkou. Postup k ochraně před případnými kolizemi byl použit totožný s předchozí operací



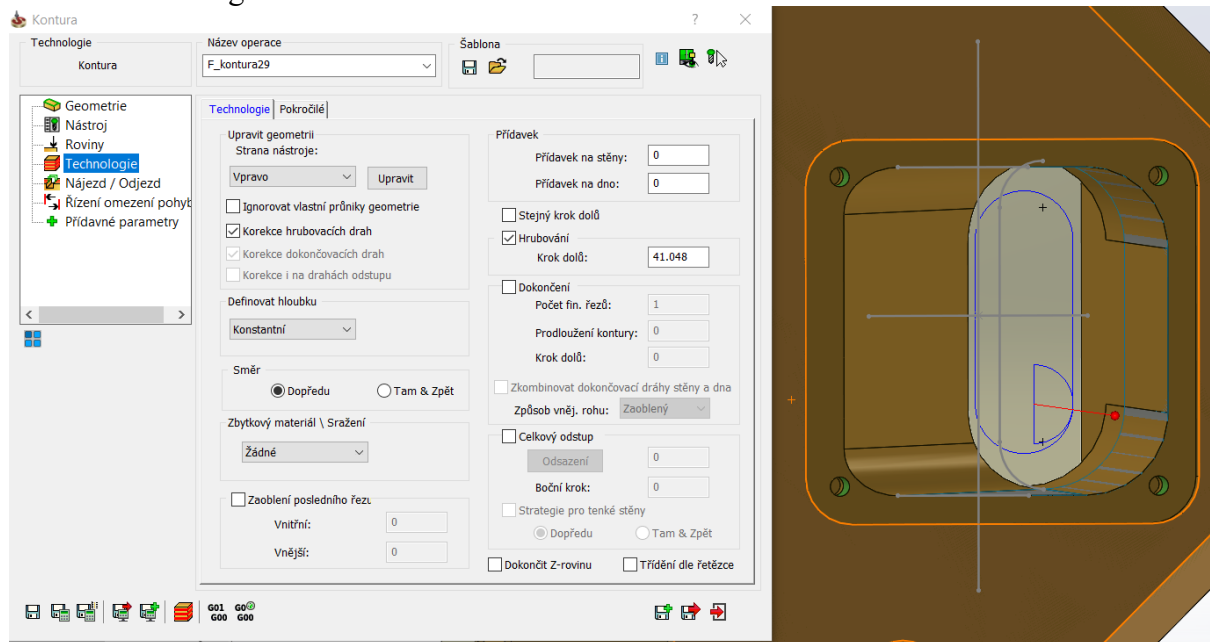
**Obr. 47 Frézování bokem levá část**

Zde bylo nutno opravit geometrii dolní křivky, která nebyla geometricky totožná s horní křivkou a ležela ve zcela jiné rovině. Nová geometrie obsahovala promítnutí horní křivky (zobrazené modře), která navazovala na šikmou stěnu v jejím nejhlubším bodě (spodní křivka zobrazena modře) a byla umístěna do roviny posunuté v ose Z. viz. Obr.48.



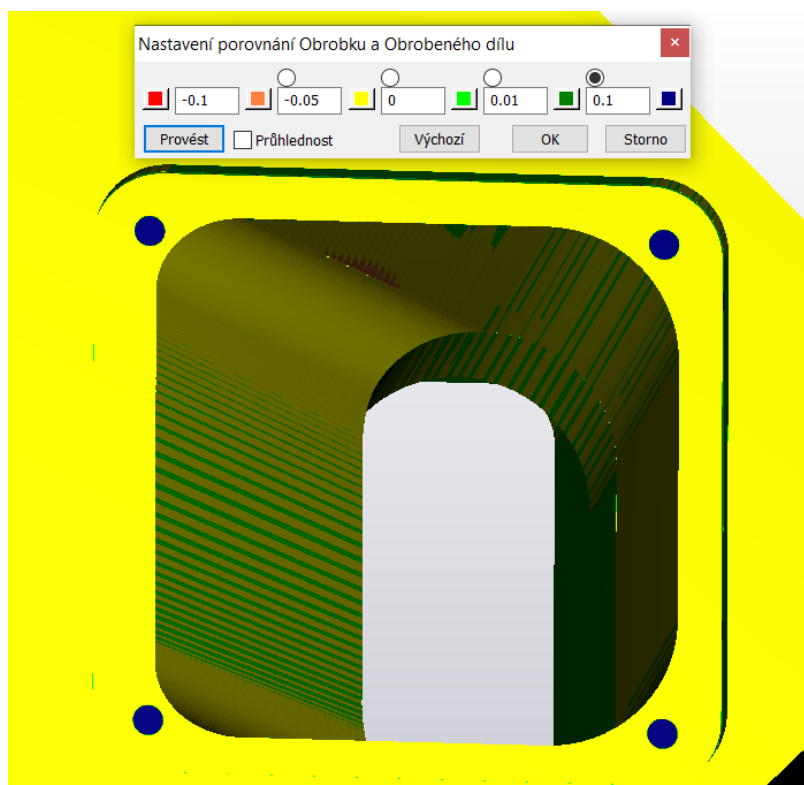
**Obr. 48 pomocná geometrie**

Následně byl obroben přechod mezi horní a dolní částí kapsy. Na tuto operaci byla použita toroidní fréza o průměru 14 mm viz. Obr.38. Operace byla zvolena kontura a geometrii tvořil oválný tvar průchodu, který byl promítnut do pomocné roviny v námi požadované hloubce viz. Obr.49. Bylo zde nutno zvolit stranu nástroje na vpravo. Průchod bylo možné díky rezné délce fréze obrobit na jednu hloubku řezu.



Obr. 49 Kontura přechod

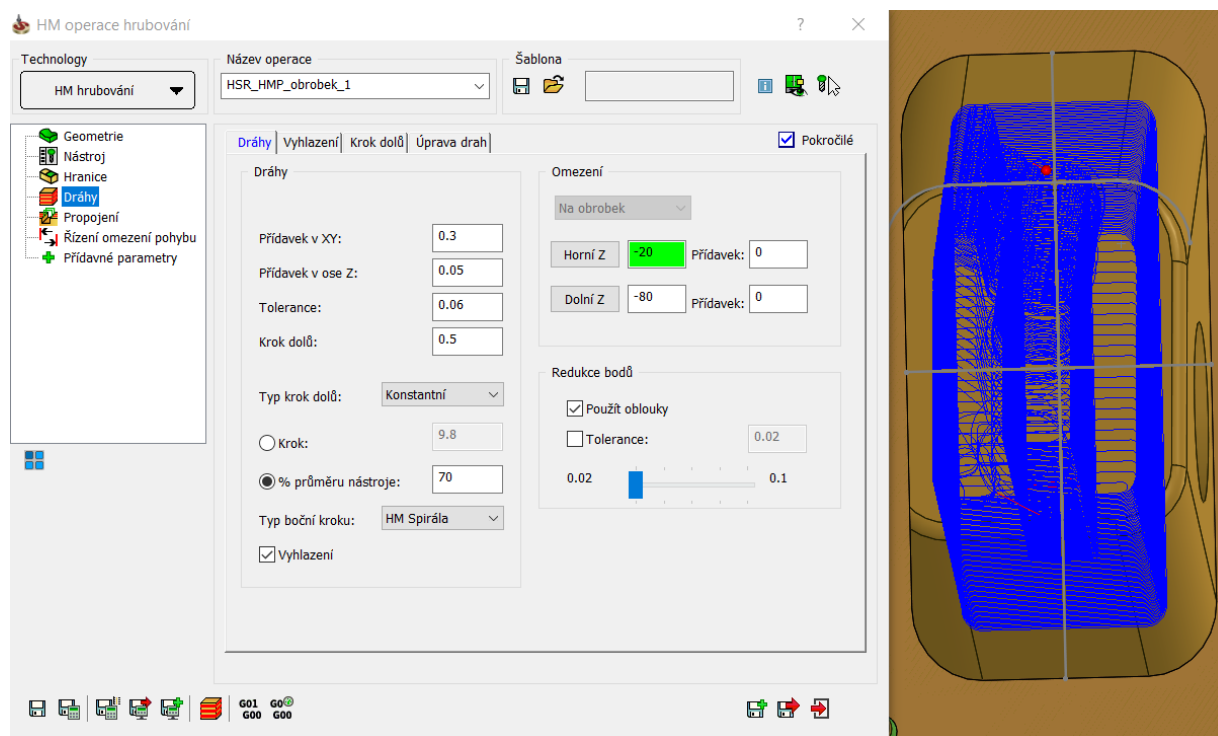
Poslední frézovací operací bylo obrobení rámečku za pomoci operace kontura. Použitý nástroj byla toroidní fréza o průměru 20 mm viz. Obr.36. Geometrii tvořil obvod rámečku a stranu nástroje bylo nutno změnit na vpravo. Jelikož zde byla větší vrstva zbytkového materiálu, bylo nejprve použito hrubování s krokem dolů 0.6 mm a přídávky 0.1 mm na boční stěny a dno, které se následně obrobily jedním finálním řezem. Následná kontrola byla provedena pomocí Solid Verify viz. Obr.50.



Obr. 50 Solid Verify dolní

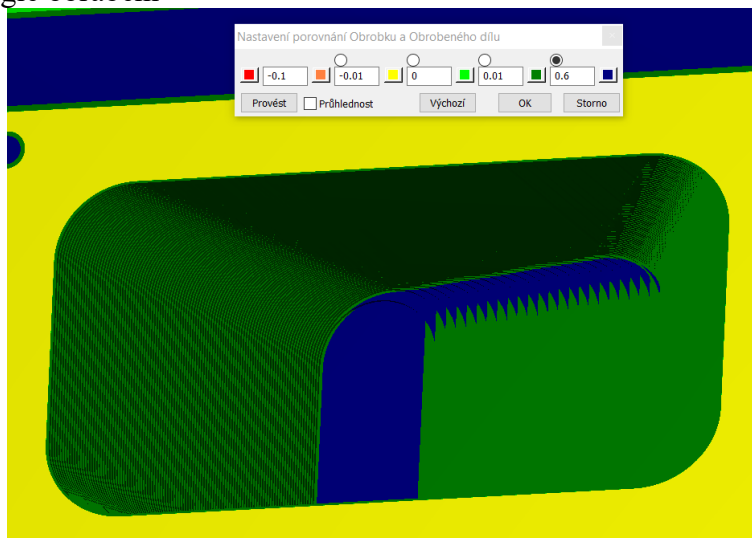
### 3.6.2 Boční kapsa

Jako první operace pro boční kapsu bylo zvoleno HM hrubování. Na obrázku 51 lze vidět jednotlivé záložky a vykreslené kontury nástroje. V první záložce Geometrie je již předdefinován celý obrobek, na který by byla použita funkce HM hrubování, tudíž bylo třeba omezit vztažnou plochu pomocí záložky hranice, kde byla vybrána obvodová kontura boční kapsy a zaškrtnuta možnost vnitřní pracovní oblasti. V záložce nástroj byla vybrána toroidní fréza o průměru 14 mm viz. Obr.38. V záložce dráhy se volí přídavky na stěnu a dno, které byly zvoleny 0.3 mm v ose XY neboli na boky a 0.05 pro dno v ose Z. Dále zde bylo definováno horní a dolní Z, které nám vymezuje počáteční hladinu, což byl povrch polotovaru a konečnou hladinu hrubování, které bylo v nejhlubším místě kapsy. V propojení bylo vybráno sousledné frézování se sestupem po šroubovici.



Obr. 51 HM hrubování

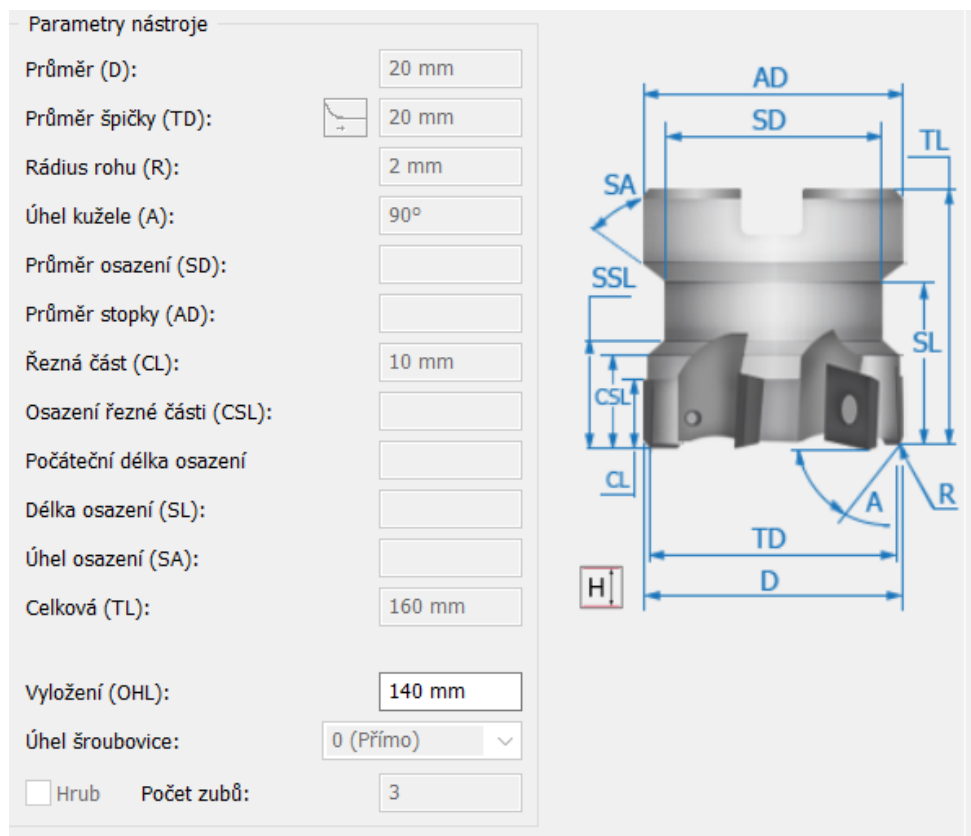
Na obrázku 52 je vidět stav ploch a jejich přídavky po operaci HM hrubování. Na bočních plochách byl dodržen přídavek 0.3 mm, ale na šikmé ploše dna se nachází místo, kde zbyl přídavek cca 0.6 – 0.7 mm. Aby bylo možné dodržet přídavek na dno, bylo by nutno volit menší krok dolů, čímž by se zbytečně prodlužoval čas samotného hrubování.



Obr. 52 Solid Verify

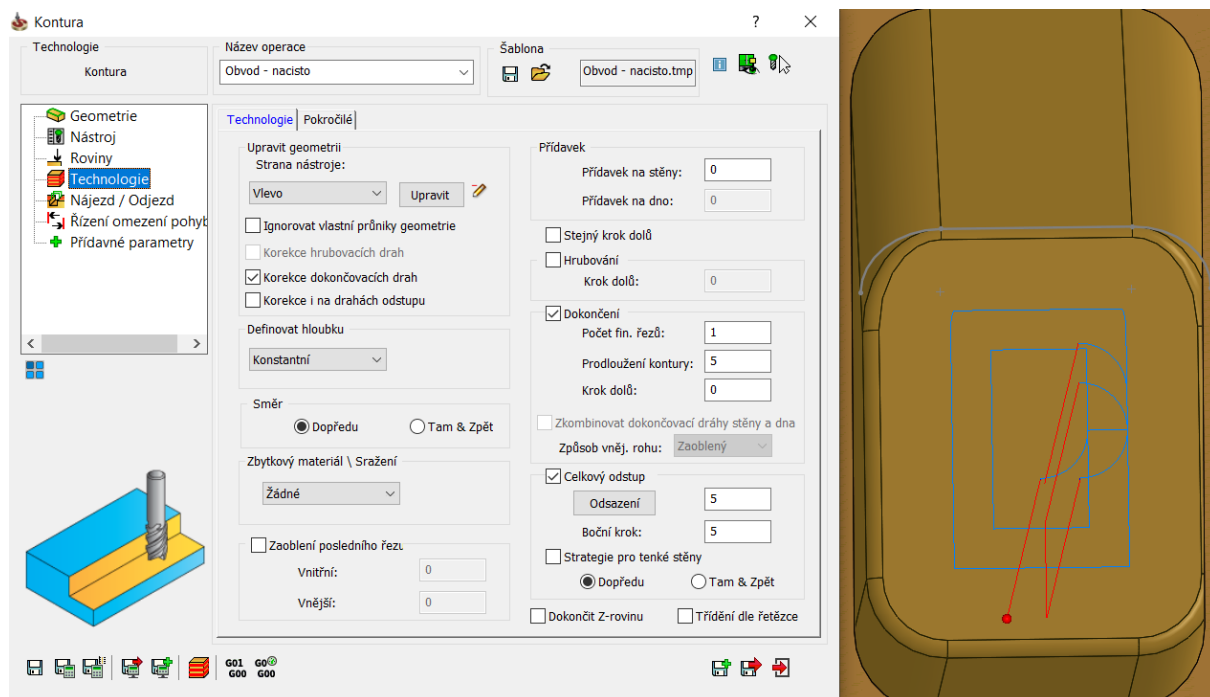
Jelikož při následující operaci frézování bokem nástroje docházelo při naklopení v rozích k dotyku čelní plochy frézy a dna kapsy, na kterém byla v určitých místech větší vrstva materiálu, je použita operace kontura a dokončeno dno na čisto.

Pro tuto operaci byla použita čelní fréza o průměru 20 mm viz. Obr.53.



Obr. 53 Čelní fréza D20

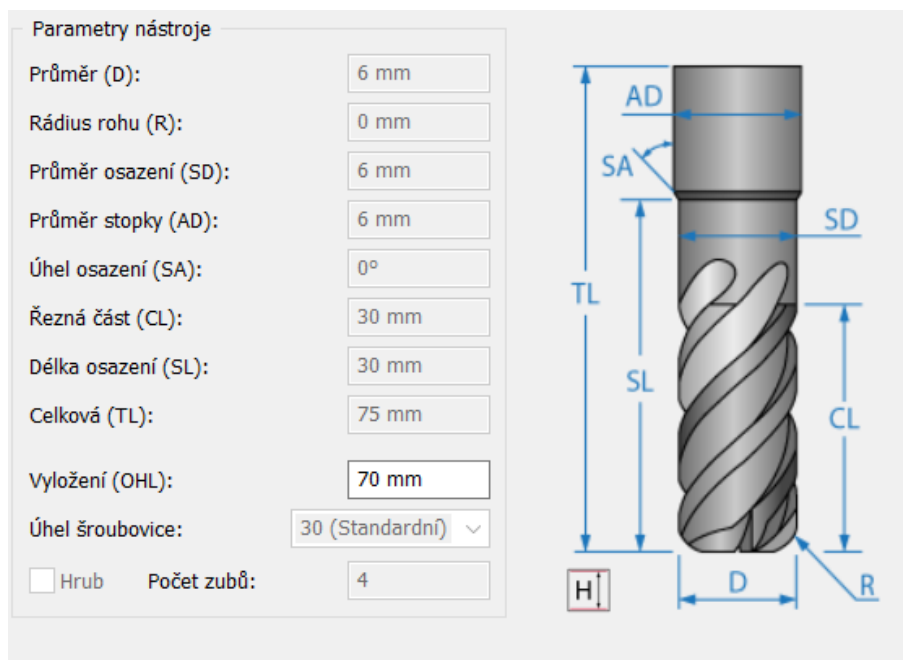
V záložce geometrie byla vybrána obvodová kontura dna, a pomocí funkce celkový odstup byla vytvořena další radiální hloubka řezu, aby došlo k obrobení celé plochy. Po této operaci zůstává zbytkový materiál pouze na bocích a v dolním obvodovém rádiusu, kde již materiál nepřekáží pro následující operaci.



Obr. 54 Kontura dno

Jako další je použita operace frézování bokem nástroje viz. Obr.56, která se již řadí do více osého frézování. Pomocí této funkce lze naklonit nástroj tak, aby obráběl rovinu pod správným úhlem. To umožňuje obrábění celou řeznou částí nástroje. Při vhodném nastavení řezných podmínek a geometrie naklonění může mít tato strategie vliv na vyšší kvalitu povrchu a čas obrobení. [19]

Jako nástroje byla použita toroidní fréza o průměru 6 mm viz. Obr.55, a to z důvodu podříznutí dna v rádiích při naklonění fréz většího průměru.

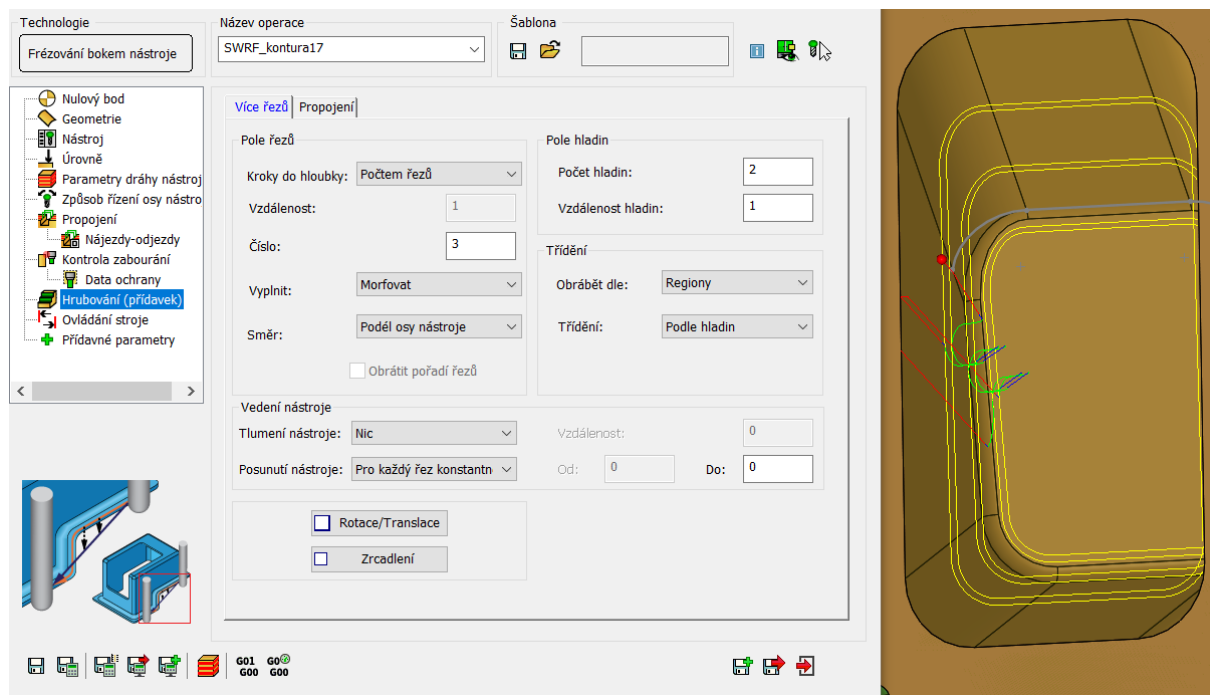


Obr. 55 Toroidní fréza D6

Katedra technologie obrábění

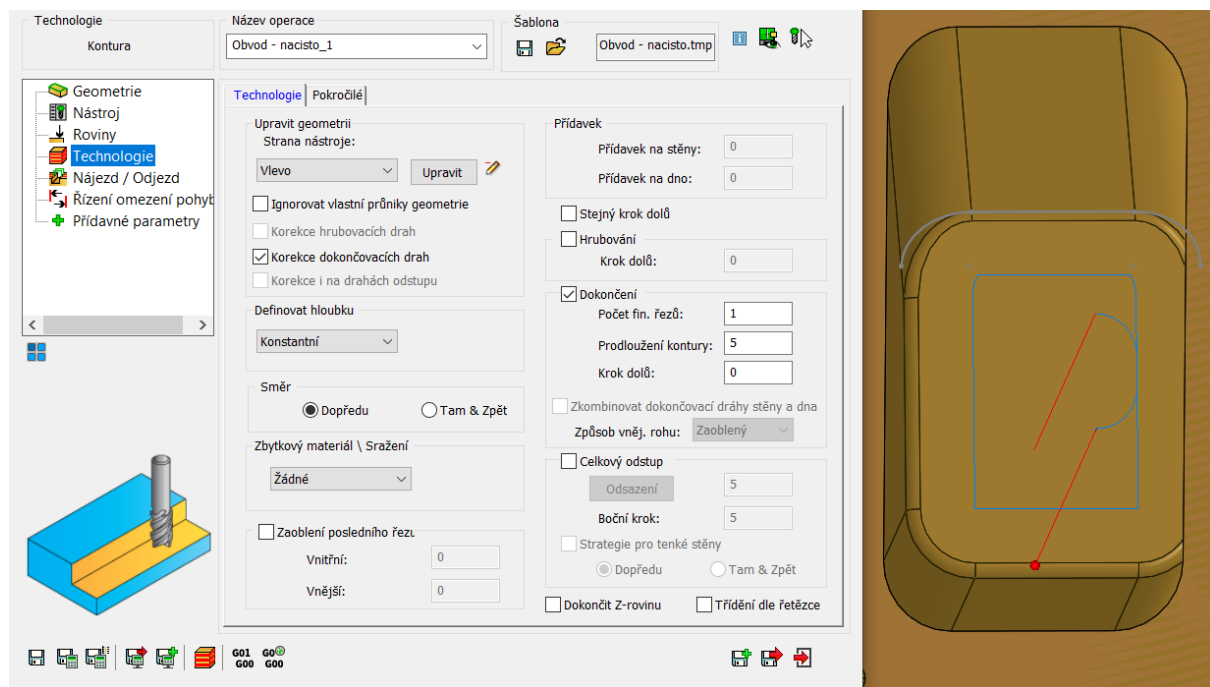
Petr Skála

Zde nastaly komplikace při změně naklopení nástroje v rádiích, kdy docházelo buďto ke kolizím nástroje do bočních stěn, nebo k podříznutí dna kapsy. To se povedlo odstranit obrobem dna na čisto, vhodně zvolenou strategií a v záložce kontrola zabourání nastavením kontrolní plochy dna a odjetím podél osy nástroje. Jako strategie byla zvolena možnost synchronizovat s úsečkami naklopení, kde jako úsečky naklopení byly vybrány křivky mezi jednotlivými bočními plochami.



Obr. 56 Frézování bokem nástroje

Po této operaci zbyl materiál pouze v dolním rádiu, který byl odebrán pomocí funkce kontura. Pro obrobení rádia o poloměru 2 mm byla zvolena fréza o průměru 20 mm viz. Obr.53, která má vhodné břitové destičky o poloměru zaoblení rohů 2 mm.

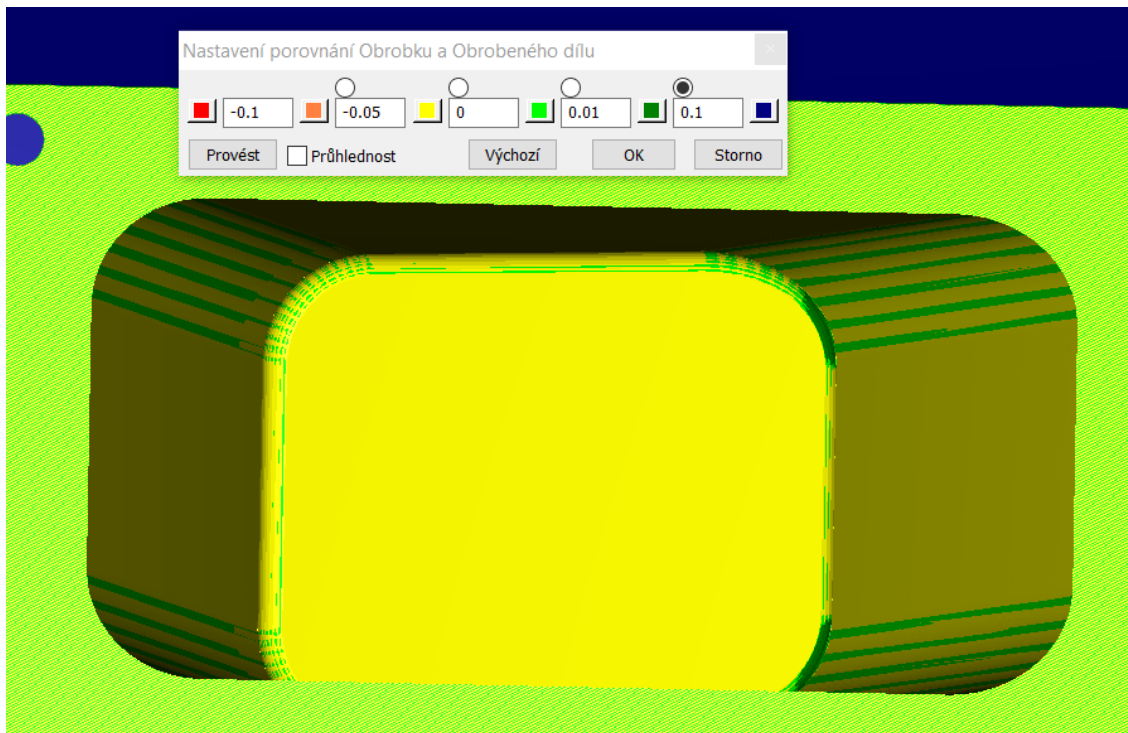


Obr. 57 Kontura rádius

Katedra technologie obrábění

Petr Skála

Konturou byl zvolen opět obvod dna a následně bylo nutno tuto konturu o 2 mm odsadit v záložce technologie – upravit geometrii. Kontrola pomocí SolidVerify viz. Obr. 58.



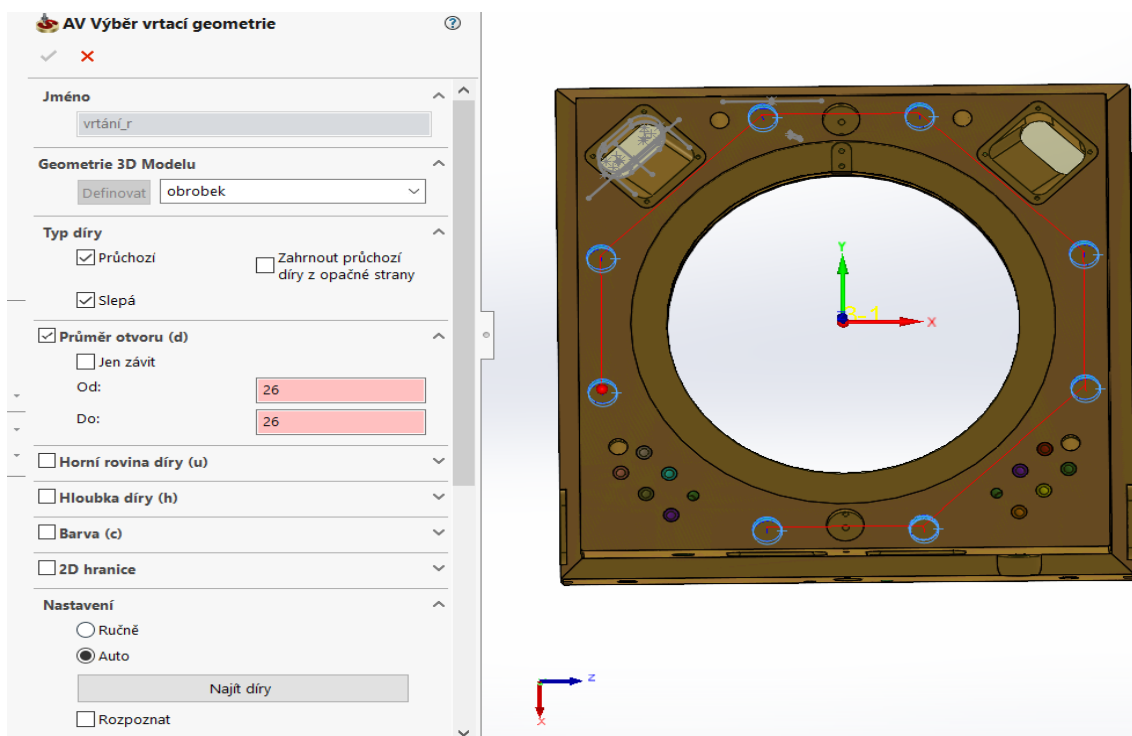
Obr. 58 Solid Verify

### 3.6.3 Vrtání

Pro usnadnění vrtání byla vybrána funkce automatického rozpoznání děr. Jedná se o funkci, která automaticky vytvoří skupiny děr. Tyto skupiny lze dále definovat například podle průměru, hloubky nebo ploch, na které jsou díry kolmé. Tato skupina se následně obrábí jedním vybraným nástrojem. Tato funkce dokáže uspořit nemalé množství času především u obrobků s velkým počtem děr stejného průměru.

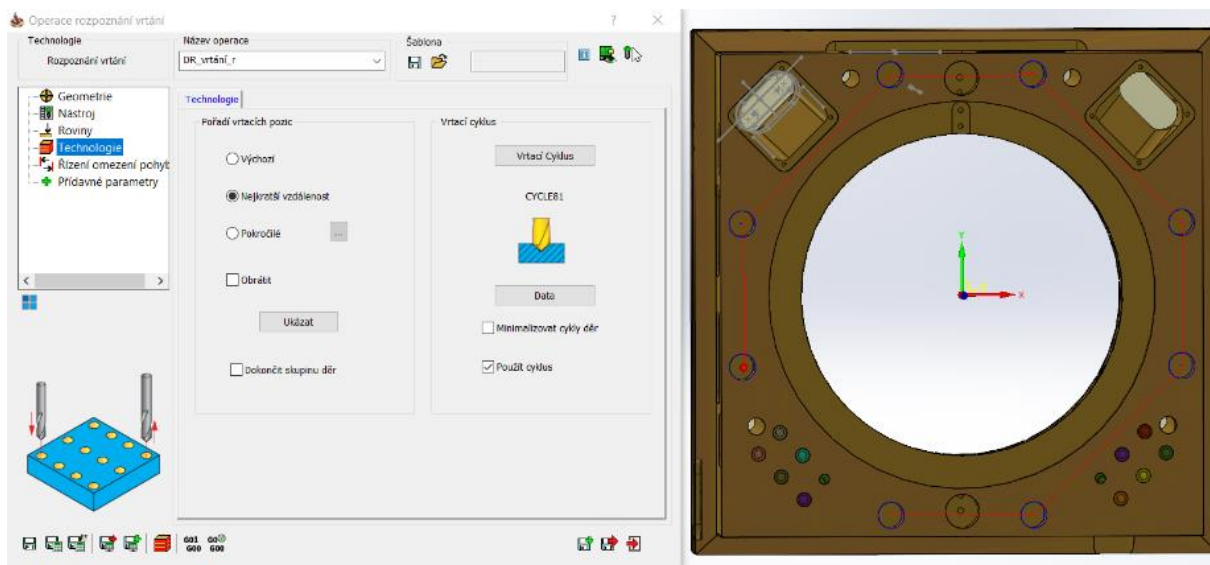
V tabulce viz. Obr.59, která slouží pro nastavení operace rozpoznávání vrtání se nejprve musí nastavit geometrie. Tabulka, která slouží pro nastavení geometrie lze vidět na obrázku 59, kde lze nastavit široké spektrum možností, podle kterých má SolidCAM možnost rozpoznat námi požadované díry. Pro potřeby využití v této práci byl zadán pouze průměr námi požadovaných děr, který je 26 mm. Po zakliknutí funkce najít díry tak lze vidět skupinu děr, které mají požadované parametry. Tyto díry jsou zvýrazněny modrou barvou a propojeny červenou konturou na obrázku 59.





Obr. 59 Výběr děr

Jako další krok je nastavení nástroje, který bude sloužit pro celou jednu skupinu děr. V tomto případě se jedná o vrták průměru 26 mm. Dále je zde zvolen vrtací cyklus CYCLE81 a pořadí vrtacích operací viz. Obr.60. Také bylo nutno nastavení hloubky vrtání, kde prvotní varianta vrtání na špičku nástroje bylo nutno změnit na vrtání na průměr. [20]



Obr. 60 Nastavení rozpoznání děr

## 4 Vyhodnocení

### Práce se softwarem SolidWORKS a SolidCAM

V oblasti CAD softwaru je přínos jednoznačný v podobě možnosti vytvářet objemové modely, které usnadňují následnou práci v CAMu. Také snadná úprava modelu, přehlednost, či vytváření pomocné geometrie dokážou zefektivnit práci.

Velký přínos softwaru SolidCAM lze spatřit v podobě rychlého vytvoření operací a jejich následné editaci. Lze zde snadno editovat zobrazené operace pro lepší přehlednost programu. Pomocí funkce Solid Verify lze následně kontrolovat dráhy obrábění, kolize nebo obrobenost ploch.

### Hrubování

Nejzásadnější posun byl vytvořen v operacích hrubování. Porovnáme-li současnou technologii hrubování, která byla použita pro průchozí kapsu a novou racionalizovanou technologii pomocí softwaru SolidCAM, lze zde nalézt zlepšení vzhledem k stávající technologii.

V současné technologii se momentálně využívají 4 nástroje pro hrubování horní části kapsy. V racionalizované technologii si lze vystačit pouze s jedním nástrojem při použití funkce HM hrubování, nebo dvěma nástroji při použití funkce iMachining, kde je nutno použít předvrtání díry. Také je zde i teoretická úspora času, která se ovšem v reálných podmínkách může značně lišit. Časy vypočtené softwarem potřebné pro vyhrubování horní kapsy viz. Tab.10. Tyto časy se od skutečných mohou lišit.

Tab. 10 Software časy

Současný proces hrubování	HM hrubování	iMachining	čas
24	17	13	[min]

Dolní část se hrubovala pomocí rychloposuvové frézy, která není pro daný tvar příliš vhodná a samotná operace je velmi složitá a časově náročná ohledně programování. Zde bylo nutné naprogramovat přibližně 90 kontur, které se přizpůsobují zužujícímu se tvaru kapsy. V racionalizované technologii byly použity dvě varianty, pomocí kterých je možné kapsu vyhrubovat, a to HM hrubování, které bylo opět porovnáno s funkcí iMachining viz. Tab.11. Časy vypočtené softwarem potřebné pro vyhrubování dolní kapsy viz. Tab.11. Tyto časy se od skutečných mohou lišit.

Tabulka 11 Software časy

Současný proces hrubování	HM hrubování	iMachining	čas
39	31	25	[min]

## 5 – ti osé frézování

V rámci použitých operací plynulého 5 – ti osého frézování byla využita pouze funkce frézování bokem nástroje. Pomocí této operace byl odstraněn zbytkový materiál, který zůstal na šikmých plochách v současné technologii. Zbytkový materiál zde zůstal především jelikož současný software VISI SURF 5 nepodporoval plynulé 5 – ti osé frézování, a tudíž buď neexistoval způsob, jakým určitě plochy obrobit, nebo byl časově náročný. V bočních kapsách

Katedra technologie obrábění

Petr Skála

došlo k úplnému obrobení kapsy dle možností softwaru. To by mělo vést ke zlepšení kvality obrobených ploch. V průchozí kapse bylo nutno rozdělit dokončování povrchu stěn do dvou operací, kde původní myšlenkou bylo obrobení celé plochy jednou operací.

### **Automatizace procesů**

Díky funkci automatického rozpoznání děr bylo možné nastavit větší množství vrtání děr do jedné operace. V předešlém softwaru VISI SURF 5 bylo nutno nastavovat jednotlivé prvky vždy zvlášť, což se při větším množství děr stejných parametrů projeví zvýšenými časovými nároky.

## 5 Závěr

Čeho se tedy podařilo dosáhnout a proč by byl přechod na nový software SolidCAM pro firmu výhodný? Za jeden z hlavních důvodů považuji aktuální software, odpovídající dnešní době. Software SolidCAM by mohl mít přínos po několika stránkách.

Mezi problémy současného CAMU patří jeho prostředí, které je nepřehledné a velmi složitě se provádí jakákoliv editace již nastavených operací, a to i přes možnost třídění operací do vrstev. Tyto operace se následně jeví jako zmeť čar a jelikož VISI SURF 5 obsahuje pouze předdefinované pohledy, stává se kliknutí na kontury námi požadované operace téměř nemožné. SolidWORKS nabízí mnohem sofistikovanější práci s modely a jejich následné úpravy, kdy současný CAM disponuje možností pouze drátového modelu. To může vést jednak k usnadnění práce přípravy před samotným programováním, ale i k usnadnění programování samotného. Také přehlednost samotného softwaru je velkou výhodou, kdy lze snadno nastavit prvky které mají být zobrazeny či skryty.

Zásadním problémem stávajícího softwaru VISI SURF 5 shledávám v nefunkčnosti automatizovaných procesů. To má za následek mnohdy složitě řešené operace hrubování, čímž se jednak prodlužuje čas samotného programování, ale i následného obrábění. Pomocí softwaru SolidCAM lze tyto operace automatizovat, ale i do značné míry urychlit. Nabízí se zde vícero možností samotného hrubování, kdy v určitých případech je možno základní HM hrubování nahradit pomocí inovativní technologie iMachining. Automatizace se dále týká i vrtání děr, kde ve stávajícím softwaru bylo nutno každou operaci nastavit zvlášť. To má za následek opět prodloužení času programování i při vrtání většího množství identických děr. SolidCAM dále disponuje možností 5 – ti osého obrábění, jenž stávající software neobsahoval. To vedlo k značnému ztížení určitých operací, nebo ke kompromisům, které lze pozorovat například v šikmých kapsách. SolidCAM nabízí obsáhlé možnosti strategií plynulého 5 – ti osého frézování, které by určitě našly svoje uplatnění. V neposlední řadě jsou zde funkce kontrola kolizí a kvality obrobení ploch, které jsou zahrnuty do funkce Solid Verify. Tato funkce může být cenná například při nevhodně zvolném nástroji, nebo kontrole přídavek při obrábění složitějších tvarů.

- V této bakalářské práci byl ukázán přínos prostředí, které SolidWORKS a SolidCAM nabízí v porovnání se současným CAMem.

- Byly zde ukázány možnosti hrubování, které nabízí zjednodušení samotného programování, zmenšení počtu potřebných nástrojů a i uspořené čas. Čas byl vypočten pouze softwarově a od skutečného se může lišit.

- Pomocí užití funkcí plynulého 5 – ti osého obrábění by mělo dojít ke zlepšení kvality obrobených ploch šikmých kapes, ale i ke zjednodušení samotné operace, kdy stávající technologie pro obrobení šikmé kapsy byla sestavena z přibližně 90 operací.

- Byl zde ukázán způsob automatizace vrtání pro větší množství děr stejného průměru, což by mělo uspořit čas na samotné programování, kdy ve stávajícím CAMu bylo nutno nastavit jednotlivé operace zvlášť. Také je zde možné uspořit čas vhodnými přejezdy, které v stávajícím CAMu nebylo možné nastavit.

Je však nutno poznamenat, že s přibývajícimi možnostmi a funkcemi vznikají i nové problémy a výzvy, kterým musí programátor čelit. Mezi ty lze zařadit například problémy s modelem, kdy určení samotného problému nemusí být na první pohled vždy zřejmé. I tvorba pomocné geometrie, která by následně mohla být použita do jednotlivých operací nebývá mnohdy jednoznačná a je nutno vyzkoušet několik variant, než dosáhneme námi požadovaného stavu.

## Seznam použité literatury

- [1] Chemické složení. In: *Jkz.cz* [online]. [cit. 2022-05-17]. Dostupné z: <https://www.jkz.cz/cs/produkty/konstrukcni-oceli/csn-12-050-11191-c45/>
- [2] Mechanické vlastnosti ocelí. In: *Tprom.cz* [online]. [cit. 2022-05-17]. Dostupné z: <http://www.tprom.cz/mechanicke-vlastnosti-oceli>
- [3] Materiálová skupina ISCAR. In: *Iscar.rs* [online]. [cit. 2022-01-17]. Dostupné z: [https://www.iscar.rs/Catalogs/publication-2021/ISCAR\\_DRILL\\_A2\\_heads.pdf](https://www.iscar.rs/Catalogs/publication-2021/ISCAR_DRILL_A2_heads.pdf)
- [4] Stroje. In: *Techspex.com* [online]. [cit. 2022-02-11]. Dostupné z: <https://www.techspex.com/search?q=hermle>
- [5] Modulární vrtáky. In: *Adoc.pub* [online]. [cit. 2022-2-15]. Dostupné z: <https://adoc.pub/modularni-vrtaky-modularni-vrtaci-system-ksem-hlavni-pouiti-.html>
- [6] Guhring Navigator. In: *Navigator.guehring.de* [online]. [cit. 2022-02-16]. Dostupné z: <https://navigator.guehring.de/navigator/index.php?sorte=5511&mod=dat>
- [7] Hitachi Tool. In: *Tgs.cz* [online]. [cit. 2022-02-27]. Dostupné z: [https://www.tgs.cz/content/fck/files/katalogy/320.5\\_ASR\\_PICO.pdf](https://www.tgs.cz/content/fck/files/katalogy/320.5_ASR_PICO.pdf)
- [8] Frézování. In: *Iscar.com* [online]. [cit. 2022-03-14]. Dostupné z: <https://www.iscar.com/eCatalog/item.aspx?cat=3104954&fnum=2837&mapp=ML&app=0&GFSTYP=M&isoD=1>
- [9] VHM-Schaftfräser 30°. In: *Wesaptools.sk* [online]. [cit. 2022-02-10]. Dostupné z: [https://www.wesaptools.sk/components/com\\_content/attachments/Ruebig\\_Catalog2006\\_DE\\_GB.pdf](https://www.wesaptools.sk/components/com_content/attachments/Ruebig_Catalog2006_DE_GB.pdf)
- [10] DR034-136-32-09-4D-N. In: *Iscar.com* [online]. [cit. 2022-01-12]. Dostupné z: <https://www.iscar.com/eCatalog/item.aspx?cat=3201466&fnum=2227&mapp=DR&app=77&GFSTYP=M&isoD=1>
- [11] SolidWORKS. In: *Solidvision.cz* [online]. [cit. 2022-03-17]. Dostupné z: <https://www.solidvision.cz/>
- [12] Nové technologie pro průmysl 4.0. In: *Mmspektrum.com* [online]. [cit. 2022-05-17]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/technicke-novinky/nove-technologie-pro-prumysl-4-0>
- [13] SolidCAM. In: *Solidvision.cz* [online]. <https://www.solidvision.cz/cam-reseni> [cit. 2022-05-17]. Dostupné z: <https://www.solidvision.cz/cam-reseni>
- [14] Přehled Diagnostiky importu. In: <https://help.solidworks.com/> [online]. [cit. 2022-02-16]. Dostupné z: [https://help.solidworks.com/2018/czech/SolidWorks/sldworks/c\\_Import\\_Diagnostics\\_Overview.htm](https://help.solidworks.com/2018/czech/SolidWorks/sldworks/c_Import_Diagnostics_Overview.htm)
- [15] .sldprt.soubor. In: *Soubory.info* [online]. [cit. 2022-01-13]. Dostupné z: <https://soubory.info/extension/sldprt>

- [16] HSR/HSM moduly pro 3D vysokorychlostní frézování. In: *Solidcam.com* [online]. [cit. 2022-01-17]. Dostupné z: <https://www.solidcam.com/cs/produkty/0/3d-hsm-vysokorychlostni-frezovani/>
- [17] IMachining. In: *Solidcam.com* [online]. [cit. 2022-05-20]. Dostupné z: <https://www.solidcam.com/cs/imachining/>
- [18] IMachining. In: *Dtspraha.cz* [online]. [cit. 2022-02-19]. Dostupné z: <https://dtspraha.cz/strojirenstvi/imachining/56>
- [19] Výkonné a prověřené souvislé 5 osé frézování SolidCAMu. In: *Solidcam.com* [online]. [cit. 2022-01-13]. Dostupné z: <https://www.solidcam.com/cs/produkty/0/souvisle-5-ose-frezovani/>
- [20] AFRM. In: *Solidcam.com* [online]. [cit. 2022-03-17]. Dostupné z: <https://www.solidcam.com/cs/produkty/0/afrm-automaticke-rozpoznavani-prvku-a-jejich-obrabeni/>

## **Příloha 1**

### **Parametry frézky Hermle C50U MT a AXA VPC 55U**



[4]

Tab. 12 Hermle

Skupina strojů	Frézky
Číslo pracoviště	6524201
Označení	HERMLE C50U MT
Výrobce	Hermle
Rok výroby	2013

Řídicí systém	Siemens Sinumerik 840D pl
Výkon hl. motoru (kW)	31
Max. krouticí moment (Nm)	197
Maximální otáčky (ot/min)	12000
Osa X (mm)	1000
Osa Y (mm)	1100
Osa Z (mm)	750
Osa B (st.)	bez omezení
Pracovní posuv X,Y,Z (mm/min)	60000/60000/50000
Pracovní posuv B (ot/min)	20/500 *)
Rychloposuv X,Y,Z,W,V (mm/min)	60000/60000/55000
Stůl (mm)	D1000
Max. hmotnost obrobku (kg)	2000/1000 *)
Chlazení osou vřetena kapalina	Ano
Chlazení osou vřetena vzduch	Ano
Chlazení vnější kapalina	Ano





Tab. 13 AXA

Skupina strojů	Frézky
Číslo procoviště	6525301
Označení	AXA VPC 55U
Výrobce	AXA
Rok výroby	2009

Řídicí systém	Siemens Sinumerik 840D sl
Průměr vřetena (mm)	100
Výkon hl. motoru (kW)	56
Max. krouticí moment (Nm)	355
Maximální otáčky (ot/min)	6000
Osa X (mm)	2300/2000 *)
Osa Y (mm)	1400
Osa Z (mm)	900
Osa B (st.)	bez omezení
Pracovní posuv X,Y,Z (mm/min)	9999
Rychloposuv X,Y,Z,W,V (mm/min)	20000
Max. posuvové síly X,Y,W (kN)	9
Stůl (mm x mm)	1100x1100
Max. hmotnost obrobku (kg)	2000/3500 **)
Chlazení osou vřetena kapalina	Ano
Chlazení osou vřetena vzduch	Ano
Chlazení vnější kapalina	Ano
Frézovací hlava	Ne