

**Česká zemědělská univerzita v Praze**

**Technická fakulta**

**Katedra materiálu a strojírenské technologie**



**Diplomová práce**

**Optimalizace strojního času při CNC obrábění**

**Milan Pokorný**

© 2018 ČZU v Praze

# ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Technická fakulta

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Bc. Milan Pokorný

Sílniční a městská automobilová doprava

Název práce

**Optimalizace strojního času při CNC obrábění**

Název anglicky

**Optimization of machine time during CNC machining**

---

### Cíle práce

Cílem diplomové práce je shromáždit a analyzovat aktuální poznatky o CAM/CAD systémech používaných pro programování CNC obráběcích strojů. Aplikování obráběcích strategií v CAM/CAD programech. V praktické části porovnat u těchto systémů uživatelské prostředí a jednoduchost programování a porovnat odhadovaný čas se skutečným časem obrábění.

### Metodika

Současný stav řešeného problému (literární rešerše),

Cíl práce a metody jejího zpracování,

Výsledky experimentů a jejich diskuse,

Závěry a přínos práce.

**Doporučený rozsah práce**

cca 60 stran

**Klíčová slova**

CNC obrábění, optimalizace, řezný čas

---

**Doporučené zdroje informací**

Byrne, P.: Turning, milling and grinding processes. London : Arnold, 1996. 122 s.

Časopisy: Manufacturing technology, MM průmyslové spektrum, Strojárstvo – Strojírenství, Strojírenská technologie, Technický týdeník, Technik.

Doyle, L. E.: Manufacturing processes and materials for engineers. Englewood Cliffs : Prentice-Hall, 1961. 797 s.

Hlásek, P.: Technologická cvičení : Výrobní postupy pro NC stroje. Praha : Nakladatelství techn. lit., 1990. 44 s.

Kalpakjian, S.: Manufacturing processes for engineering materials. 3. ed. Menlo Park : Addison-Wesley Publishing Company, 1997. 950 s.

Mádl, J.: Optimalizace řezných podmínek v teorii obrábění. Praha : Ediční střed. Čes. vys. uč. techn., 1988. 58 s.

Modern metal cutting: A practical handbook. Sandviken: Sandvik Coromant, 1994. 183 s.

Smith, G. T.: CNC machining technology. London : Springer-Verlag, 1993. 434 s.

Štulpa, M.: CNC : obráběcí stroje a jejich programování, Praha: BEN, 2006. 126 s.

Urbánek, J.: Automatizace výrobních procesů obrábění. Brno: Ediční středisko Vysokého učení technického, 1990. 165 s.

---

**Předběžný termín obhajoby**

2017/18 LS – TF

**Vedoucí práce**

Bc. Ing. Petr Hrabě, Ph.D.

**Garantující pracoviště**

Katedra materiálu a strojírenské technologie

---

Elektronicky schváleno dne 13. 1. 2017

**doc. Ing. Miroslav Müller, Ph.D.**

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 23. 1. 2017

**prof. Ing. Vladimír Jurča, CSc.**

Děkan

V Praze dne 16. 02. 2018

---

### **Čestné prohlášení**

Prohlašuji, že svou diplomovou práci "Optimalizace strojního času při CNC obrábění" jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu použitých zdrojů na konci práce. Jako autor uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušil autorská práva třetích osob.

V Praze dne 31.3.2018

---

## **Poděkování**

Rád bych touto cestou poděkoval vedoucímu mé diplomové práce Ing. Petru Hraběti, Ph.D. za jeho odborné konzultace a cenné rady při psaní této práce.

# Optimalizace strojního času při CNC obrábění

## Abstrakt

Tato diplomová práce je zaměřena na problematiku týkající se programování CNC strojů v CAD/CAM systémech. V první části práce jsou uvedeny základní pojmy a veličiny z prostředí obrábění, se kterými se v praxi setkává každý obráběč nebo programátor. Další kapitola je věnovaná už samotnému programování strojů a jsou zde vysvětleny a popsány právě jeho možnosti. Také jsou zde uvedeny doporučení, na které typy výrobků aplikovat dané metody. Poslední část literární rešerše představuje několik vybraných CAD/CAM systémů, jejich možnosti a obráběcí strategie, které u nich lze využívat. V praktické části jsou porovnány uživatelská prostředí dvou různých CAM softwarů. Dále je v této části rozveden kompletní postup výroby součásti na CNC stroji s detailním popisem programování a optimalizování všech operací, které jsou k tomu potřeba. Je zde porovnán i skutečný a odhadovaný čas obrábění. V závěru jsou zhodnoceny metody optimalizace obrábění a také zásadní odlišnosti u porovnávaných CAM systémů.

**Klíčová slova:** CNC obrábění, optimalizace, řezný čas

# **Optimization of machine time during CNC machining**

## **Abstract**

The diploma thesis deals with CNC programming in CAD / CAM systems. The first part is focused on the basic terms and quantities from the machining environment. Those terms are crucial for every machinist or programmer. The next chapter is dedicated to machine programming itself and its possibilities are explained and described. There are also included recommendations such as applicability of methods to various products. The last part of the literary research presents several selected CAD / CAM systems, their capabilities and the machining strategies that can be used. The practical part compares the user environment of two different CAM softwares. Further on, this part describes the complete process of production of a component using a CNC machine. It also contains detailed description of programming and optimization of all needed operations. The actual and estimated machining time is also compared. The paper concludes with an evaluation of the afore-mentioned optimization.

**Keywords:** CNC machining, optimization, cutting time

# Obsah

<b>1</b>	<b>Úvod</b> .....	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Cíl práce a metodika</b> .....	<b>2</b>
2.1	Cíl práce.....	2
2.2	Metodika práce .....	2
<b>3</b>	<b>Obrábění, základy a důležité parametry</b> .....	<b>3</b>
3.1	Obrábění .....	3
3.1.1	Soustružení.....	3
3.1.2	Frézování.....	3
3.2	Řezné podmínky .....	4
3.3	Dosahované parametry při obrábění.....	8
3.3.1	Dosahované parametry při soustružení .....	8
3.3.2	Dosahované parametry při frézování .....	9
3.4	Obrobitelnost .....	10
3.5	Vlastnosti obráběných materiálů .....	11
3.6	Stav polotovaru obrobku .....	13
3.7	Skupiny obráběných materiálů .....	14
<b>4</b>	<b>Programování CNC strojů</b> .....	<b>16</b>
4.1	Program .....	16
4.2	Souřadnicový systém stroje .....	17
4.3	Vztažné body .....	18
4.4	Možnosti programování.....	18
4.4.1	Ruční programování v ISO kódu .....	19
4.4.2	Používané funkce .....	19
4.4.3	Dílenské programování .....	21
4.4.4	Programování pomocí CAD/CAM .....	22
<b>5</b>	<b>CAD/CAM systémy</b> .....	<b>23</b>
5.1	Výběr vhodného softwaru .....	23
5.2	Surfcam.....	24
5.3	HSMWorks / Inventor HSM .....	26
5.4	GibbsCAM .....	27
5.5	InventorCAM / SolidCAM.....	28
5.6	Esprit.....	29



<b>6</b>	<b>Optimalizace výroby pomocí CAD/CAM systému .....</b>	<b>31</b>
6.1	Použitý stroj .....	31
6.2	Software.....	32
6.3	Součást - spojková páčka.....	33
6.4	Způsob upnutí a volba polotovaru .....	33
6.5	Programování - první upnutí .....	35
6.6	Programování - druhé upnutí.....	43
6.7	Verifikace polotovaru .....	48
6.8	Postproces.....	50
6.9	Příprava před obráběním .....	50
6.10	Obrábění - odladění programu.....	51
6.11	Odhadovaný a skutečný čas.....	53
<b>7</b>	<b>Uživatelské prostředí CAD/CAM systémů.....</b>	<b>54</b>
7.1	HSMWorks.....	54
7.2	Surfcam.....	55
<b>8</b>	<b>Závěr .....</b>	<b>57</b>
	<b>Seznam použitých zdrojů .....</b>	<b>59</b>
	<b>Seznam obrázků .....</b>	<b>61</b>
	<b>Seznam tabulek .....</b>	<b>62</b>

# 1 Úvod

V dnešní době, i když to na první pohled nemusí být vidět, se s obráběním setkáme skoro všude kolem nás. Může se jednat o přímo obrobené součásti, například u komponentů automobilů, jízdních kol a podobně, nebo díly které se sice vyrábí jinou technologií, ale ta je opět závislá na obrábění. Typickým příkladem jsou různé plastové obaly a díly, vyráběné vstřikováním do forem, tyto formy jsou vyrobeny právě obráběním na CNC strojích. Obrábění patří mezi nejčastější zpracování kovů, je používáno v mnoha odvětvích průmyslu, a to jak při hromadné a sériové výrobě, tak i při výrobě kusové, kde může nahradit třeba odlévání, které se mnohdy nevyplatí praktikovat pro několik kusů. Proto může být schůdnější variantou například vyfrézování součásti z plného polotovaru. Ať u kusové nebo hromadné výroby, v obou případech je potřeba tento proces co nejvíce zefektivnit, a proto se k programování číslicově řízených strojů využívá čím dál více CAD/CAM systémů. Význam těchto anglických zkratk je Computer Aided Design, neboli počítačem podporované navrhování, a Computer Aided Manufacturing, tedy počítačem podporovaná výroba.

V těchto systémech je možné například podle výkresové dokumentace vytvořit trojrozměrný model, na kterém se pak programují samotné dráhy nástroje. Po vytvoření drah nástrojů je možné operace obrábění simulovat nanečisto i na kompletním modelu stroje. Následně se vygeneruje kompletní program pro specifický stroj, na základě kterého pak probíhá obrábění. Při tomto procesu je mnoho možností, jak zvýšit efektivitu a produktivitu. Mezi tyto způsoby patří vhodná volba obráběcích strategií při samotném programování. Této problematice je věnována praktická část práce, kde jsou uvedeny veškeré potřebné strategie pro vytvoření programu určitého dílu a dále popsán celý proces výroby součásti od polotovaru až po hotový, funkční výrobek.

V nabídce je mnoho CAM systémů, ze kterých lze vybírat. Ty nabízejí různé možnosti, proto jsou některé z nich popsány v první části této práce, kde jsou představeny jejich základní funkce i speciální strategie. Důležitým faktorem při výběru těchto systémů přitom nemusí být jen jejich výkonnost nebo cena produktu, je také důležité, aby byl uživatelsky přívětivý a snadný na naučení. Z tohoto důvodu je v práci provedeno také porovnání uživatelských prostředí některých programovacích softwarů.

## **2 Cíl práce a metodika**

Tato kapitola představuje cíl a metodiku této diplomové práce.

### **2.1 Cíl práce**

Cílem diplomové práce je shromáždit a analyzovat aktuální poznatky o CAM/CAD systémech používaných pro programování CNC obráběcích strojů. Aplikování obráběcích strategií v CAD/CAM programech.

V praktické části je cílem porovnat u těchto systémů uživatelské prostředí a jednoduchost programování a porovnat odhadovaný čas se skutečným časem obrábění.

### **2.2 Metodika práce**

Práce se skládá ze dvou částí - teoretické a praktické.

V teoretické části byly na základě analýzy sekundárních zdrojů charakterizovány parametry obrábění a shromážděny informace o CAD/CAM systémech.

V praktické části byla nejprve naprogramována a vyrobena součást a následně porovnány systémy pro samotné programování CNC strojů.

## 3 Obrábění, základy a důležité parametry

Tato kapitola popisuje samotné obrábění a základní parametry s ním související.

### 3.1 Obrábění

Obrábění neboli ubírání třísek materiálu je proces strojírenské technologie sloužící k dosažení přesných rozměrů, tvarů a hladkého povrchu na předpřipravených výrobcích (polotovarech) zhotovených litím, kování, tažením atd. Lze ho rozdělit na dvě skupiny, strojní a ruční.

Trendem je snaha o nahrazení veškerého ručního obrábění strojním, je totiž náročné na celkovou manuální zručnost a fyzickou sílu. Ovšem v praxi ho nelze úplně vyloučit, protože sem patří opravárenské, údržbářské práce apod.

Mezi strojní obrábění patří celá řada výrobních technologií, jsou jimi soustružení, frézování, vrtání, vyvrtávání, broušení apod. Je to nejpoužívanější způsob pro výrobu přesných součástí. [8]

#### 3.1.1 Soustružení

Mezi nejčastější způsoby obrábění patří právě soustružení, protože nejvíce součástí, které se ve strojírenství vyskytují, jsou rotační. Na soustruhu lze ale obrábět také rovinné plochy při čelním soustružení. Podstatou soustružení je, že hlavní řezný pohyb rotační vykonává obrobek upnutý ve sklíčidle, mezi hroty, případně v kleštině. Vedlejší řezný pohyb přímočarý vykonává nástroj - soustružnický nůž. Dnešní CNC soustruhy už bývají vybaveny poháněnými nástroji, které umožňují vrtání i frézování mimo osu rotace, takže například drážka v hřídeli pro pero se nemusí dodělavat na dalším stroji. [8]

Nástroje na soustružení bývají nejčastěji jednobřité a obvykle mají jednoduchý, geometricky definovatelný tvar ostří. Materiál břitu může být: ze slinutých karbidů (SK), z rychlořezné oceli (HSS), řezné keramiky, z cermetů, polykrystalického diamantu nebo polykrystalického kubického nitridu boru (PKBN). [1][2][5]

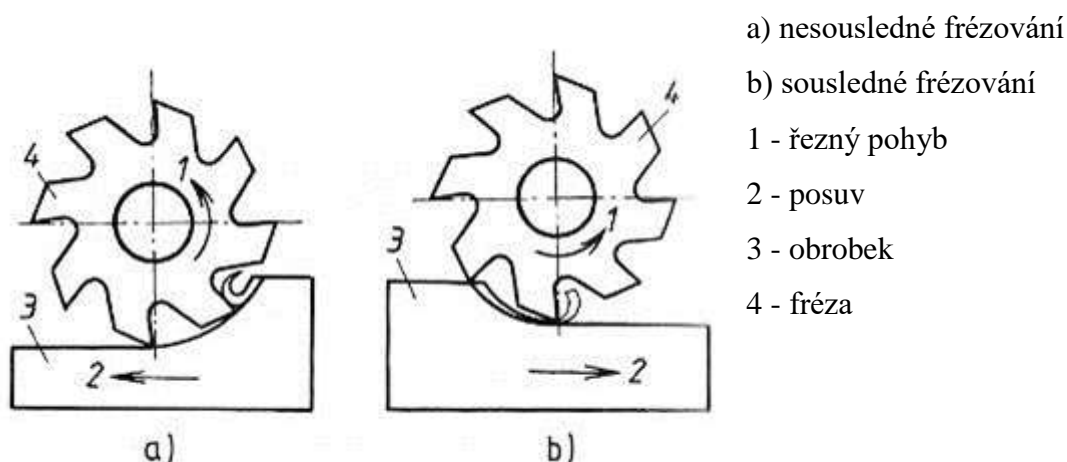
#### 3.1.2 Frézování

Frézování zajišťuje obrábění nejrozmanitějších tvarů, vnitřních i vnějších, proto se jedná o velice výhodný způsob obrábění. Hlavní řezný pohyb zde vykonává

nástroj - fréza. Obrobek upnutý na stole frézky vykonává vedlejší pohyb - posuv. Zde ovšem záleží na konstrukci stroje, v některých případech CNC frézek je stůl pouze k polohování a všechny posuvy vykonává nástroj s vřetenem vůči obrobku.

Samotné frézování se dělí do dvou hlavních skupin, sousledné a nesousledné, jak je znázorněno na obrázku 1. Při nesousledném frézování jde řezný pohyb proti směru posuvu a u sousledného, dnes více používaného způsobu, jde řezný pohyb ve stejném směru s posuvem. [8]

Obrázek 1: Sousledné a nesousledné obrábění [8]



Frézy celistvé (monolitní) se v menších rozměrech (cca do průměru 20 mm) vyrábějí se slinutých karbidů, všeobecně jsou označovány TK - tvrdokovové. Frézy větších průměrů se vyrábějí z rychlořezné oceli přesným litím nebo obráběním. Nástroje s VBD (vyměnitelnými břitovými destičkami) mají ocelové obráběné tělo a jejich zuby tvoří právě vyměnitelné destičky nejčastěji ze slinutého karbidu (SK), z rychlořezné oceli (HSS) a řezné keramiky. Dalším používaným materiálem destiček je polykrystalický kubický nitrid boru (PKNB) určený k obrábění kalených ocelí. [1][2][5]

### 3.2 Řezné podmínky

Řezné podmínky se odvíjejí od vstupních parametrů, jako je obráběný materiál, materiál řezného nástroje, chlazení atd. Dále jsou závislé na požadovaných vlastnostech samotného obrobku, těmi jsou například drsnost a jakost povrchu, přesnost požadovaných rozměrů a tvaru, ovlivnění povrchové vrstvy obrobku apod.

**Řezná rychlost -  $v_c$** , v případě soustružení se jedná o obvodovou rychlost obrobku, je to relativní rychlost pohybu mezi obrobkem a nástrojem. Řezný pohyb se skládá ze dvou složek, hlavního pohybu a posuvu. Ty mohou probíhat buď současně, nebo odděleně, podle druhu obrábění. Vždy je ovšem rychlost posuvu menší než rychlost hlavního pohybu. [1][2]

$$v_c = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000} \quad (1)$$

$v_c$  - řezná rychlost [ $\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$ ]

$\pi$  - Ludolfovo číslo [-]

$D$  - průměr obráběné plochy (soustružení), průměr nástroje (frézování) [mm]

$n$  - otáčky obrobku (soustružení), otáčky nástroje (frézování) [ $\text{min}^{-1}$ ]

**Rychlost posuvu -  $v_f$** , je závislá na požadované jakosti/drsnosti obráběného povrchu a může být ovlivněna faktory, jako jsou: geometrie břitu, výkon stroje a především jeho tuhost. Je dána vztahem:

$$v_f = s \cdot n \quad (2)$$

$v_f$  - rychlost posuvu [ $\text{mm} \cdot \text{min}^{-1}$ ]

$s$  - posuv - dráha [mm]

$n$  - otáčky obrobku (soustružení), otáčky nástroje (frézování) [ $\text{min}^{-1}$ ][1]

**Hloubka řezu** se volí s ohledem k přídavku na obrábění. Optimální je, pokud lze tento přídavek odebrat na jednu třísku, avšak hloubka řezu je omezená délkou ostří (v záběru by nemělo být více než dvě třetiny ostří) obráběcího nástroje, výkonem stroje a tuhostí stroje, nástroje i obrobku. Hloubka řezu u soustružení se volí obvykle v takovémto rozsahu:

- pro hrubování 3 až 30 mm;
- při obrábění na čisto 0,5 až 2 mm;
- při jemném obrábění (na přesný rozměr) 0,03 až 0,3 mm.

Obecně platí, že z hlediska tvaru břitu a zatížení je vhodné volit poměr posuvu k hloubce řezu v rozsahu 1 : 3 až 1 : 10, ale vzhledem k rychlému vývoji nových rezných materiálů a nástrojů je vhodné volit rezné podmínky dle doporučení výrobce v katalogu.

Hloubka řezu při frézování se pohybuje přibližně mezi 10 až 20 mm při hrubování a 0,5 až 2 mm při obrábění na čisto. [1]

**Posuv na zub -  $s_z$** , je důležitá hodnota především z hlediska záběru zubů, který by neměl klesnout pod 0,05 mm, potom se začíná, zejména u nástrojů s břity ze slinutých karbidů, projevovat vliv poloměru ostří břitu nástroje.

$$s_z = \frac{v_f}{z \cdot n} \quad (3)$$

$s_z$  - posuv na zub [mm]

$v_f$  - rychlost posuvu [ $\text{mm} \cdot \text{min}^{-1}$ ]

$z$  - počet zubů frézy [-]

$n$  - otáčky vřetene [ $\text{min}^{-1}$ ] [1][2]

**Posuv na otáčku -  $s_o$** , je roven dráze, kterou urazí obrobek (popř. nástroj - dle konstrukce stroje) za jednu otáčku frézy.

$$s_o = s_z \cdot z \quad (4)$$

$s_o$  - posuv na otáčku [mm]

$s_z$  - posuv na zub [mm]

$z$  - počet zubů frézy [-]

Největší zřetel na rezné podmínky se musí brát při sériové a hromadné výrobě, aby bylo dosaženo optimálního využití výkonu stroje a řezivosti nástroje (efektivní odběr třísky z obráběného materiálu), neboť tím lze zvýšit produktivitu práce. V těchto případech je vhodné volit rezné podmínky na základě stanovené optimální trvanlivosti břitu, která se určuje s ohledem na minimalizaci vynaložených nákladů soustružení. Celkové náklady

na obrábění  $N_c$  se vypočítají z rovnice (5). Vedlejší náklady nejsou závislé na době obrábění, ale náklady na nástroje a práci stroje ano. [1]

$$N_c = N_N + N_S + N_V \quad (5)$$

$N_c$  - celkové náklady na obrábění [Kč]

$N_N$  - náklady na nástroje [Kč]

$N_S$  - náklady na práci stroje [Kč]

$N_V$  - vedlejší náklady (na upínání, měření atd.) [Kč]

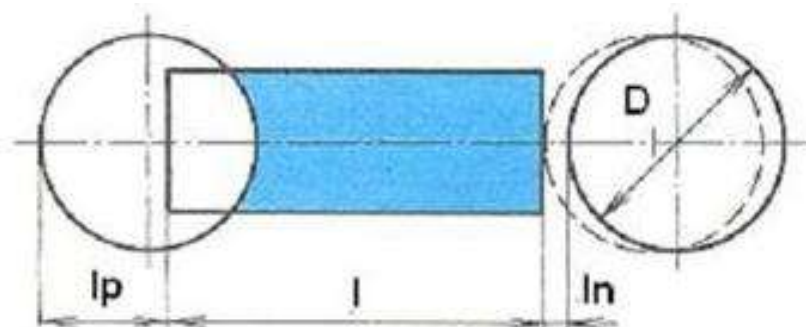
Trvanlivost bříty nástroje i jakost obrobeného povrchu lze do jisté míry zvýšit správným použitím chladicí kapaliny, která slouží nejen k chlazení nástroje i obrobku, pro udržení přesných rozměrů, ale také k odvádění třísek od nástroje. Odplavování třísek je důležité především při obrábění stopkovými frézami nebo při vrtání. Naopak některé moderní nástroje s vyměnitelnými břitovými destičkami ze slinutých karbidů nevyžadují použití chladicí kapaliny, ba naopak mohou při nesprávném použití působit nepříznivě na životnost bříty. Chladicí kapalina by měla být používána po celou dobu obrábění daným nástrojem a v dostatečném množství, krátkodobý nebo přerušovaný přívod je nepřijatelný. Při frézování chladicí kapalina ochlazuje vždy ten břit, který není v záběru a to má za následek výkyvy teploty. Břit je stále dokola zahříván a ochlazován a vlivem tepelného šoku, vyvolávajícího pnutí, mohou na vyměnitelné břitové destičce vznikat trhliny a dále pak vydrolení ostří bříty. Tento proces předčasně ukončí funkci bříty. V čím vyšších pracovních teplotách se nástroj pohybuje, tím méně je vhodné použití chlazení. Při obrábění materiálů se sklonem k „nalepování“ je nutné vyhnout se teplotnímu rozsahu, kdy dochází k tvorbě nárůstku. Při vzniku vyšších teplot tento problém odpadá, naopak při obrábění v nižších teplotách je nutné do místa řezu přivádět chladicí kapalinu, především z důvodu dobré jakosti povrchu. [3]

**Strojní čas -  $t_s$** , je bráný jako čas spotřebovaný na jednotlivou dráhu nástroje při určité operaci, ale může být chápán i jako čas potřebný pro výrobu jednoho daného dílu na stroji. Jednotlivé operace obrábění se dají jednoduše spočítat, kdy například dráha pro obrábění čelní válcovou frézou o průměru  $D$  není rovna pouze délce obráběné plochy  $l$ , ale patří k ní i dráha při náběhu  $l_n$  a přeběhu nástroje  $l_p$ , jak je vidět na obrázku 2. Obdobné



nutné dráhy mají i další operace obrábění, jako například vrtání apod. Všechny jednotlivé operace při výrobě obrobku jsou propojeny pomocí přejezdů, které mohou být uskutečněny libovolným posuvem, ale ve většině případů rychloposuvem. Další nedílnou časovou položkou je výměna nástroje, prováděná ručně nebo automaticky. Ke strojnímu času by se dal připojit i čas potřebný na upnutí a po obrobení čas na vyjmutí kusu. [3]

Obrázek 2: Dráha nástroje při frézování čelní frézou [4]



### 3.3 Dosahované parametry při obrábění

Tato kapitola představuje dosahované parametry při soustružení a frézování, ovlivňující faktory a přibližné hodnoty dosahované ve výrobě.

#### 3.3.1 Dosahované parametry při soustružení

Jakost obrobených ploch a přesnost rozměrů obrobku při soustružení jsou nejvíce ovlivněny reznými podmínkami, geometrií břitu, pevností a tuhostí systému stroj - nástroj - obrobek, obráběným materiálem a rezným prostředím.

Při jemném obrábění a obrábění na čisto je prioritou dodržet předepsanou jakost plochy a přesné rozměry, u hrubování je to pak co největší úběr materiálu při co nejmenším počtu kroků. Hodnoty drsnosti a přesnosti, kterých lze dosáhnout jsou zobrazeny v tabulce 1 níže. [1][5]

Tabulka 1: Hodnoty přesnosti a drsnosti pro soustružení [5]

Způsob obrábění	Přesnost rozměrů IT	Drsnost povrchu Ra [ $\mu\text{m}$ ]
Hrubování	11 až 14	12,5 až 50
Načisto	9 až 11	1,6 až 12,5
Jemné soustružení břitem z SK nebo PKNB	5 až 8	0,2 až 1,6

### 3.3.2 Dosahované parametry při frézování

Na výběr je mnoho způsobů frézování a také široký sortiment nástrojů, díky kterým je možno dosahovat řady rozdílných jakostí povrchu. Na jakost, rozměrovou a tvarovou přesnost má vliv nejen geometrie břitu a způsob frézování, ale také tuhost (stroje, nástroje, obrobku), řezné podmínky, správné naostření nástroje apod. V dnešní době lze díky moderním obráběcím nástrojům dosahovat při podobných řezných podmínkách mnohem lepší jakosti i přesnosti povrchu, než tomu bylo dříve.

V tabulce 2 jsou uvedeny dosahované hodnoty přesnosti rozměrů a drsnosti povrchu. Tyto hodnoty jsou pouze orientační a lze docílit i lepších drsností, například při speciálních úpravách geometrie břitu apod. Dosahovaná přesnost je výrazně závislá na přesnosti samotného obráběcího stroje, jeho tuhosti a v neposlední řadě na přesném seřízení nástroje. [1][5]

Tabulka 2: Hodnoty přesnosti a drsnosti pro frézování [5]

Způsob frézování	Přesnost IT	Drsnost povrchu Ra [ $\mu\text{m}$ ]
Válcovou frézou HSS		
- hrubování	10 až 13	6,3 až 25
- načisto	8 až 11	1,6 až 6,3
Čelní frézou HSS		
- hrubování	10 až 13	6,3 až 25
- načisto	6 až 11	1,6 až 3,2
Frézovací hlavou SK	7 až 11	1,6 až 6,3
Jemné frézou SK	5 až 7	0,4 až 1,6

### 3.4 Obrobitelnost

Obrobitelnost není standardizovanou, obecně definovanou veličinou. Tento pojem, obrobitelnost materiálu, lze charakterizovat jako souhrn všech vlastností materiálu, které ovlivňují to, jak jednoduché nebo obtížné je opracovat obrobek daným způsobem obrábění za použití řezných nástrojů. Například ocel s nízkým obsahem uhlíku, která má sklony k nalepování, se bude mnohem hůře obrábět než různé legované oceli. Obrobitelnost není jasně definovatelná, protože zlepšování a vývoj řezných nástrojů jde stále kupředu a obráběcí operace jsou různorodé.

Vhodnější, ale o dost náročnější je sestavení porovnávacích tabulek, obsahujících všechny podstatné vlastnosti obráběných materiálů. Dodavatelé ovšem nemusejí mít k dispozici všechny potřebné podklady.

Obrobitelnost určují mechanika, chemie, metalurgie, ale také další vlastnosti materiálu jako jsou tepelné zpracování, vměstky, legující přísady. Obrobitelnost ale nezáleží pouze na vlastnostech materiálu, veliký vliv má i kvalita břitu, použitý držák nástroje, podmínky při obrábění a tuhost stroje. Posuzujeme ji i podle snadnosti oddělování třísky, chování třísky vůči nástroji apod. Všechny hodnoty určující obrobitelnost slouží vždy jako přibližné, k následné optimalizaci. Pro individuální uživatele však mohou být zásady pro její vyhodnocení jiné, jako například produktivita práce, náklady na obrobek apod. Obrobitelnost lze také vylepšit, třeba změnou typu nástroje, zvýšením jakosti odlitků, jiným způsobem upnutí obrobku, použitím chladicí kapaliny, použitím automatových ocelí.

Důležitá kritéria pro obrobitelnost jsou:

- sklon k vytváření nárůstku;
- výkon obrábění;
- utváření třísky;
- trvanlivost břitu;
- stav povrchové vrstvy;
- řezná síla. [3]

### **3.5 Vlastnosti obráběných materiálů**

V kovoobráběcím průmyslu se vytváří součásti z široké řady materiálů, každý z nich má své specifické vlastnosti ovlivněné tvrdostí, přísadovými prvky, tepelným zpracováním apod. Proto je nutné před samotným obráběním ověřit a posoudit obrobiteľnost daného materiálu za pomoci jeho známých vlastností. [3][7]

#### **Tvrđost a pevnost**

Pro menší hodnoty pevnosti a tvrdosti platí, že jsou pro obrábění výhodné, ale nesmí se jednat o materiály tvořící dlouhé třísky, mající sklon k vytváření nárůstu. Ten má pak za následek nižší trvanlivost břitu, zhoršenou jakost obráběných ploch a tvorbu ořepů na hranách obrobku. Pozitivní účinek má zvýšená tvrdost materiálu způsobená tvářením za studena. [3][6]

#### **Tvárnost**

Při nízké tvrdosti je veliká tažnost, naopak při vysoké tvrdosti je tažnost malá. Pro obrábění mají pozitivní vliv nízké hodnoty tažnosti. Ty umožňují efektivnější využití výkonu motoru stroje a také způsobují příznivé vytváření třísky. Při správném kompromisu mezi tažností a tvrdostí lze dosáhnout optimální obrobiteľnosti. [3]

#### **Tepelná vodivost**

Vysoká tepelná vodivost je z hlediska obrábění výhodná, protože teplo vzniklé obráběním se rychle odvádí z místa řezu. Ve vztahu k obrobiteľnosti může hrát tepelná vodivost důležitou roli, jedná se ovšem o vlastnost, která je bohužel u jisté skupiny slitin málo účinná. Třeba hliník a jeho slitiny mají o mnoho vyšší tepelnou vodivost než například korozivzdorné oceli. [3][8]

#### **Zpevňování za studena**

Pevnost kovů se zvyšuje mimo jiné jejich plastickým tvářením. Je závislá na tom, jak rychle tvářením probíhá a jaké sklony ke zpevnění plastickou deformací za studena materiál má. Rychlost zpevňování za studena při obrábění je zejména v okolí břitu velmi vysoká, a to zvláště u některých materiálů. Těmito materiály jsou především vysoce

žáropevné slitiny a austenitické korozivzdorné oceli. Při jejich obrábění je nutno vynaložit velké množství energie k utváření třísky a také se pak v povrchové vrstvě obráběných ploch výrazně zvyšuje tvrdost. Pokud je hloubka zastudena zpevněné vrstvy rovna posuvu, znamená to vysoké namáhání břitu. Při správné volbě geometrie břitu se snižuje deformační rychlost a výška vytvrzené vrstvy.

Materiály, u kterých dochází k tváření za studena velmi pomalu, jsou uhlíkové oceli. [3]

### **Vměstky**

Vměstky se dají rozdělit do dvou základních skupin, makrovměstky a mikrovměstky.

Makrovměstky jsou často tvrdé a abrazivní, tudíž způsobují nadměrné opotřebení nástrojů. V případě, že při obrábění dochází k náhlému poškození více nástrojů, tyto vměstky mohou být příčinou. Vyskytují se nejčastěji v méně hodnotných ocelích a jejich velikost je nad patnáct setin milimetru. Nejčastěji se jedná o nečistoty z pece, neodstraněnou strusku atd. Tyto materiály je vhodné nahradit jiným.

Mikrovměstky se do určité míry nacházejí v každé oceli. Může se jednat o abrazivní tvrdé, kterými jsou oxidy hliníku a karbidy titanu. Ty jsou nežádoucí a opět negativně působí na trvanlivost břitu. Oxidy železa a oxidy manganu jsou méně žádoucími, ale tolerovanými vměstky, mají vyšší schopnost tváření než nežádoucí vměstky a lze je odstranit třískou. Další skupinou jsou žádoucí vměstky, jsou jimi silikáty a ty v zóně řezu vytvářejí příznivé podmínky a zmenšují opotřebení břitu tím, že při vysokých teplotách měknou. [3][6]

### **Přísady pro zlepšení obrobiteľnosti**

Obecně nejpoužívanější metodou, jak dosáhnout lepší obrobiteľnosti, je přidání síry, což je typické pro automatové oceli. Ty mají až desetkrát vyšší podíl síry než srovnatelné oceli. Síra spolu s manganem vytvářejí sulfid manganu, ten napomáhá ke zmenšování a drolení třísky, snižování teploty.

Dalším prvkem, který se přidává pro lepší vlastnosti při obrábění, je olovo, má podobné vlastnosti jako síra. Často se jako přísady uhlíkových ocelí používají sloučeniny

olova a síry. Pro korozivzdorné oceli (martenzitické, feritické, austenitické), a také uhlíkové oceli se používají sloučeniny selenu a síry. [3][6]

### **3.6 Stav polotovaru obrobku**

Obvykle jsou v praxi běžné polotovary obrobku válcované za tepla, normalizačně žíhané, žíhané na měkko, zušlechtnuté nebo tažené za studena.

#### **Válcovaný za tepla**

Tyto materiály obrobku mají často hrubou strukturu a jsou značně nehomogenní. Ocel je totiž při tomto procesu po delší dobu vystavovaná vysokým teplotám, a to tvoří již zmiňovanou hrubou strukturu. Podle úrovně nehomogenity oceli se mohou vytvářet póry nebo materiálové odchylky. Tento jev má negativní vliv na obrobitelnost. [3][8]

#### **Normalizačně žíhaný**

Tento způsob tepelného zpracování je často používaný právě pro polotovary válcované za studena zmíněné výše. Díky tomuto procesu se materiál stává více homogenním a také se zjemní jeho struktura. Zrovnoměrnění struktury je spojeno s výrazně lepší obrobitelností. Hlavní funkcí normalizačního žíhání je dosažení vyšší houževnatosti materiálu. [3]

#### **Žíhaný na měkko**

Žíháním na měkko se materiál polotovaru obrobku uvádí do obrobitelného stavu. Výsledkem tohoto procesu je struktura s mnohem menší tvrdostí. Oceli nelegované s obsahem uhlíku pod půl procenta se obvykle na měkko nežíhají, protože jsou dobře obrobitelné ve stavu normalizačně žíhaném, kovaném nebo válcovaném. Naopak oceli s vysokým obsahem uhlíku, by se pro zaručení optimální obrobitelnosti měly žíhat na měkko. Tento druh tepelného zpracování by se neměl zaměňovat s žíháním pro snížení pnutí. To je proces, který v obrobku snižuje pnutí způsobené špatným ochlazením apod. Tento druh žíhání neovlivňuje obrobitelnost a nemění strukturu materiálu, provádí se za nízkých teplot. [3][8]

## Tažený za studena

Zpevňování za studena se obvykle používá následně po žíhání normalizačním nebo žíhání na měkko. Využívá se zejména u malých polotovarů a polotovarů, u kterých je jednodušší vytvořit homogenní strukturu. Zpevňování vede k vyšší pevnosti materiálu a z hlediska obrobitelnosti je to proces příznivý, díky němu se redukuje vznik otřepů, zmenšuje se tvorba nárůstku a zlepšuje kvalita povrchu. [3]

## 3.7 Skupiny obráběných materiálů

V současné době se v kovoobráběcím průmyslu setkáváme s nejrůznějšími obrobky ze široké škály materiálů. Každý má své specifické vlastnosti, jak je uvedeno výše. Ty mají veliký vliv na volbu řezných podmínek, geometrie břitu apod. Proto jsou obráběné materiály rozděleny do šesti základních skupin v souladu s ISO.

Obrázek 3: Skupiny obráběných materiálů [7]



**ISO P** – Nejrozsáhlejší skupina materiálů k obrábění - oceli. Ty se dají dále rozdělit na oceli vysokolegované až nelegované a oceli na odlitky. Mají obvykle dobrou obrobitelnost, která se liší podle obsahu uhlíku, tvrdosti atd.

**ISO M** – Korozivzdorné oceli, jsou jimi materiály obsahující minimálně 12 % chromu, další přísady mohou být molybden a nikl. Všechny druhy těchto ocelí spojují specifické vlastnosti, jako tvorba nárůstku, vysoká teplota v místě řezu a opotřebení břitu ve tvaru vrubu.

**ISO K** – Litina, která oproti oceli tvoří drolivé, krátké třísky. Dobře obrobitelná je šedá litina a temperovaná litina, u ostatních druhů je obrábění obtížnější. Všechny litiny působí abrazivně na břit, protože obsahují karbid křemíku.

**ISO N** – Je skupina neželezných kovů, mezi které patří například mosaz, hliník, měď a další. Slitiny hliníku obsahující okolo třinácti procent křemíku jsou velice abrazivní. U vyměnitelných břitových destiček s ostrým břitem lze předpokládat dlouhou životnost při velkých řezných rychlostech.

**ISO S** – Zahrnuje žáruvzdorné superslitiny, mezi které patří spousta vysokolegovaných ocelí a dále materiály na bázi titanu, kobaltu, a niklu. Při jejich obrábění snadno vytváří nárůstek na břitu, dochází ke zpevňování materiálu a tvorbě vysokých teplot. Mají podobné vlastnosti jako skupina ISO M (korozivzdorné oceli) ovšem s mnohem horší obrobiteľností a životností břitu.

**ISO H** – Do této poslední skupiny spadají tvrzené litiny (tvrdosti 400 - 600 HB) a také oceli s tvrdostí 45 - 65 HRC. Tato tvrdost působí negativně na obrobiteľnost - jsou obtížně obrobiteľné, při obrábění vzniká velké množství tepla a také působí abrazivně na břit. [7]



## **4 Programování CNC strojů**

Charakteristické pro CNC stroje, neboli počítačem řízené stroje je, že za pomoci vytvořeného programu je řídicí systém schopen ovládat pracovní funkce. Výrobu dané součásti zaručuje program, ten je určený k řízení prvků stroje a jsou v něm alfanumerickými znaky zapsány všechny informace o požadovaných činnostech.

CNC stroje se nepoužívají pouze v obráběcím průmyslu, ale také v mnoha dalších odvětvích jako je tváření, řezání, montáž apod. Relativně snadno je lze přizpůsobit jiné výrobě a díky číslicovému řízení pracují v automatizovaném cyklu. [9]

### **4.1 Program**

Program obsahuje spoustu informací, které předává řídicímu systému stroje, lze je rozdělit na následující skupiny:

#### **Geometrické informace**

Tyto informace v podstatě popisují kompletní dráhu nástroje v kartézských souřadnicích, včetně nájezdu i odjezdu od obráběné plochy. Dráhu ovlivňuje způsob frézování a rozměry součásti. U soustruhu je popis danými funkcemi uveden v osách X a Z, zatímco u frézky (pro obrábění ve třech osách) v X, Y, Z. Funkce jsou normalizované dle ISO, a nebo je stanovují výrobci řídicích systémů. [9]

#### **Technologické informace**

Za pomoci rezných podmínek stanovují technologii obrábění. Jedná se především o otáčky vřetene nebo reznou rychlost, posuv, popř. hloubku třísky. [9]

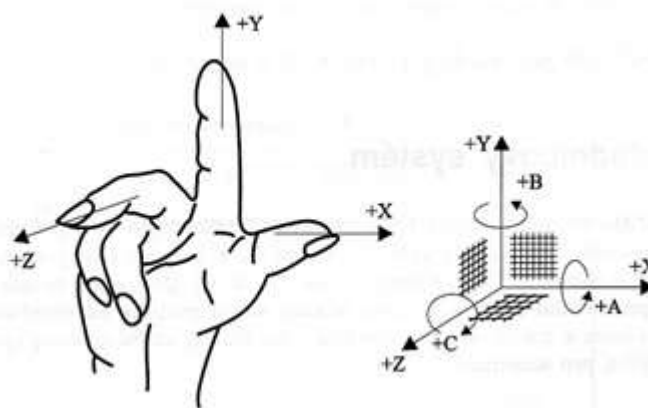
#### **Pomocné informace**

Jedná se o povely, informace pro stroj, kterými jsou ovládané různé pomocné funkce. Těmi jsou například zapnutí/vypnutí chlazení kapalinou nebo vzduchem, směr otáčení vřetene, pracovní offset apod. [9]

## 4.2 Souřadnicový systém stroje

U všech CNC strojů se využívá kartézského systému souřadnic, definovaného normou ČSN ISO - Terminologie os a pohybu. Je to pravotočivý, pravotočivý systém s osami X, Y, Z a otáčivé pohyby rovnoběžné na tyto osy se označují A, B, C, jak je znázorněné na obrázku 4. Platí, že vřeteno stroje je rovnoběžné s osou Z, kladných hodnot nabývá od obrobku k nástroji. [9][10][11]

Obrázek 4: Kartézský souřadnicový systém [9]



Souřadnicový systém je pro řízení stroje nepostradatelný, dle spuštěného programu nebo zadaných příkazů se v něm pohybuje nástroj, ale třeba i obrobková sonda, za pomoci které se nečastěji zadává nulový bod obrobku. Tento bod je počátkem souřadnic kartézského systému a programátor ho vkládá na nejvhodnější místo na obrobku tak, aby se dosáhlo co největšího zjednodušení při následném programování. To je spojeno také s výkresem součásti, kdy je výhodné mít výkres přizpůsobený programování tím, že všechny kóty vycházejí z jednoho bodu. To programátorovi značně ulehčí práci a také minimalizuje možnost vzniku chyb souřadnic. [9][11]

Existuje hned několik základních druhů programování:

**Programování absolutní** - to je popsáno výše, každá dráha nástroje se programuje od nulového bodu.

**Programování přírůstkové** - programování dráhy nástroje vychází vždy od konce předchozí dráhy.

**Programování polárními souřadnicemi** - z nulového bodu se programují souřadnice pomocí délky a úhlu.

**Parametrické programování** - způsob programování, využívaný hlavně pro složitější tvarové plochy. [9]

### **4.3 Vztažné body**

Pro určení polohy nástroje a polohy obrobku v souřadném systému stroje slouží vztažné body uvedené níže. Díky těmto bodům lze například určit a kontrolovat polohu nástroje.

#### **Referenční bod**

Referenční bod je pevně stanovené místo na stroji, v jeho systému, dochází zde ke sladění řídicího systému CNC a odměřovacího systému. Po najetí na referenční bod zná řídicí systém absolutní polohu v souřadné soustavě stroje, protože má v paměti uloženou polohu tohoto bodu vůči nulovému bodu stroje. [9]

#### **Nulový bod stroje**

Nulový bod stroje je určen přímo výrobcem při konstrukci stroje. Nelze ho měnit, protože je počátkem souřadnicové soustavy stroje. Může se posunout do polohy, kterou určí uživatel pro snadnější programování. [9]

#### **Nulový bod obrobku**

Nulový bod obrobku je pomocný bod, který si určuje sám programátor pomocí G funkce. Programátor ho vkládá na pro něj nejvýhodnější místo a tím si usnadňuje výpočet souřadnic tvaru součástí. Nejčastěji se provádí posunutím souřadnicového systému funkcí G54 až G59. Druhý způsob je, že se indikuje funkcí polohy nástroje. [9][11]

### **4.4 Možnosti programování**

Pro vytvoření programu existuje několik možností, a to buď programováním ručně v ISO kódu na počítači nebo přímo na stroji, programování v řídicím systému stroje (označované jako dílenské) anebo v CAD/CAM systému.

#### 4.4.1 Ruční programování v ISO kódu

Při ručním programování se samotný program píše větu po větě. Každá věta neboli blok se musí držet určitých pravidel a mít náležitou formu, aby ji řídicí systém stroje dokázal správně přečíst a ovládat podle ní stroj. V tabulce 3 je názorný příklad, jeden řádek je roven jedné větě programu. Věta se dá rozdělit na slova, tím je například **G 01**. Slovo se dále dělí na adresu, tou je znak **G**, a na číslo **01**. Blok může mít dva různé formáty. Prvním je formát s konstantní délkou bloku - tabulka 3, kde má každé slovo danou přesnou polohu, a to i v případě, že se funkce opakuje nebo nevyskytuje. V tabulce 4 je vidět formát s proměnnou délkou bloku, v něm je možné vynechávat slova, která se opakují nebo ty, co se nevyskytují. Většinou se nemění pořadí slov pro přehlednost programu. [11]

Věty se obvykle číslují po desítkách, aby mezi nimi byl prostor pro dodatečné vložení dalších vět určených k doladění nebo opravě programu. Řídicí systém stroje seřazuje obvykle bloky podle číslování vzestupně a tak je i čte. Toto řazení je výhodné i pro lepší orientaci programátora v programu. [9]

Tabulka 3: Příklad struktury věty programu s konstantní délkou bloku

N0010	G01	X20.000	Z15.000	F0300
N0020	G01	X40.000	Z10.000	F0300

Tabulka 4: Příklad struktury věty programu s proměnnou délkou bloku

N10	G1	X20	Z15	F300
N20	X52			

#### 4.4.2 Používané funkce

K programování se používá celá řada funkcí, které určuje norma ČSN ISO. Souhrn nejpoužívanějších přípravných a pomocných funkcí je v tabulce 5. Všechny funkce lze rozdělit do několika kategorií:

**Přípravné funkce (G)** - Přípravné neboli hlavní funkce slouží ke zpracování geometrických informací. Do jednoho bloku je u většiny systémů možné vložit několik G funkcí.

**Pomocné funkce (M)** - Některé z těchto funkcí se týkají řídicího systému, ale většina z nich je určena k vyvolávání činností mechanismu stroje.

**Funkce nástroje (T)** - K těmto funkcím patří ještě korekce nástroje D. Například při spojení T1 D1 se současně k danému nástroji přiřazuje i daná korekce.

**Posuvové funkce (F)** - Ty udávají velikost posuvu, a to buď u soustruhu v mm za otáčku, nebo u frézky v mm za minutu.

**Otáčkové funkce (S)** - Tyto funkce jak naznačuje název, určují velikost otáček za minutu, popř. řeznou rychlost udávanou v milimetrech za minutu.

Tabulka 5: Nejpoužívanější přípravné a pomocné funkce

Označení funkce	Název a použití funkce
G00	Rychloposuv
G01	Pracovní posuv
G02	Kruhová interpolace ve směru hodinových ručiček
G03	Kruhová interpolace proti směru hodinových ručiček
G54-G59	Posuny nulového bodu
G40-G42	Kompenzace rádiusu frézy, popř. špičky břitové destičky
G90-G91	Absolutní / přírůstkové programování
G94	Minutový posuv [1/min]
G95	Otáčkový posuv [1/ot]
G70-G71	Míry v palcích / míry v milimetrech
M03	Otáčky vřetene ve směru hodinových ručiček
M04	Otáčky vřetene proti směru hodinových ručiček
M05	Zastavení vřetene
M06	Výměna nástroje
M07-M08	Zapnutí čerpadla chlazení
M09	Vypnutí čerpadla chlazení
M17	Konec podprogramu
M30	Konec hlavního programu

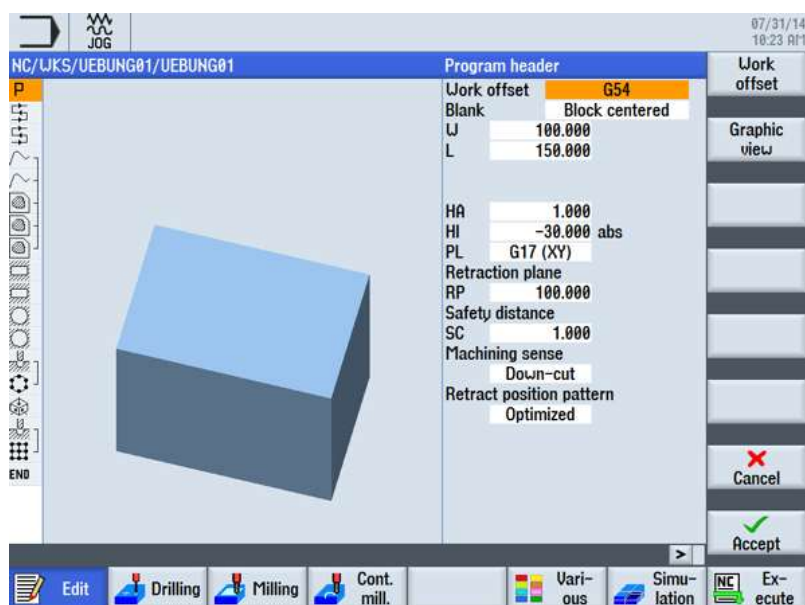
### 4.4.3 Dílenské programování

Dílenské programování je jakýmsi kompromisem mezi ručním psaním programu v ISO kódu a programováním v plnohodnotném CAD/CAM systému. Jedná se v podstatě o grafickou podporu obsluhy stroje. Není to klasický NC program, ale pro jednotlivé operace (například vrtání, obrábění tvaru) se tvoří technologické postupy pomocí vyplňování tabulek s parametry. U klasického ručního programování je velké riziko chyby (jiný číselný údaj, desetinná čárka apod.), to u dílenského odpadá a navíc je zde možnost jednoduché simulace hotového programu. U ručního programování je jediná možnost ověření hotového programu v režimu Dry Run (obrábění bez třísek). [12][13]

Tyto programovací systémy ovšem bývají v oblasti CAD geometrických nástrojů značně omezeny jen na jednoduché tvary. Tvarově složitější součásti jsou problematické a z velké části je nelze vůbec naprogramovat. Dalším problémem může být definování polotovaru, když se nejedná například jen o jednoduchý kvádr nebo tyčovinu, to je nevýhodné u obrábění výkovek, odlitků apod.

Mezi nejznámější výrobce řídicích systémů nabízejících tyto produkty patří Siemens, který využívá pro frézování Shopmill a pro soustružení Shopturn. Na obrázku 5 je vidět uživatelské prostředí Shopmillu, konkrétně nastavení prvotních informací a polotovaru pro následné programování. Největší uplatnění nacházejí spíše u firem začínajících s CNC obráběním, pro které je výhodné používání technologických maker. [12]

Obrázek 5: Uživatelské prostředí dílenského systému Shopmill [14]



#### **4.4.4 Programování pomocí CAD/CAM**

Využívání těchto systémů pro programování CNC strojů je v dnešní době nejpoužívanějším způsobem. Programy se dají ve většině případů vytvářet rychleji než u ostatních variant programování. Lze je využívat i pro nejnáročnější tvarové součásti. Další nespornou výhodou je plnohodnotná 3D simulace programu, s možností simulace na modelu konkrétního stroje. Tím se minimalizují možné chyby programátora a také čas odladění programu.

Programování v CAD/CAM je ovšem náročné a od uživatele vyžaduje dobré znalosti nejen pro obsluhu modulu CAM, ale i CAD. Ale naopak i konstruktéři by měli znát technologii a možnosti obráběcích CNC strojů. Kvalita výsledného programu se odvíjí od programátorovy znalosti CAM systému. Při programování složitých součástí může programátor vytvořit několik variantních programů s různou technologií obrábění a vybrat nejvhodnější, který zaručí požadovanou kvalitu, nedochází při něm k nadměrnému opotřebení stroje i nástrojů a přitom není časově náročný.

Kvalita zhotoveného programu je dána použitím softwarem a zkušeností.

#### **Z hlediska programátora jsou kladeny tyto požadavky:**

- Znalost technologie obrábění, použitých nástrojů a správná aplikace optimálních řezných podmínek pro daný stroj a nástroje.
- Znalost technického stavu a parametrů stroje, pro který se zhotovuje program.
- Znalost používaného CAD/CAM systému a účelné využívání všech jeho možností pro vytvoření programu.

#### **Z hlediska daného CAD/CAM softwaru je požadována:**

- Kvalitní podpora - obnova na novější verze systému, možnosti doškolování a školení, patřičný servis atd.
- Uživatelská vstřícnost, intuitivnost.
- Spolehlivost - absence chyb ve vygenerovaných programech, software by neměl „padat“ a mít přehnané nároky na hardware počítače. [9]

## 5 CAD/CAM systémy

Využívání těchto softwarů k programování CNC strojů bývá dnes standardem nejen u velkých firem zaměřených především na hromadnou a sériovou výrobu, ale i u ostatních, menších firem preferujících kusovou a malosériovou výrobu. Výroba jednodušších součástí se dá efektivně zvládnout i s programováním v ISO kódu nebo dílensky na stroji, jak je uvedeno v předchozí kapitole. Ovšem pro profesionální obrábění složitých tvarových součástí se CAD/CAM nezbytný.

### 5.1 Výběr vhodného softwaru

Na výběr je velké množství systémů, s různým zaměřením a v různých cenových relacích. Proto není od věci si před samotným nákupem tohoto programu udělat dobrý přehled o nabízených možnostech. Ovšem nejvhodnější cestou je poradit se s prodejcem těchto softwarů a představit mu požadovaný druh výroby. Tak nedojde ke zbytečné investici do softwarových modulů nebo operací v nich, které pak nebudou využívány.

Neméně podstatným bodem je aktualizace softwaru a následná telefonická podpora. Co se týká aktualizací, někteří prodejci nabízejí předplacené upgrady, to znamená, že zákazník například jednou za rok zaplatí poplatek a tím si zajistí vždy aktuální novou verzi. Jiní prodejci nabízí pro stávající zákazníky slevy na rozšířené nebo nové verze. Nedá se říct, jaká varianta je vhodnější, důležité je, aby zákazník dopředu věděl, za jakých podmínek aktualizace dostane. Samozřejmostí by také měla být telefonická nebo e-mailová podpora zajišťující rychlé a efektivní poradenství při používání systému.

Důležitou otázkou je také cena a dostupnost postprocesoru. Ten slouží pro převod naprogramovaných dat v CAM systému do NC kódů pro řídicí systémy CNC strojů. Existují jich stovky rozdílných formátů, závislých na obráběcím stroji, jeho řídicím systému, ale také na stylu programování. Je proto důležité znát podmínky pro získání daného postprocesoru a jeho případného odladění dle požadavků.

Pořizovaný software by také měl být uživatelsky přívětivý, snadný na používání i naučení pro programátora, který ho bude využívat. Je dobré přihlídnout k jeho zkušenostem a řídit se i tím, jestli má nějaké zkušenosti s určitými produkty. [15]



## 5.2 Surfcam

Surfcam patří k nejpoužívanějším programovacím softwarům u nás. Kromě části technologické - CAM, má pro tvorbu a úpravu programovaných modelů i kvalitní CAD část. Program se dá pořídit v několika úrovních, podle požadavků a potřeb zákazníka, jak je vidět na obrázku 6. Lze ho mít v úrovni Designer jako samostatný CAD, dále jsou úrovně rozděleny pro pokrytí 2-5osého obrábění.

Co se týká postprocesorů, v základní instalaci jich je 160 pro nejrozšířenější stroje a jejich řídicí systémy. Postprocesory je dále možné přizpůsobit specifickým požadavkům úpravou nebo modifikací.

Obrázek 6: Nabízené verze softwaru Surfcam [16]

Úroveň SURFCAM	2 Axis TrueMill	3 Axis TrueMill	3 Axis MultiCut	CAD překladač nativních formátů	Strojní simulace	SolidWorks PDC a PDA	Síťová licence	Standardní CAD	Standardní CAM	2 Axis EDM	4 Axis EDM	2 Axis Soustružení	Poháněné nástroje
5Axis Advaced edition	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
4Axis Advaced edition	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
3Axis Advaced edition	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
3Axis Base edition	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
2Axis Advaced edition	●	●	○	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
2Axis Base edition	●	●	○	●	●	●	●	●	●	○	○	●	○
Designer	○	○	○	●	○	●	●	●	○	○	○	○	○

**Legenda**

Standardní prvek ●

Volitelný prvek ◐

Není možné ○

## Frézování

U frézování nabízí pokrytí programování 2-5osých frézek. K prodloužení životnosti nástroje i stroje přispívají operace vybavené vysokorychlostními technologiemi. Pro hrubování je zde vyspělá technologie Truemill, ta zajišťuje při obrábění konstantní úhel styku nástroje s frézovaným materiálem.

### Truemill

Při klasickém obrábění je nástroj zbytečně zatěžován „šoky“ při změnách pohybu, nejvíce znatelné je to pro obrábění vnitřních kapes při průjezdu rohem. Tato technologie tvoří specifickou dráhu nástroje, která tyto nežádoucí jevy odstraňuje. Je tomu dosaženo udržováním konstantního úhlu záběru nástroje na maximální povolené hodnotě

a automatickou regulací posuvu. Jak už je uvedeno výše, tento druh frézování je určený především pro hrubování - co nejrychlejšímu odběru přebytečného materiálu polotovaru.

Výsledkem konstantního zatížení nástroje je delší životnost nástroje i samotného stroje při použití vysokých posuvů a otáček. Velikou výhodou je odladování prvního kusu, kdy stroj nemusí po celou dobu hrubování nikdo sledovat, protože Truemill se sám řídí tvarem součásti a tím se eliminuje chyba programátora. Dá se jím zvýšit produktivita obrábění bez ohledu na stáří stroje. [17]

### **Soustružení**

Sufcam nabízí klasické soustružnické operace (závitování, čelní soustružení, zarovnání čela apod.), ale podporuje i programování poháněných nástrojů s možností 2-5osého obrábění. Lze ho využít i pro obráběcí centra s osou Y, rotační osou C, navíc s možností výstupu dat do polárních souřadnic.

### **Drátové řezání**

Samostatný modul nabízí veškeré potřebné funkce pro programování 2 a 4osého drátořezu. Dráhy jsou řízeny pod proměnlivým nebo konstantním úhlem, případně po kontuře. Jednoduchost tohoto modulu zaručuje rychle dosažitelné dráhy.

### **Verifikace**

Simulační nástroj sloužící k ověření a kontrole naprogramovaných drah. Verifikace je zobrazena trojrozměrně se zadaným polotovarem a také s možností kontroly střetu nástroje s upínacími prvky. Při plné simulaci lze sledovat případné kolize na modelu celého stroje. Simulace lze sledovat i v řezu nebo v průhledném režimu. Nakonec je možné udělat analýzu zobrazující přebývající nebo naopak chybějící materiál oproti originálnímu modelu.

### **Měření sondou**

Software je vybaven i měřicími cykly, díky kterým lze obrobek přesně změřit. Surcam pak vytvoří protokol, kde porovnává naměřené hodnoty s CAD modelem.

### **5.3 HSMWorks / Inventor HSM**

Tento CAM modul je v případě HSMWorks integrovaný do CAD systému SolidWorks a nebo do CAD systému Inventor, čímž vzniká Inventor HSM. V obou případech se jedná o velice kvalitní, profesionální CAD softwary hojně využívané v praxi i ve školách. Pokud se tedy uživatel Inventoru nebo SolidWorks rozhodne pro tento CAM, pracuje ve známém prostředí a tím se stává během chvíle produktivní díky známým pracovním postupům a nástrojům. Velikou výhodou je také společné uživatelské rozhraní, ucelená správa souborů a jednotná databáze. Díky tomu se všechny změny v konstrukci modelu ihned promítnou do programování.

Při zakoupení těchto produktů získá zákazník širokou škálu odladěných postprocesorů pro nejpoužívanější řídicí systémy zdarma. Ty je možné snadno neomezeně upravovat k vlastním potřebám. K ruční úpravě a doladění NC kódu lze využít editoru, který je součástí systému. [18]

#### **Frézování**

Na výběr je z celé řady obráběcích strategií vycházejících z koncepce vysokorychlostního obrábění (High Speed Machining). Ty jsou dále rozděleny na 2D, 3D a 5D frézovací operace. Všechny 2D i 3D operace lze využít pro víceosé indexované obrábění a tím docílit optimálních vlastností obrobku při úspoře času na přeupínání. Pro ty nejsložitější tvarové plochy (např. lopatky turbín) je zde možnost plynulého 5osého frézování. Nechybí ani speciální hrubovací strategie - Adaptivní obrábění.

#### **Adaptivní obrábění**

Jedná se o strategii určenou pro odebrání velkého množství materiálu za co nejkratší dobu, která má snížit čas hrubovacího cyklu až o 40 % a současně také zvýšit životnost nástroje díky udržení konstantních, optimálních řezných podmínek. Tohoto efektu je dosaženo udržováním stejného úhlu styku nástroje s materiálem. Jedná se o podobnou technologii jakou má Truemill u Surfcamu, zde se ovšem nastavuje konstantní stranový krok. [18]

## **Soustružení**

Další součástí tohoto systému je modul pro soustružení. K dispozici je opět celá řada strategií s detailním nastavením přechodů a nájezdů, překrývání dokončovacích i hrubovacích průchodů. Podporovány jsou i poháněné nástroje, programovatelné pomocí frézovacích funkcí.

## **Simulace a verifikace**

Pro lepší kontrolu naprogramovaných drah nechybí verifikace, při které je znázorněn úběr materiálu ze zadaného polotovaru. Poté lze udělat kontrolu přebytečného a chybějícího materiálu, kde lze nastavit tolerance a počet barevných odstínů. Další funkcí je strojní simulace sloužící ke kontrole kinematiky celého stroje, zejména pro víceosé obrábění je to velice přínosné.

## **Distribuovaný CAM**

Tato služba dokáže zrychlit odezvu systému v rámci lokálních sítí - využitím nečinných jader/procesorů. Vše probíhá automaticky po instalaci, bez složitého nastavování. Čas výpočtu lze tímto snížit přibližně na jednu pětinu. [19]

## **5.4 GibbsCAM**

Tento software je především plnohodnotný CAM, který obsahuje technologický CAD pro základní úpravu vložených modelů a výkresů. Podporuje vkládání 3D dat z většiny známých používaných CADů (SolidWorks, Inventor a dalších).

System má v sobě zakomponovanou Adveon Tooling Library, což je knihovna řezných nástrojů vyvinutá za pomoci Sandvik Coromant pro import nástrojů v souladu s ISO 13399. Knihovna umožňuje výběr konkrétních držáků, nástrojů nebo vyměnitelných břitových destiček. [21][22]

Další užitečnou funkcí ke zjednodušení programování v GibbsCAMu je technologie UKM - Universální kinematický stroj. Poskytuje flexibilitu pro podporu kinematiky moderních CNC obráběcích strojů a simulaci kompletního stroje se všemi jeho funkcemi a komponenty. [23]

System podporuje i programování drátořezu EDM. [21]

## **Frézování a soustružení**

Program nabízí řadu soustružnických a frézovacích operací pro 2 až 5osé frézování, soustružení, multifunkční souběžné obrábění. Stejně jako konkurenční produkty má i tento v nabídce operací speciální hrubovací strategii pro frézování - Volumill. [21][22]

### **Volumill**

Jedná se opět o vysokorychlostní strategii pro veliký úběr materiálu za co nejkratší čas. Materiál je odebírán bez zbytečného přetěžování frézovacího nástroje, toho je docíleno udržováním optimálního záběru frézy. Volumill sám upravuje velikost posuvu a dynamicky mění hloubku řezu, aby byl zachován maximální dovolený úběr materiálu. Díky tomu lze použít větší řezné rychlosti a posuvy, než uvádí daný výrobce nástrojů. Pokud je správně použit, dokáže zvýšit životnost nástroje až čtyřnásobně. V porovnání s ostatními hrubovacími strategiemi Volumill generuje dráhy tak, aby bylo využito až 100 % řezné části nástroje. [20]

## **5.5 InventorCAM / SolidCAM**

Jak už název napovídá, jedná se o CAM systém, v případě InventorCAMu, integrovaný do CAD softwaru Inventor a u SolidCAMu, jeho dvojčete, do softwaru SolidWorks. To nabízí profesionální tvorbu 3D modelů a následného programování ve stejném prostředí, s výhodou okamžitého promítnutí změn naprogramovaných drah při dodatečných úpravách modelu. Tento systém je zaměřený na programování soustružení, frézování a drátořezu (2osé i 4osé). Samozřejmostí je vyspělá 3D simulace naprogramovaných drah. [24]

Mezi obráběcími operacemi se nachází i měřicí funkce samostatného modulu Sonda - tento modul slouží pro měření a nastavení na stroji. Výstupem je potom propojený NC kód pro obrábění i měření. Lze provádět měření ustavení obrobku pro každý nově upnutý polotovar, měření nástroje a průběžnou kontrolu (mezioperační měření). Tímto může ušetřit přípravný čas a čas při seřizování obsluhou, což vede ke snížení nákladů. Všechny operace měření mohou být simulovány pro snížení rizika poškození sondy. [25]

## **Frézování a soustružení**

Software nabízí operace pro 2D - 3D frézování, 4D a 5D indexované i souvislé frézování, soustružení klasické i s podporou poháněných nástrojů. Modul pro 3D frézování nabízí mnoho efektivních strategií jak pro vysokorychlostní hrubování (zbytkové, lineární, konturové a hybridní hrubování žeber), tak pro vysokorychlostní dokončování s řízením dle nastavení úhlu stěny nebo hranic, nechybí ani zbytkové obrábění po větších nástrojích.

K soustružení lze využít také propracované tzv. neobráběcí operace, těmi mohou být pomocné operace pro stroj (podávání materiálu, přeupínání mezi vřeteny apod.) nebo ovládání frézovací hlavy stroje. Tyto operace lze opět kontrolovat v simulaci stroje. [24]

## **iMachining, 3D iMachining**

iMachining je technologie využívající spirálové řezy mezi křivkami a řízený boční krok. Proto lze při frézování touto strategií využít celé délky břitu nástroje, tím dochází k rozložení zátěže na celý nástroj. Ustálené zatížení, které udržuje kontrola tloušťky třísek, dovoluje za stejný čas odebrat mnohem větší množství materiálu.

3D iMachining je modul, který automaticky vygeneruje kompletní CNC program pro vysokorychlostní předdokončovací, hrubovací nebo zbytkové obrábění. Hotový program má také definovanou drsnost stěn a optimální rezné podmínky. Další výhodou je generování drah s ohledem na kontakt držáku nástroje a polotovaru, to dovoluje použít menší vyložení nástroje a docílit vyšší tuhosti. Díky této technologii lze dosáhnout až 90% časové úspory. [26]

## **5.6 Esprit**

Cam systém zaměřený na komplexní programování CNC strojů, simulaci a optimalizaci. Nabízí efektivní vysokorychlostní strategie jak pro frézování, tak i soustružení, dále podporuje i programování drátořezu. Všechny programované operace lze pro kontrolu simulovat se všemi částmi stroje.

Uživatelé softwaru Esprit mají přístup k Esprit MachiningCloud Connection. Jedná se o knihovnu nástrojů s úplnými a aktuálními informacemi o nich. Programátor nemusí zdlouhavě generovat nástroj a tím vzniká časová úspora. Esprit dokáže zjednodušit výběr fréz a automaticky vybrat vhodný, doporučený nástroj. [27]

## **Soustružení**

Systém podporuje klasické soustruhy i víceosá soustružnická centra. Obsahuje řadu operací a například jen pro zapichování nabízí 7 cyklů. Lze definovat kompletní nástroje - držák, plátek i vřeteno.

### **ProfitTurning**

Tato hrubovací strategie pro soustružení je součástí systému a jejím cílem je zvýšit produktivitu, přesnost a umožnit lepší kontrolu kvality výroby. Tato operace je určena pro vnitřní, vnější i čelní soustružení a v porovnání s klasickými metodami hrubování dosahuje kratší doby cyklu a vyšší trvanlivosti břitu.

ProfitTurning omezuje vibrace a zbytkové napětí (výhodné u obrábění tvrdých materiálů a tenkostěnných obrobků) díky regulovanému záběru a využití trochoidálního soustružení. Vstupem pro tuto strategii jsou všechny faktory, které souvisejí s plánováním drah nástroje (výkon stroje, maximální zrychlení a zpomalení, materiál řezný, materiál obrobku, tvar nástroje, posuv, přísuv a další). [28][29]

## **Frézování**

Esprit nabízí frézovací funkce pro 2,5 až 5osé souvislé obrábění. Pro 5osé indexované programování podporuje všechny možné kombinace výklopných hlav a rotačních stolů.

### **Global Finishing**

Jedná se o tříosý dokončovací cyklus umožňující komplexní řešení pro frézování mělkých i strmých složitých tvarových ploch. Optimalizace obrábění vychází z analýzy CAD modelu obrobku. [30]

### **ProfitMilling**

Operace určená ke zvýšení efektivity hrubování uzavřených dutin s cílem odebrat velké množství materiálu za krátkou dobu. Strategie optimalizuje zatížení v třisce, úhel záběru nástroje, hodnotu odběru materiálu, dynamiku stroje a boční záběr frézy k dosažení nejlepších výsledků. Cyklus zvyšuje životnost nástroje až na pětinasobek a snižuje dobu programování, spotřebu energie a také čas cyklu. [31]

## 6 Optimalizace výroby pomocí CAD/CAM systému

Vybraná součást prošla kompletním procesem výroby, od volby polotovaru, přes programování v CAD/CAM systému, až po samotné obrábění na CNC stroji. Při programování byly zkušeny různé obráběcí strategie a vybrány ty po všech stránkách nejoptimálnější.

### 6.1 Použitý stroj

Samotná výroba všech součástí proběhla na stroji DMG - DMU 50 eco, viz obrázek 7. Jedná se o univerzální frézovací centrum s řídicím systémem od firmy Siemens - Sinumerik 810D. Díky jeho malým rozměrům (cca 4,5 x 3,5 x 2,3 m) je velice kompaktní a tomu odpovídají i maximální přejezdy (osa X - 500 mm, osa Y - 450 mm, osa Z - 400 mm) a pracovní plocha o velikosti 630 x 500 mm. Stroj je vybaven otočným naklápěcím stolem a podporuje 3+2osé (5osé indexované) obrábění, díky tomu na něm lze většinu běžných součástí obrábět jen na dvě upnutí obrobku. Rozsah naklápění stolu - osy B je  $-5^\circ$  až  $+110^\circ$ , otáčení kolem osy C je možný  $360^\circ$ .

Toto centrum je osazeno automatickou výměnou nástrojů z otočného zásobníku na šestnáct kusů nástrojů s upínacím kuželem SK 40. Dále je stroj dovybaven odsáváním mlhy vzniklé při chlazení emulzí a nástrojovou i obrobkovou sondou Renishaw. Nástrojová sonda umožňuje automatické měření průměru i délky.

Vřeteno je chlazené přiváděným vzduchem z externího kompresoru a disponuje maximálními otáčkami  $8000 \text{ min}^{-1}$  a výkonem 13 kW. Rychloposuv je možné volit 1 až  $12000 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$ .

Obrázek 7: Stroj DMG - DMU 50 eco





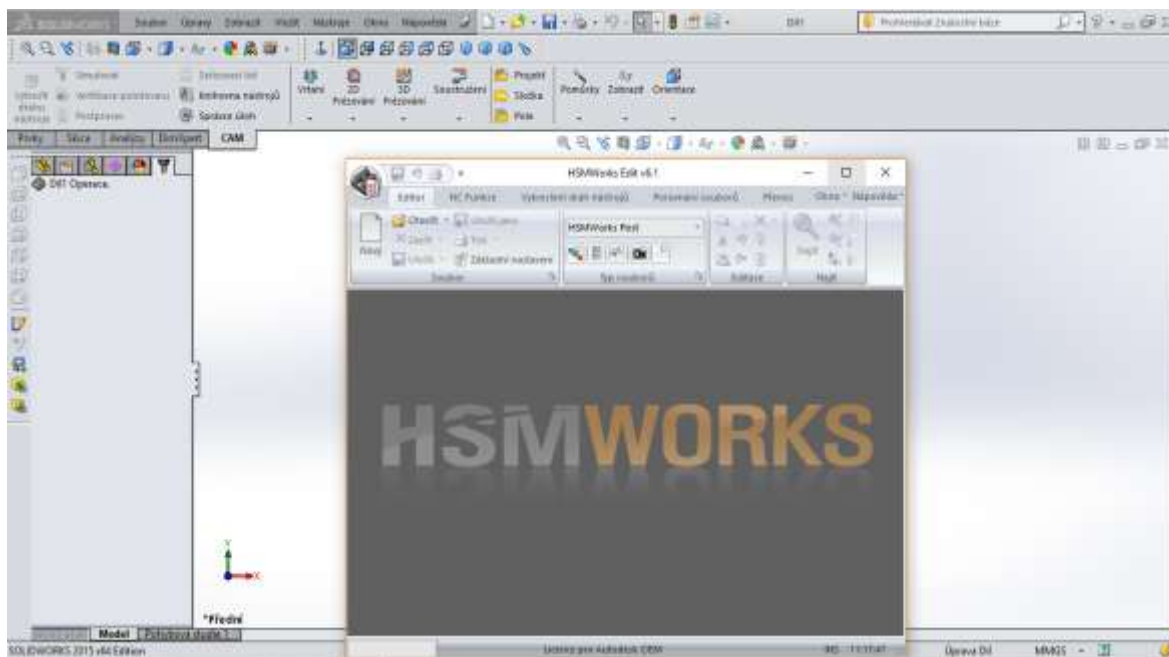
## 6.2 Software

K vytvoření programu byl použit CAD/CAM systém HSMWorks popsany v předešlé kapitole této práce. Konkrétně se jedná o HSMWorks 2016 R1.40226 integrovaný do SolidWorks 2015 x64 SP0.0 s licenci pro komerční použití.

V CAMu jsou k dispozici operace Vrtání (Průvodce vrtáním, Vrták, Ruční NC), strategie pro 2D Frézování (Čelo, 2D Adaptivní, 2D Kapsa, 2D Kontura, Závit, Kruhový, Vyvrtávání, Sledovat, 2D Chamfer, Gravírování), strategie pro 3D Frézování (Adaptivní obrábění, Kapsovací obrábění, Vodorovné, Kruhové, Rovnoběžné, Rovnoměrné, Tužkové, Paprskové, Spirálové, Morfované spirálové, Rampové, Promítané, Morfované, Průtokové) a také Soustružení (Soustružení profilu, Soustružení profilu zapichováním, Soustružení čela, Soustružení jednoho zápichu, Soustružení sražení, Upíchnutí, Soustružení závitu, Soustružení - přenos polotovaru). Software je ve standardním nastavení a vytvořené dráhy mají několik barev. Červená šipka značí vstup, zelená výstup. Žlutými čarami je znázorněn rychloposuv, zelenými nájezdy/odjezdy a modré jsou pracovní pohyby.

Po vygenerování NC kódu byly drobné úpravy prováděny v editoru HSMWorks Edit v6.1. V editoru je možné upravovat stávající programy, vytvářet nové - ručně psané v ISO kódu a následně dráhy nechat vykreslit a odsimulovat.

Obrázek 8: HSMWorks a HSMWorks Edit

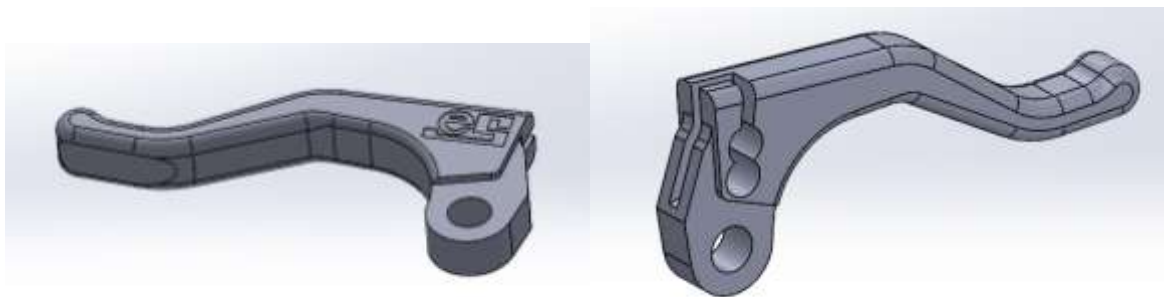


### 6.3 Součást - spojková páčka

Tato spojková páčka je díl vyrobený pro firmu Easystunt, která se zabývá návrhem a prodejem speciálních dílů pro motocykly. Konkrétně tato součást je třetí odladěnou verzí a slouží jako náhrada za originální páku, oproti které je ve všech směrech optimalizovaná.

Zvolený materiál součásti je hliníková slitina EN AW-6082 T6 (AlMgSi1Mn). Je vhodný právě pro součásti, u kterých jsou důležitými vlastnostmi: hmotnost, odolnost proti korozi a pevnost. Materiál také disponuje velice dobrou eloxovatelností.

Obrázek 9: Vyráběná součást - spojková páčka



### 6.4 Způsob upnutí a volba polotovaru

Před samotným programováním bylo zapotřebí vymyslet způsob upínání při obrábění, na základě toho následně druh a rozměr polotovaru. Součást je tvarově poměrně náročná a vyžaduje víceosé indexované obrábění na to, aby šla vyrobít jen na dvě upnutí. Proto bylo rozhodnuto, že pro obrábění z první strany proběhne v samostředícím, vyvýšeném svěráku Vertex VCV-1090. Vyvýšení hraje velikou roli při víceosém obrábění, protože je součást upnuta výše od stolu frézky. Potom při naklopení stolu má vřeteno mnohem více prostoru pro práci a snižuje se riziko kolize vřetena se stolem.

Kvůli upnutí ve svěráku musí být polotovar vyšší o přídavek na upnutí, ten byl na základě zkušenosti zvolen 4 mm, stejně jako přídavek na přerovnání čela 0,5 mm. Základní pravoúhlé rozměry součásti jsou: šířka 56 mm, délka 107 mm a výška 14 mm. Dalším přídavkem na výšku je hodnota, která pojme toleranci vyráběných polotovarů. S ohledem na tvar dílu nejvíce vyhovoval přířez z desky válcované za studena, která má v požadovaném rozměru dle normy EN 485-4:1993 toleranci tloušťky  $\pm 0,7$  mm.

Součtem těchto přídavků byla vypočtena hodnota minimální výšky 19,2 mm, nejbližším vyšším rozměrem, ve kterém se tyto desky vyrábějí, je 20 mm.

Po vypočtení výšky polotovaru bylo potřeba zjistit ještě šířku a délku. Na každou stranu byl přidán přídavek 1,5 mm. Celkový rozměr polotovaru pro jeden kus je tedy 59 x 110 x 20 mm.

Z důvodu snadného ustavení každého dalšího kusu byl svěrák na levé straně vybaven dorazem, na který byly obrobky doráženy.

Pro bezpečné upnutí z druhé strany musel být vyroben speciální přípravek, protože součást po obrobení ze strany první nemá žádné vhodné pravoúhlé strany, za které by se díl upnul do svěráku v přesné poloze a bez poškození povrchu. Přípravek je zobrazený na obrázku 10 a skládá se z odsazené desky (ta se pak upíná do svěráku), z upínací podložky na pozici **1**, opěrného čepu - pozice **2** a upínacího rozpěrného čepu na pozici **3**.

Upnutí se dosahuje utažením dvou šroubů s vnitřním šestihranem a kuželovou hlavou, která zaručuje dostatečnou odolnost proti samovolnému povolání vlivem vibrací při obrábění.

Obrázek 10: Přípravek pro upnutí



## 6.5 Programování - první upnutí

U součásti je prioritní vzhled a jakost obrobených ploch, protože je hotový výrobek nabízen jak ve formě eloxované, tak i bez další povrchové úpravy. Jedná se o malosériovou výrobu. K těmto faktorům bylo přihlíženo při samotném programování.

V první řadě po spuštění softwaru proběhlo podrobné prostudování samotného modelu součásti a ucelení představy o způsobu obrábění ploch.

### Projekt 1

První fází programování v HSMWorks je ihned po otevření 3D modelu založení nového projektu. V tom se vybere samotný model a dále je potřeba zadat příslušný polotovár. To je možné udělat několika způsoby:

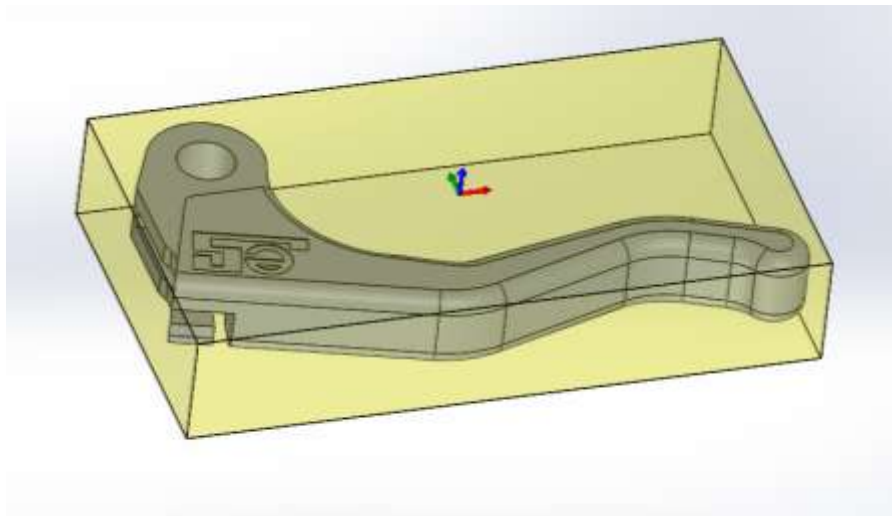
- Z vytažené skici - využíváno např. u polotovarů vyřiznutých na vodním paprsku.
- Relativní velikost - vytvoří pravoúhlý polotovar odsazením od ploch modelu.
- Válcový - zhotoví válcový polotovar zadáním průměru nebo odsazením a délkou.
- Pevná velikost - pravoúhlý polotovar o zadané velikosti, který se ustavuje vůči modelu.

Pro zadání polotovaru vyla vybrána poslední možnost. Ještě před zadáním rozměrů byla určena poloha pracovního souřadného systému, ten byl pro usnadnění následného měření na stroji a pro správné rozdělení přídavku vůči všem stranám modelu umístěn nahoru, na střed.

Je také vhodné zvolit si název programu, pod kterým se pak bude generovat hotový NC kód, proto byl pro přehlednost zvolen název: PAKKA\_1U. Ten udává, o jakou součást se jedná, dále 1U značí první upnutí. Názvy programů musejí být zadávány bez interpunkce a místo mezery je použito podtržítko, protože jinak je stroj nepřechte.

Po vytvoření složky nového projektu začíná volba obráběcích strategií.

Obrázek 11: Založený projekt - definovaný polotovár, souřadný systém



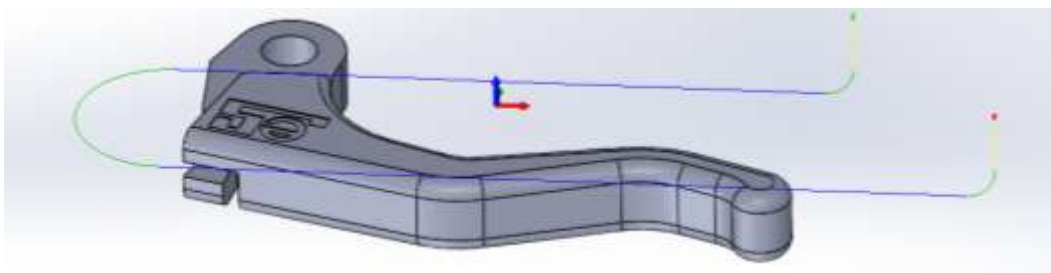
### Čelo

Jako první byla použita operace Čelo pro přerovnání vrchní strany polotovaru. Použitým nástrojem je čelní válcová fréza AKKO s pěti břity, o průměru 50 mm s vyměnitelnými břitovými deštičkami CCGT 0602F-AL.

Na ploše obrobené touto operací se nachází logo, které se obrábí frézou o průměru 1 mm a lze předpokládat, že vznikne drobný otřep. Aby se otřep nemusel po obrobení ručně srážet, je vhodné tuto plochu poté znovu přerovnat čelní frézou. Proto byl na ploše ponechán axiální přídavek 0,05 mm a není nutné prodlužovat přejezdy pro dosažení lepší jakosti povrchu.

Časově optimální by bylo použít tuto operaci pouze jednou po obrobení loga. To by ovšem znamenalo zhruba trojnásobný úběr materiálu pro 1 mm frézu, která by se pravděpodobně po pár kusech zlomila. Další možností by bylo obrobení na 3 hloubky, aby se zachovali původní řezné podmínky, což by znamenalo program delší o 4,5 minuty.

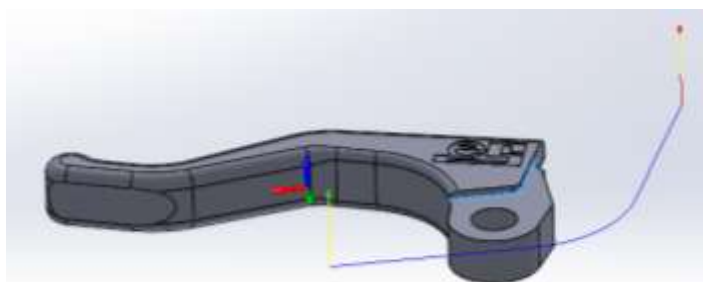
Obrázek 12: Obrábění čela



## Kontura 1

První nástroj byl také s výhodou využit pro vyhrubování materiálu na vrchní odsazené ploše těla. Je to velice rychlá a efektivní operace, která šetří případné další monolitní nástroje, které by musely zbytečně hrubovat jen spodní částí břitu. Pro pozdější dokončení byl zadán axiální i radiální přírůstek 0,2 mm. Pro optimální nájezd a odjezd bylo u označené hrany zvoleno tečné protažení o velikosti větší než poloměr nástroje, tedy 26 mm.

Obrázek 13: Kontura 1



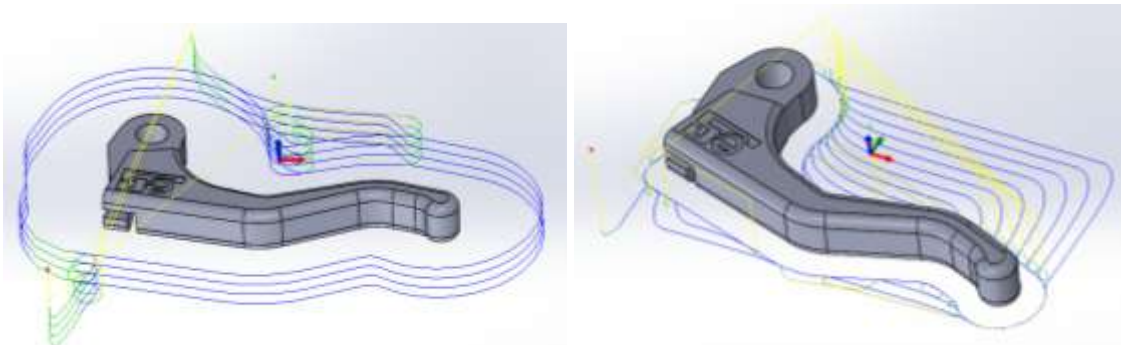
## Adaptivní obrábění

Pro odebrání velkého množství materiálu okolo tělesa je vhodná právě hrubovací strategie Adaptivní obrábění. U té byl nejprve zvolen stejný nástroj jako pro první operaci, ale bylo zjištěno, že je poměrně nevhodný, kvůli danému stroji - při adaptivním obrábění velkým nástrojem má řídicí systém stroje problém s rychlým čtením programu a lehce se zasekává. Výškový krok byl zvolen 4 mm (po použití funkce - Stejnoměrné kroky dolů rozpočítán na 4 hloubky) a stranový krok 30 mm, řezné podmínky: otáčky  $3000 \text{ min}^{-1}$ , posuv  $2000 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$ , tedy posuv na zub  $0,13 \text{ mm}$ .

Řešením bylo použití nástroje o menším poloměru, kterým se obrábí v dalších operacích - tvrdokovová, čtyřzubá fréza HOLEX 202545 o průměru 12 mm, s excentrickým podbroušením, určená pro obrábění hliníku. Ta měla nastavený výškový krok na celou hloubku modelu, krok stranový na jednu třetinu průměru, jak doporučuje výrobce, tedy 4 mm. Řezné podmínky: otáčky  $4500 \text{ min}^{-1}$ , posuv  $1500 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$ , tedy posuv na zub  $0,08 \text{ mm}$ . Porovnání drah je zřejmé z následujícího obrázku. Obrábění menší frézou je o 39 sekund rychlejší než čelní frézou s velkým stranovým krokem, protože po ní by muselo být použito ještě zbytkové obrábění pro odstranění materiálu z rohů a malých záhybů.

Oblouková tolerance byla ponechána na  $\pm 0,1$  mm, tudíž byl zvolen radiální přídavek 0,3 mm, aby ji pokryl. Axiálního přídavku není třeba, protože fréza hrubuje jen obvod součásti.

Obrázek 14: Porovnání drah adaptivního obrábění

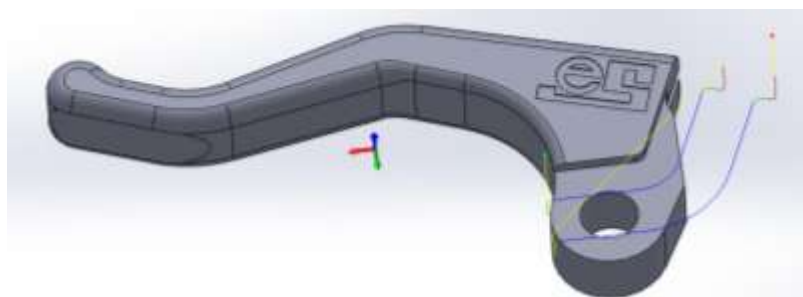


Vlevo: pro frézu 50 mm, vpravo: pro frézu 12 mm

## Kontura 2

Obrobení odsazené plochy na čisto po Kontuře 1 využitím stávajícího nástroje, frézy 12 mm TK. Časově úspornější by bylo obrobení na čisto rovnou frézou 50 mm, ale použité vyměnitelné břitové destičky mají sražené rohy  $1 \times 45^\circ$  a při ponechání by páka nešla vložit do protikusu - třmenu. Proto byla zvolena tato varianta, kdy se plocha obrobí stávající frézou na dva dokončovací průchody odsazené 9 mm. Jde sice o obrábění načisto, ale přejezd frézy až za plochy není třeba, jelikož se nejedná o pohledovou plochu. Avšak byl alespoň zmenšen posuv na  $1000 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$ , aby měl povrch lepší jakost.

Obrázek 15: Kontura 2 - načisto

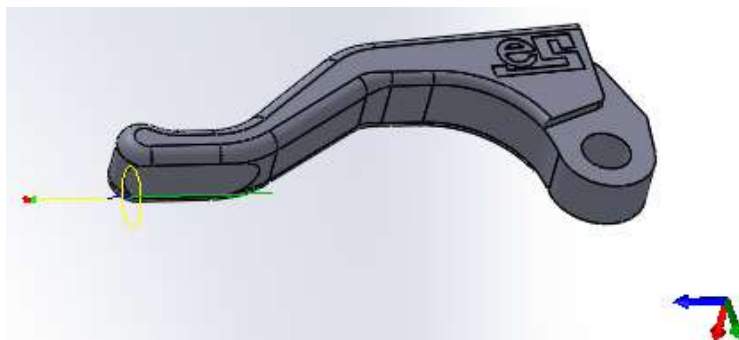


## Vrtání 1

Poslední operací, kterou bude provádět stávající nástroj (12 mm fréza), je obrobení zaoblení v rovině kolmé na vrchní plochu obrobku. Zaoblení má poloměr 6 mm,

proto se přímo vybízí volba tohoto nástroje. K tomu bylo využito indexované programování ve funkci Vrtání, kde se nastavila orientace nástroje přímo označením vrtané plochy.

Obrázek 16: Vrtání 1

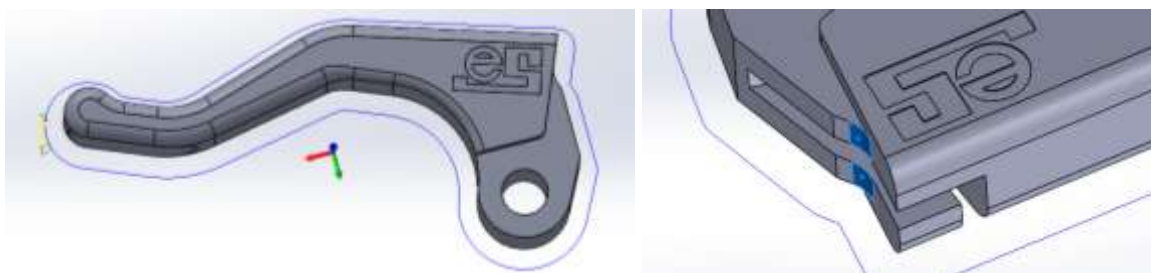


### Kontura 3

Obrobení obvodu součásti načisto stávajícím nástrojem by šlo dosáhnout pouze za předpokladu změny modelu, protože je v jednom místě, modře zvýrazněném na obrázku 17, použito zaoblení R5 mm. Proto byl zvolen další nástroj, a to třízubá TK fréza o průměru 8 mm, broušená na obrábění hliníku.

Daná operace by šla provést i větší frézou průměru 10 mm, ale ta by pak zbytečně procházela „šokem“ v místě nejmenšího poloměru zaoblení, ten by totiž byl roven poloměru frézy. Tímto by mohlo docházet v onom místě ke zhoršené jakosti povrchu.

Obrázek 17: Kontura 3



### Kontura 4, Kontura 5

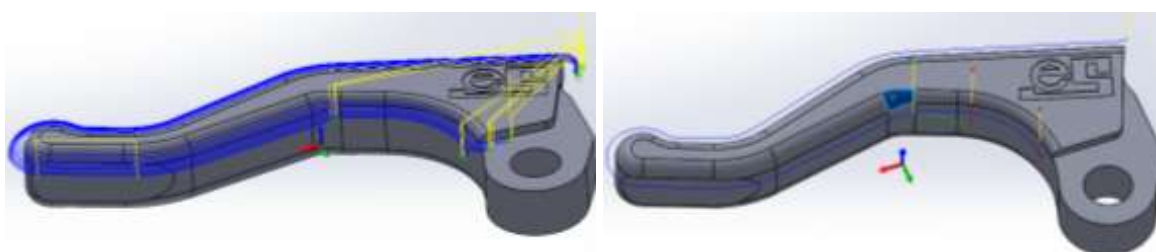
Dalším krokem je obrobení vnějších zaoblených hran. To je možné udělat dvěma způsoby. Prvním je použití 3D frézovací operace, konkrétně Konturové, spolu s toroidní nebo kulovou frézou a vykopírovat sražení po určitém výškovém kroku v nastavených hranicích. Druhý způsob je sražení tvarovými - vydutými frézami ve dvou 2D operacích.



Ovšem zde nastává problém v místě vyznačeném modře na pravé části obrázku 18, kde dochází k plynulému napojení sražení R3 mm na sražení R2 mm, při této technologii nelze zaručit přesný tvar přechodu jako je na 3D modelu.

Po naprogramování obou variant byl zjištěn propastný časový rozdíl ve prospěch vydutých fréz (což je i na první pohled patrné z obrázku 18). Proto bylo zvoleno obrábění po 2D kontuře právě jimi. Také bylo rozhodnuto zanedbat přesný tvar přechodu a docílit jen opticky přijatelného napojení. Toho bylo dosaženo nastavením nájezdového poloměru R20 mm.

Obrázek 18: Porovnání 2D a 3D srážení hran



Vlevo: Konturové 3D obrábění - toroidní fréza, vpravo: 2D kontura - vydutá fréza

## Vrtání 2, Vystružování

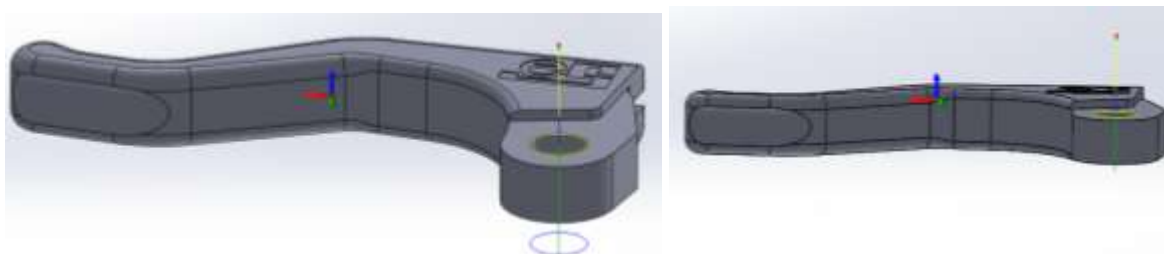
Otvor pro uložení, na kterém se následně bude páka otáčet, má být dle výkresové dokumentace průměr 10H7. I zde může být zvoleno několik možných strategií. První je vyvrtání díry vrtákem a následné vystružení, druhou vyvrtání díry vrtákem a následné obrobení načisto 8mm frézou použitou v dalších operacích. S druhou variantou by byl menší počet nástrojů a s tím spojené časové úspory při výměně, ale také při měření nástroje. Převažující ztráta by ovšem vznikla při odladování programu - seřizování na přesný rozměr. Proto byla upřednostněna první varianta a otvor byl vyvrtán 9,8 mm tvrdokovovým vrtákem (obrázek 19 vlevo) a později vystružen HSS výstružníkem 10 H7 (obrázek 19 vpravo).

Díra byla vyvrtaná najednou bez lámání třísky, skrz celý polotovar, aby bylo dosaženo lepšího vyplachování třísek při vystružení. Řezné podmínky byly zvoleny dle doporučení výrobce, tedy dodržení posuvu na otáčku 0,12 mm.

Pro vystružování byla použita funkce Vrtání, kde byla v nabídce cyklus vybraná možnost: Vystružování - vyjet ven, díky níž se výstružník po dojetí na dno díry nevrací ven

rychloupodem, nýbrž zvoleným pracovním posuvem. Hloubka vystružení byla nastavena 3 mm pod spodek díry kvůli sražené hraně na ostří výstružníku.

Obrázek 19: Vrtání 2, Vystružování

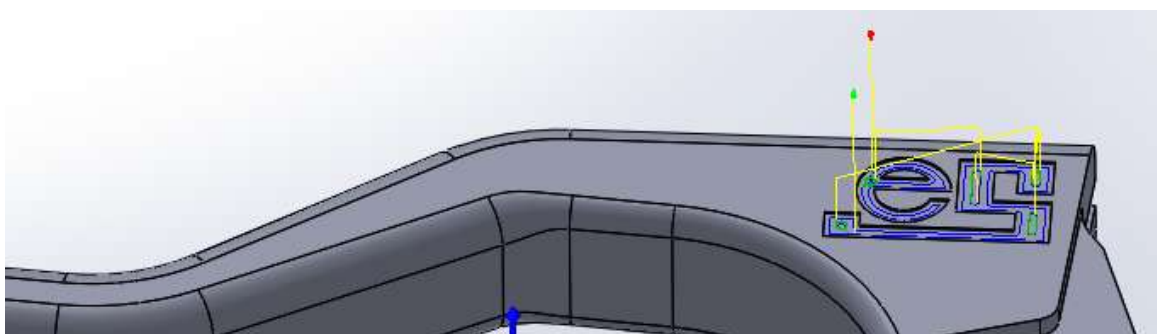


### Vodorovné

Pro tvorbu loga byla vybrána tato 3D operace, protože je schopná automaticky obrobít jen rovinné plochy ve zvoleném výškovém rozsahu a nemusí se označovat hrany, jako by tomu bylo při použití 2D Kapsy. Jako nástroj byla použita, již zmíněná, TK dvoubřitá fréza o průměru 1 mm, kvůli zachování co nejostřejších rohů. Jelikož maximální otáčky vřetena jsou pouze  $8000 \text{ min}^{-1}$ , tak musí být zvolen jen velmi malý posuv a operace je poměrně časově náročná - cca 2 minuty.

Proto byl tento nástroj upnut do zrychlovací hlavy Benz, pořízené jako příslušenství ke stroji. Hlava je vybavena planetovou převodovkou o výsledném převodovém poměru 1 : 5, to znamená, že s ním lze na tomto stroji dosáhnout až  $40\,000 \text{ min}^{-1}$ . Tato operace se s ním stává časově přijatelnou.

Obrázek 20: Vodorovné - obrobění loga

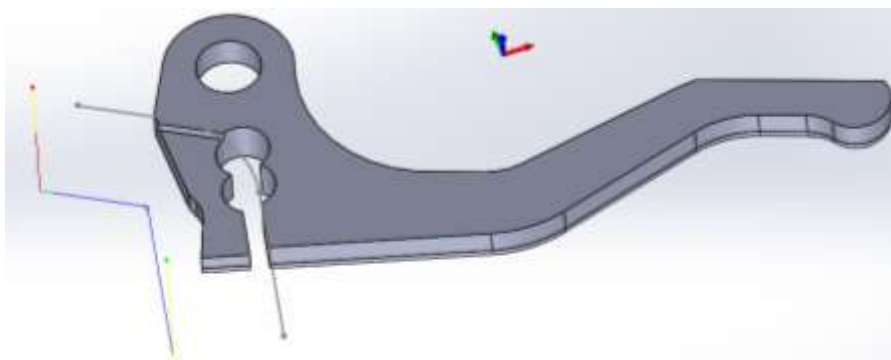


### Kontura 6

Tělo páčky je v prostředku kolmo na vrchní plochu rozříznuté pro vstup lanka ovládání spojky - obrázek 21 v řezu. Tuto šterbinu nelze obrobit jinak než kotoučovou frézou o správném průměru, který je volen s ohledem na hloubku proříznutí, ale také na poloměr vyjetí nástroje z materiálu. Na modelu je vytvořená geometrie, kterou nelze přesně dodržet. Jako kompromis byla vybrána HSS kotoučová fréza o průměru 34 mm a tloušťky odpovídající zářezu, tedy 3 mm. V CADu musela být vytvořena pomocná řídicí kontura (na obrázku v šedivé barvě) optimalizovaná pro bezpečný nájezd/odjezd, ale především pro dostatečné proříznutí obrobku.

Fréza má spoustu zubů a není podbroušená, proto bylo s ohledem na možné zacpání zubů a případnou havárii preferováno nesousledné frézování.

Obrázek 21: Kontura - řez pákou, pomocná kontura



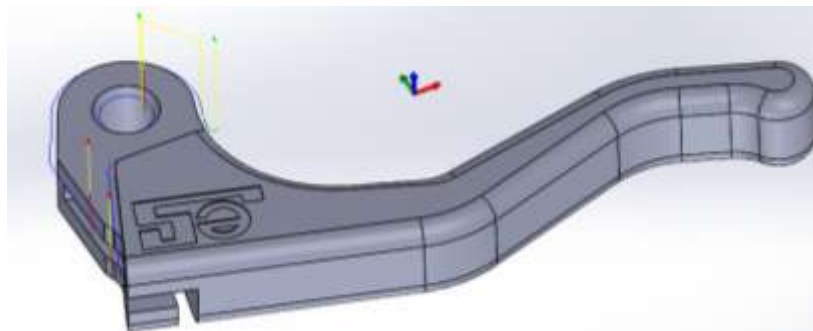
### Kontura 7, Kontura 8

I přesto, že na modelu nejsou všechny hrany sražené, je vhodnější srazit je strojně, než po obrobení ručně. Nelze tak totiž docílit pravidelných hran jako na stroji, nehledě na strávený čas.

U některých hran, které končí stěnou, nelze sražení provést až do rohu, a tak se musí dráha zkrátit o část poloměru nástroje. Pro tyto případy je proto vhodné vybrat srážecí frézu co nejmenšího průměru. Zde byla vybrána fréza 4x45°, která těmto požadavkům vyhovuje.

Pro tyto účely se používá právě 2D kontura, kde se po zvolení srážecí frézy v knihovně nástrojů automaticky zaškrtně funkce strážení hran. Tam byla zadána velikost požadovaného sražení 0,1 mm a přesazení špičky nástroje od hrany 1 mm.

Obrázek 22: Kontura 7,8 - srážení hran

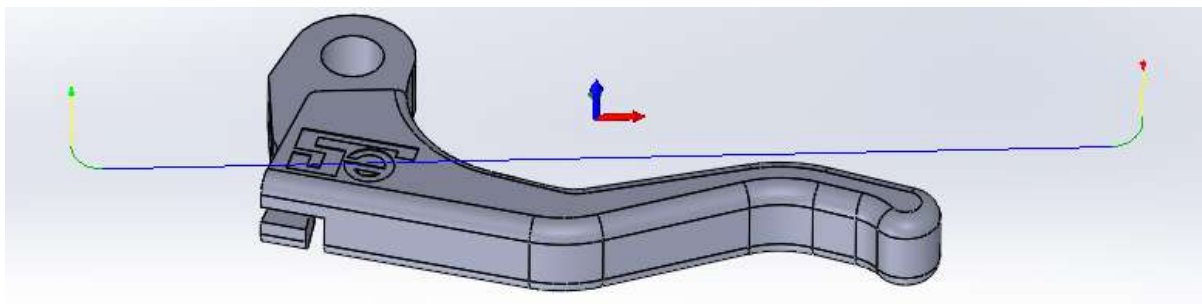


## Čelo 2

Tato závěrečná operace byla zmíněna již na začátku. Slouží k začištění vrchní plochy po frézování. Byl zadán přejezd nástroje (roven jeho poloměru - tedy 25 mm) přes konec plochy pro dosažení jednolitého povrchu dobré jakosti bez viditelných odjezdů.

I přesto, že operace se stejným nástrojem nejsou v programu za sebou, tak nedochází k výměně nástroje navíc, protože jsou operace na začátku a na konci, takže po ukončení obrábění jednoho kusu zůstane nástroj ve vřetenu připravený na začátek opětovného spuštění programu.

Obrázek 23: Čelo - závěrečné začištění



## 6.6 Programování - druhé upnutí

Jak už bylo nastíněno na začátku této kapitoly, druhé upnutí bylo provedeno pomocí vyrobeného přípravku (obrázek 10). Výroba jeho těla proběhla na konvenční frézce FNGJ 32 s přidaným odměřováním, upínací prvky vyjma šroubů byly vysoustruženy. Rozteče všech děr byly navrhnuty a změřeny v CAD/CAM systému na modelu. Opěrný čep (šedá kružnice na obrázku 24) byl na páce umístěn do zaoblení,

aby docházelo k plošnému, nikoliv bodovému styku se součásti. Ten by totiž mohl porušit a znehodnotit povrch součásti.

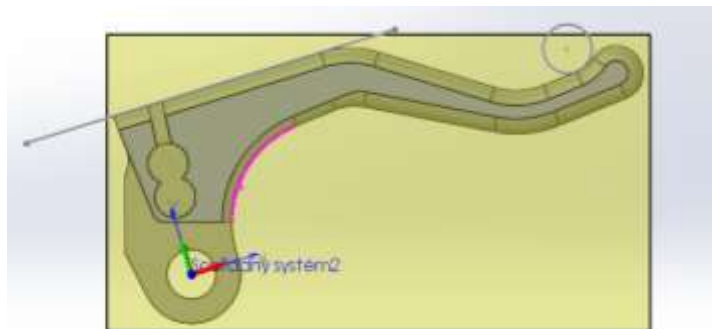
## Projekt 2

Pro obrábění z druhé strany musel být založen nový projekt. V něm byl definovaný opět stejný polotovaz jako u projektu 1, s rozdílem jeho výšky, která musela být zmenšena o obrobenou část.

Změna nastala v umístění souřadného systému a v jeho nynější orientaci vůči obrobku. Nejvýhodnější pro druhé upnutí, z pohledu přesnosti a snadnosti naměření, bylo jeho umístění na spodní obrobenou stranu, do středu otvoru 10H7, kde součást doléhá na desku přípravku. Pro zmenšení rozměrů přípravku byla zvolena jiná orientace obrobku než u prvního upnutí, kde byly hrany polotovaru rovnoběžné s osou X. Zde se určila rovnoběžnost této osy s rovnou hranou páky - šedivá čára na obrázku 24.

Dále bylo vyplněno pole Název: PACKA\_2U (2U = druhé upnutí).

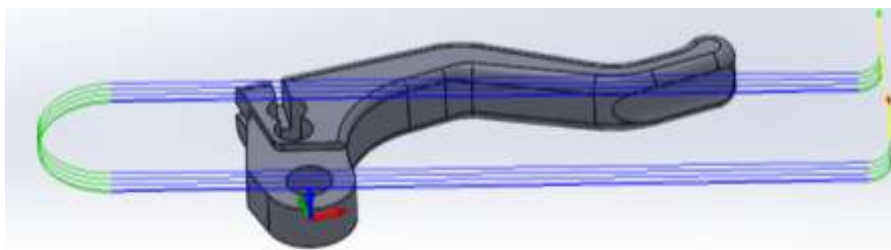
Obrázek 24: Polotovaz a orientace - Projekt 2



## Čelo 4

Jako první je potřeba odstranit přídavek na upnutí, který zbyl na součásti po předchozím obrábění, ten činí cca 5,5 mm. Pro tento účel bylo využito jednoduché 2D operace Čelo. Jelikož není upnutí tohoto typu tak pevné jako ve svěráku, bylo zvoleno obrobení na více hloubek po 1,5 mm a dokončovací krok 0,5 mm. Polotovaz je nyní šikmo vůči ose X a je vhodné tomu přizpůsobit dráhy, proto byl zadán směr průchodu úhlem 18° odpovídající natočení.

Obrázek 25: Čelo 4



### **Kontura 9, Kontura 10**

Tyto operace jsou v podstatě shodné s Konturou 1 a Konturou 2, akorát se provádí na opačné straně součásti. Proto byly zkopírovány z předchozího projektu. Pro jednoduchost byla ponechána i označená kontura a upravila se pouze výška obrábění.

Kopírování nebo duplikování stávajících operací bývá výhodné, nejen když je stejná dráha, jako v tomto případě, ale také u obdobných operací, pro které by se muselo nastavovat spoustu stejných parametrů.

Obrázek 26: Kontura 9, Kontura 10



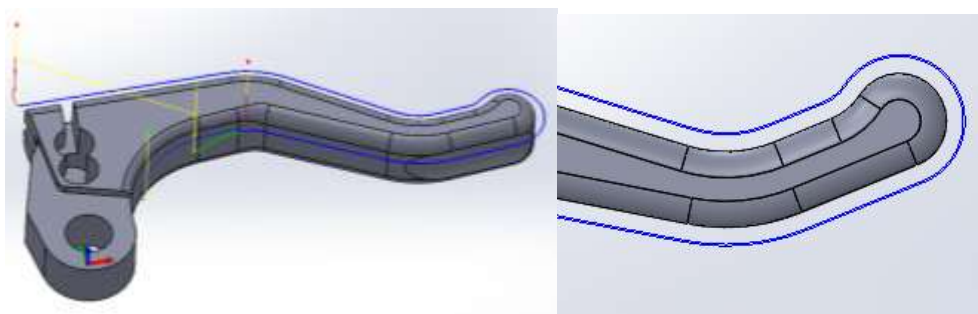
### **Kontura 11, Kontura 12**

Obdobné jsou i operace pro frézování hran vydutými frézami a je nutné dodržet stejný tvar přechodu mezi R3 a R2. Při použití sousledného frézování je nutné, po zkopírování Kontury 4 (fréza R3), předělat nastavení nájezdu a odjezdu. Přechod zaoblení se nyní nachází v oblasti odjezdu nástroje, proto byl zde nastaven odjezdový poloměr R20 mm.

V obou případech byl zadán přídavek 0,05 mm v radiálním i axiálním směru. Ten je nezbytný k pokrytí tolerance upnutí, neboť obvod je obrobený již z první strany a při druhém upnutí může dojít k drobným odchyškám, které by znamenaly možné zajetí frézy dříkem do obrobku a zanechání stop. Samotný svěrák má toleranci upnutí v ose Y  $\pm 0,02$  mm a přípravek bude mít další chybu v rámci několika setin milimetru.

Další změnou u té stejné operace bylo přidání dokončovacího průchodu. Přípravek totiž v oblasti ztenčení páčky nedokáže vyvinout takovou upínací sílu, aby měla hrana požadovanou jakost povrchu jen s jedním průchodem načisto. Proto zde byl přidán jeden průchod. Ten v první fázi způsobí, dá se říci vyhrubování hrany s nastaveným radiálním přírůstkem 0,1 mm a při druhém průchodu ji obrobí načisto.

Obrázek 27: Kontura 11, Kontura 12



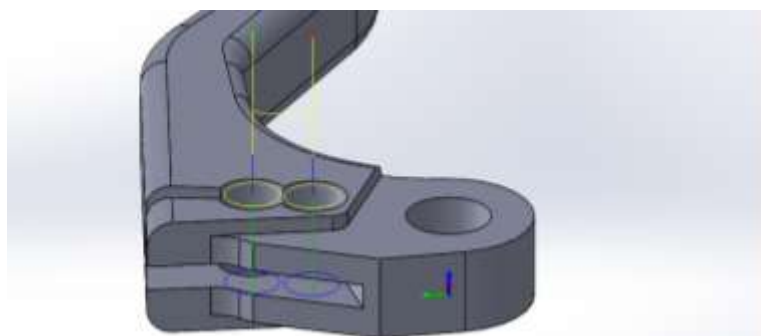
### Vrtání 3

Na této straně páky se nacházejí dva otvory s rovným dnem pro uložení válečku lanka spojky. Ty by se daly pomocí vyvrtávání rovnou obrobít frézou, ale fréza by trpěla nedostatečným vyplachováním, proto bylo zvolené předvrtání vrtákem před samotným vyvrtáváním frézou.

Otvory jsou velmi blízko u sebe a průměry se překrývají, kvůli tomu byl vybrán TK vrták 6,5 mm, který vyvrtá obě díry tak, aby mezi nimi zůstala stěna a vrták nebyl namáhaný v radiálním směru.

Hloubka děr je 12 mm, tedy necelé dva průměry použitého vrtáku, proto bylo zvoleno opět vrtání bez lámání třísky a návratu.

Obrázek 28: Vrtání 3



## Vyvrátání

K obrobení otvorů načisto po předchozím předvrtání byla zvolena 2D funkce Vyvrátání, protože díry mají rovné dno a průměr 8,3 mm. Kvůli necelému rozměru je nelze jen vyvrtat frézou.

Pro operaci byla vybrána TK fréza 8 mm průměr, která v předchozím projektu obráběla obvod dílu. Rozteč závitů šroubovice pro vyvrátání byla zadána 2 mm, jelikož je díra jen o 0,3 mm větší než nástroj. V případě zadání vyšší hodnoty stoupání je už šroubovice příliš příkrá.

Obrázek 29: Vyvrátání



## Kontura 13

Pro možnost nasazení spojovacího lanka do páky je ve vrchní ploše 3 mm drážka do hloubky 5,5 mm, kde je prořízlá kapsa od kotoučové frézy. Tato operace má dvě možná řešení. První je použít znovu kotoučovou frézu a indexově naprogramovat dráhu 2D konturou. Druhou možností je zvolit nový nástroj - frézu o průměru 3 mm a vyfrézovat tento prostor kolmo na horní plochu.

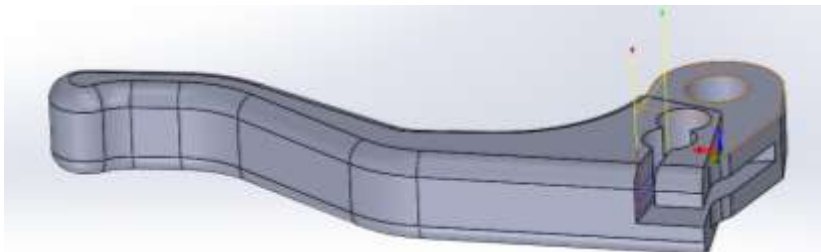
Z hlediska časové náročnosti by byla zřejmě vhodnější první varianta, u té ovšem nastává problém s tuhostí obrobku, jelikož už je prořízlý. Materiál je v tomto místě zeslabený a při obrábění kotoučovou frézou by mohlo docházet k chvění, které by mělo za následek otupení nástroje a zhoršenou kvalitu povrchu.

Z výše uvedených důvodů proto byla preferována druhá možnost - třízubá TK fréza na hliník o průměru 3 mm, naprogramovaná za pomoci Kontury. U té bylo využito obrábění na více hloubek a zadán maximální hrubovací krok dolů 2 mm. Opět bylo zaškrtnuto políčko pro stejnoměrné kroky. Také byly upraveny nájezd a odjezd na kolmý,



aby zbytečně neprotahoval dráhu nástroje. Označená kontura byla tečně protažena o 2 mm pro nájezd/odjezd mimo materiál.

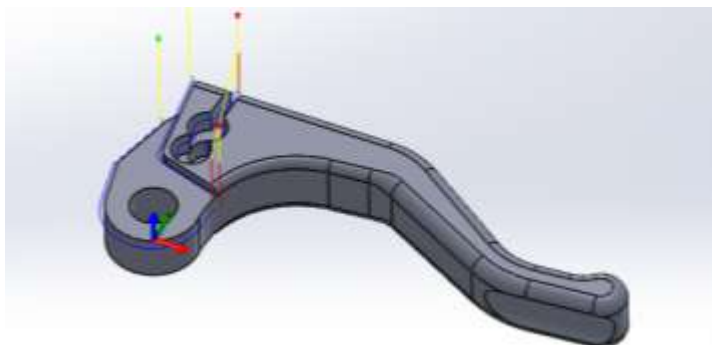
Obrázek 30: Kontura 13



### **Kontura 14, Kontura 15**

Posledními operacemi projektu jsou kontury srážecí frézou 4x45°. Operace jsou obdobné jako z první strany, s tím rozdílem, že nebyla označena hrana otvoru 10H7, protože se v ní nachází upínací čep přípravku a došlo by mezi ním a frézou ke kolizi. Navíc je označená hrana spojující otvory 8,3 mm a 3 mm drážku. Srážení je rozděleno opět na 2 samostatné operace z důvodu nutnosti zkrácení (zápornou hodnotou tečného protažení) jedné hrany končící rohem.

Obrázek 31: Kontura 14, Kontura 15

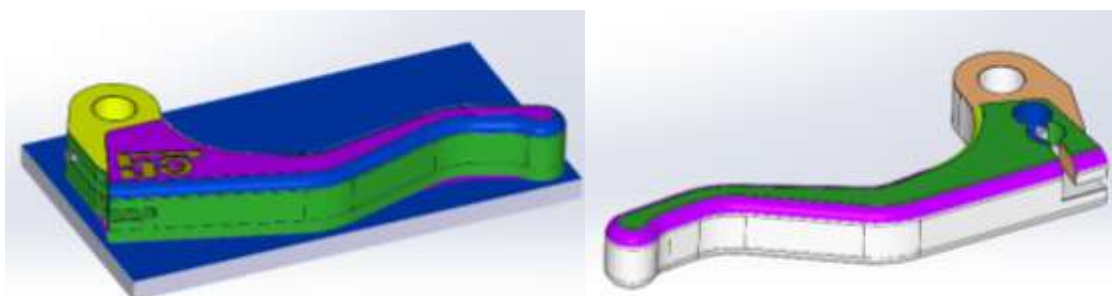


## **6.7 Verifikace polotovaru**

Po kompletním naprogramování byla pro kontrolu provedena verifikace polotovaru a následně porovnání obrobeneho polotovaru s modelem. V nastavení byl pro přehlednost zvolen režim těles. Dále pak zobrazení tělesa a kompletního nástroje i s držákem. Kvalita vykreslování simulace byla nastavena na maximum a rychlost přehrávání na polovinu.

Jednotlivé operace jsou od sebe odlišeny různými barvami, což je zřetelné z obrázku 32, na kterém je vlevo dokončená verifikace Projektu 1 a vpravo Projektu 2. Po verifikaci první obráběné strany byl uložen polotovaru, který se následně načetl před simulováním druhé strany. Díky tomu je pak možné udělat porovnávací analýzu na celém modelu najednou.

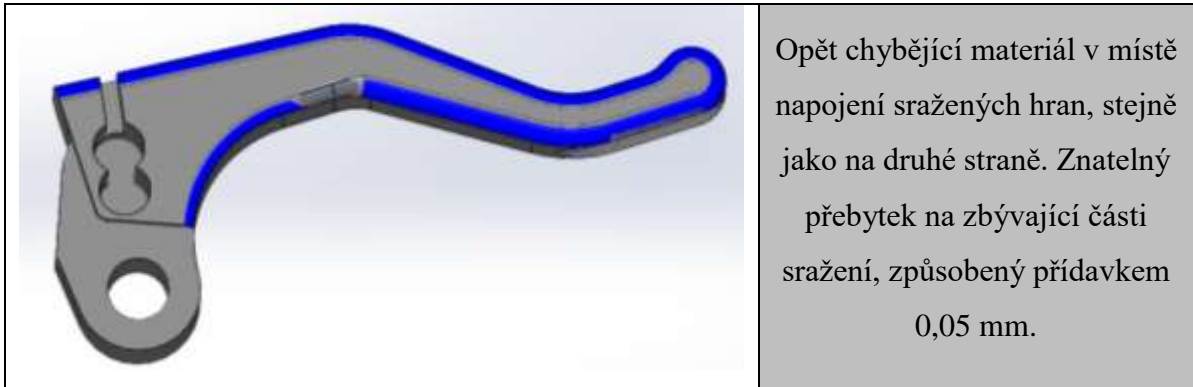
Obrázek 32: Verifikace polotovaru



Pro následné porovnání aktuálního polotovaru s modelem byl zvolen počet kroků porovnání 1 (kvůli jasnosti barev) a samotný krok porovnání 0,1 mm. Chybějící materiál je vyznačený červenou barvou a přebývající modrou. Výsledek je zobrazen v tabulce 6, ze kterého jsou zřejmé všechny nedostatky.

Tabulka 6: Výsledek porovnání obrobeneho polotovaru a modelu

	<p>Zde je na první pohled vidět chybějící materiál kvůli napojení zaoblení a naopak drobný přebytek na samotné zaoblené hraně R2.</p>
	<p>Na tomto pohledu jsou zřejmé jen opravdu nepatrné, zanedbatelné přebytky v místě strážené hrany R3</p>



## 6.8 Postproces

Po dokončení simulace bylo přistoupeno k postprocesu nejprve projektu 1 a následně projektu 2. Programy byly uloženy pod předem zadanými názvy v projektech. Počítač,

na kterém se programovalo, byl spojený se strojem pomocí sítě, proto lze generované programy uložit do sdílené složky a jsou okamžitě k dispozici na stroji. Po postprocesu se automaticky otevře editor s vytvořeným NC kódem. V tom je možné ho ručně upravovat, toho bylo využito pro dodatečné naprogramování odjezdu včetně po poslední operaci programu. Je to vhodné pro lepší přístup ke svěráku při výměně polotovaru.

## 6.9 Příprava před obráběním

Příprava před obráběním zahrnovala upnutí nástrojů do vhodných držáků, měření nástrojů, upnutí svěráku a naměření nulového bodu obrobku.

Všechny nástroje použité v obou projektech byly vyhledány ve skladu a následně postupně upínány do vhodných držáků. Při volbě držáků bylo dbáno na zajištění co nejvyšší tuhosti upnutí nástroje, tzn. použití co nejkratších držáků a následné zasunutí nástrojů co nejhlouběji do nich. Jedinou výjimkou byla 12 mm fréza, která je použita v operaci s polohováním stolu. V těchto případech bývá potřeba delší držák, aby pak nástroj dosáhl na obrobek.

Po upnutí se všechny nástroje začaly jednotlivě vkládat do zásobníku podle čísel v programu. Pro tuto operaci je vhodné si v CAMu vytvořit seřizovací list, kde jsou vypsané všechny nástroje a jejich vlastnosti, včetně čísel. Pořadí nástrojů bylo zvoleno

podle naprogramovaných operací, tak jak jdou za sebou, aby se zamezilo dlouhým prodlevám při jednotlivých výměnách nástrojů během programu.

K měření nástrojů byla použita již zmíněná nástrojová sonda Renishaw. Každý nástroj byl nejprve přibližně změřen hloubkoměrem od vřetena, tato hodnota zapsána do knihovny nástrojů v systému stroje. Spolu s ní byly navoleny i další informace jako například typ nástroje, poloměr, úhel čela apod. Následně byl pro každý nástroj spuštěn automatický cyklus měření délky. Po kontaktu se sondou je automaticky změněn délkový údaj za přesný od sondy.

Před samotnou instalací svěráku na stůl frézky bylo nutné obě dosedací plochy důkladně očistit pro zachování přesnosti. Po přišroubování byla provedena kontrola rovnoběžnosti čelisti svěráku s osou x pomocí obrobkové sondy. Naměřená odchylka na celé délce čelisti byla 0,006 mm, takže vyhovující.

Na svěrák byl přišroubován doraz pro polotovary, umístěný mimo působíště nástrojů. Mezi čelisti byly vloženy podložky, na které dosedá polotovar. Ty musejí být o 4 mm nižší než čelisti, dle uvažovaného přídatku na upnutí.

Před vložením polotovaru do svěráku byl sondou změřen jeho střed upínání v ose Y, následně pak na ustaveném polotovaru byl změřen střed a výška (souřadnice X, Z). Tím byl definovaný nulový bod obrobku.

## **6.10 Obrábění - odladění programu**

Po všech předchozích úkonech bylo možné načíst program: PAKKA\_1U a spustit obrábění. Potenciometr pro ovládání rychloposuvu byl nastaven na polovinu pro pomalejší přejezdy za účelem odhalení případné chyby v programu ještě před kolizí. Takto zpomaleně a opatrně se projel celý program.

Po ukončení obrábění byla provedena optická kontrola jakosti povrchu a také proběhlo měření díry 10H7 tříbodovým dutinoměrem. Výsledkem měření byla hodnota 10,006 mm, takže vyhovující z hlediska tolerance, která je - 0.000 až + 0.015. Opticky byla součást také v pořádku. Na obrázku 33 je vidět skutečný stav součásti po obrobení z první strany.

U některých nástrojů bylo potřeba optimalizovat rezné podmínky. Po jejich změně v knihovně nástrojů CAMu byl vytvořen nový program, který lze považovat za odladěný a lze pomocí něj obrobit požadovaný počet polotovarů.

Obrázek 33: Stav součásti po obrábění z první strany



Po upnutí přípravku pro obrobení druhé strany bylo nutné přeměřit nulový bod obrobku, který byl přesunut na upínací čep a odsazenou plochu přípravku. To bylo opět uskutečněno nástrojovou sondou.

Dále byl načten program PACKA\_2U a zapnut. Po opatrném projetí celého programu byla zkontrolována jakost povrchu, která vyhovovala.

Následně se tímto programem obrobily všechny rozpracované kusy. Každý byl vždy v čase obrábění dalšího polotovaru, kdy běžel stroj, znovu důkladně prohlídnut a ručně odjehleny případné zbylé otřepty. Výsledný vzhled součásti je vidět na obrázku 34.

Obrázek 34: Hotová součást



## 6.11 Odhadovaný a skutečný čas

Součástí funkce verifikace nebo simulace v systému HSMWorks je i poskytnutí statistických údajů o jednotlivých naprogramovaných operacích nebo celých projektech. Mezi tyto informace patří objem polotovaru, vzdálenost obrábění (to je dráha, kterou při obrábění ujede nástroj) a ta nejpoužívanější - čas obrábění.

Časový údaj je často využíváný pro porovnávání jednotlivých operací při samotném obrábění nebo jako vodítko při určování ceny výroby součásti ještě před samotným obráběním.

Ovšem systém nebere v potaz všechny skutečnosti nastávající při reálném obrábění. Proto může tento čas být rozdílný oproti skutečnému. Tak tomu bylo i v případě této vyráběné součásti, všechny údaje jsou zaznamenány v tabulce 7.

Tabulka 7: Statistické údaje a skutečný čas

Údaj	1. upnutí	2. upnutí
Objem polotovaru	132 cm <sup>3</sup>	36,3 cm <sup>3</sup>
Vzdálenost obrábění	6666 m	3926 m
Odhadovaný čas	9 min 39 s	5 min 35 s
Skutečný čas	10 min 8 s	5 min 48 s

## 7 Uživatelské prostředí CAD/CAM systémů

Z hlediska samotného programátora CNC strojů v CAD/CAM systémech je velice důležité, aby mu software, ve kterém pracuje, vyhovoval, protože pak dokáže pracovat rychleji a efektivněji.

### 7.1 HSMWorks

Jak už bylo uvedeno výše, jedná se o CAM modul integrovaný do plnohodnotného a profesionálního CADu, což je výhodné, protože tvorba modelu i programování probíhá v tom samém prostředí. To je spojeno i aktualizací provedených změn, kdy spolu oba moduly neustále komunikují a změny provedené na modelu se ihned promítnou v naprogramovaných drahách.

Konkrétní verze představovaného systému je HSMWorks Professional 2016 a SolidWorks 2015 se zakoupenou licencí pro komerční použití.

Po spuštění softwaru se zobrazí základní okno SolidWorks, které obsahuje pouze pár ikon na horní jednořádkové liště. Až po otevření požadovaného modelu k programování nebo po započnutí tvorby nového se otevře plnohodnotné okno se všemi nástroji, jak je vidět na obrázku 35. Automaticky se okno otevře se zobrazenou CAM lištou a jejími nástroji, kde jsou okamžitě vidět podskupiny obráběcích strategií: Vrtání, 2D Frézování, 3D Frézování, Soustružení, popř. vícesé frézování, které použitá verze neobsahuje. Vlevo pod lištou je strom (FeatureManager) operací, ve kterém se zobrazují všechny operace spojené s úpravou modelu. Po překliknutí na ikonu frézy (CAMManager) se v tomto stromu zobrazí automaticky předvolený projekt.

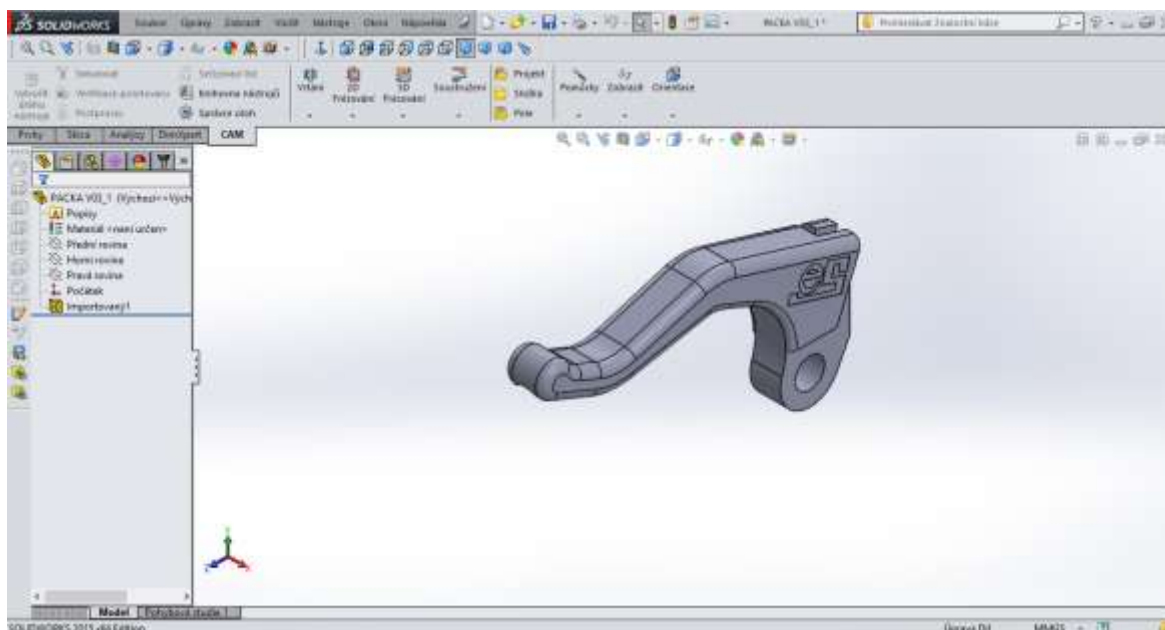
V případě kliknutí na jakoukoliv obráběcí operaci se levá část přepne na PropertyManager s nabídkou výběru nástroje a dalšími položkami (geometrie, výšky, průchody, napojování). Při najetí myší na většinu ikon nebo názvů polí se ihned zobrazí nápověda vysvětlující danou funkci. Nápověda je tvořena textem nebo i názornými obrázky, které ukazují, co se stane po změně nastavení.

S modelem se dá pohybovat myší, točením kolečka se přibližuje/oddaluje a při stisknutí kolečka lze s modelem libovolně otáčet. Při stisknutí pravého tlačítka a pohybem do stran se dá model uvést do jednoho ze čtyř kolmých pohledů. V nabídce nad modelem je možné zvolit pohled z jakékoliv strany, v nabídce je i pohled izometrický,

trimetrický, dimetrický a také možnost volby pohledu kolmého k zadané ploše. Dále je zde možnost pohledu na součást v řezu, ve kterékoliv nastavené rovině.

V nabídce Nápověda jsou umístěny výukové materiály a to jak pro CAM, nazvané SolidWorks kurzy, tak i pro CAM - HSMWorks výuka. Po zvolení jednoho z nich se otevře nové okno vedle stávajícího a pomocí odkazů lze zvolit požadovanou problematiku. Materiály jsou kompletně v českém jazyce.

Obrázek 35: Prostředí HSMWorks



## 7.2 Surfcam

Tento systém je také popsán již dříve, v literární rešerši. Jedná se primárně o CAM software s možností jednodušších úprav programovaného modelu, vytvořeného v jiném externím CADu. Při nutných větších úpravách modelu kvůli naprogramování to může způsobovat zbytečná zdržení, nehledě na to že počítač bude najednou zatížen dvěma složitými softwary.

Posuzovaná verze systému je Surfcam Traditional 2016 ve studentské DEMO verzi určené k výuce.

Po zapnutí tohoto softwaru se zobrazí šedivé okno uprostřed se souřadným systémem a v horní části s několika řádky důrazně velikých ikon. Po otevření modelu

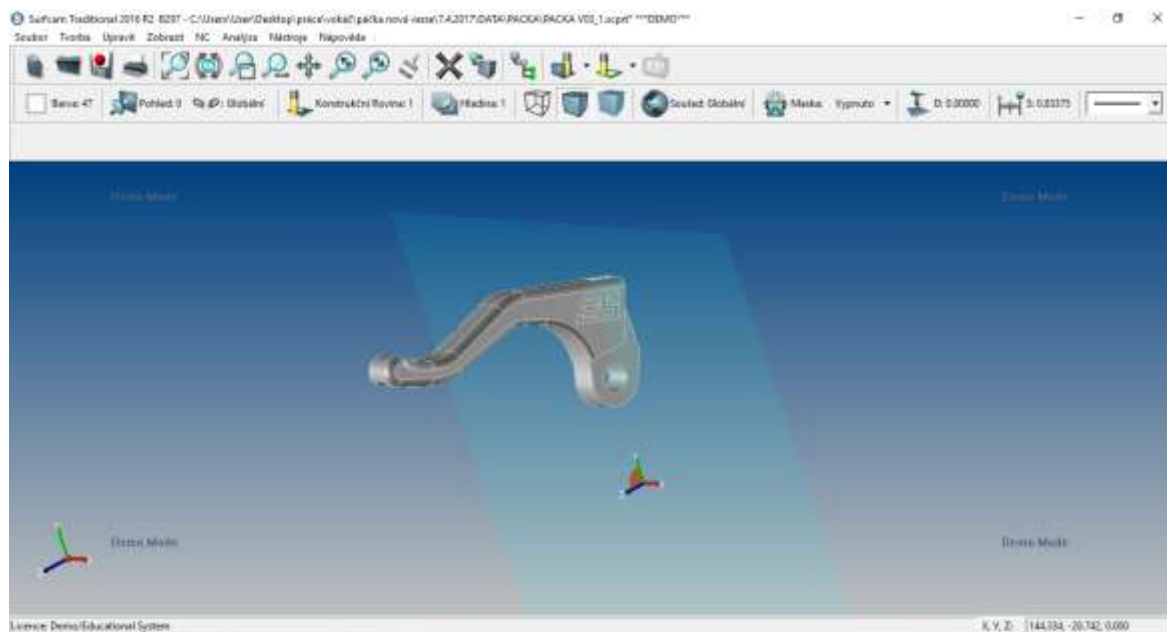


se zobrazí okno s nastavením importovaného souboru, kde se dají zvolit objekty importu, ořezání ploch, barvy apod. Po vybrání vhodných možností a odsouhlasení proběhne extrahování dat a model se otevře, ovšem v tomto případě v poněkud zvláštní rovině. Nad zmíněnými ikonami se nachází menu NC, ve kterém jsou rozděleny obráběcí operace na následující položky: 2osé, 3osé, 4osé, 5osé, soustružení, drátořez, Mill/Turn. Po zvolení některé z operací se ve volné liště pod ikonami zobrazí nabídka pro výběr řetězce, po určení geometrie na modelu se otevře nové okno pro nastavení samotné operace. Nachází se zde tři hlavní nabídky - Informace o Nástroji, Kontrola Obrábění a Výchozí. V kontrole obrábění je u většiny polí jednoduchá grafická nápověda. Manažer operací je možné otevřít zvlášť v novém okně.

S modelem lze pohybovat myší stejně jako u HSMWorks (točení kolečkem přiblížení/oddálení, držením kolečka otáčení) až na funkci pohledů, ta zde není.

Pro začínající uživatele je v tomto systému v menu Nápověda výukový materiál s názvem Začínáme. Po jeho otevření se automaticky zobrazí přes celou obrazovku PDF soubor s podrobně sepsaným anglickým návodem.

Obrázek 36: Prostředí Surfcam



## 8 Závěr

Tato diplomová práce je zaměřena především na programování CNC strojů v CAD/CAM systémech. V úvodu teoretické části práce je představeno samotné obrábění, poté byly charakterizovány jeho základní parametry, se kterými se setkává každý obráběč i programátor.

Po těchto nezbytných informacích následuje kapitola věnovaná právě programování číslicově řízených strojů, kde jsou rozebrány všechny metody jak vytvořit NC kód pro tyto stroje. Spolu s nimi jsou uvedeny i jejich možnosti a určení použití. Ještě před tím jsou zmíněny také vztažné body a skladba programu.

V poslední části literární rešerše jsou představeny některé z používaných CAD/CAM systémů určených pro programování. U každého z nich jsou informace, na co je lze využít, jaké mají speciální hrubovací strategie a jiné zajímavosti. Celá tato část práce vychází převážně z článků odborných časopisů, kvůli získání co nejaktuálnějších informací.

V Systému HSMWorks bylo kompletně naprogramováno obrábění součásti, kterou byla speciální spojková páka na motocykly. Každá ze zvolených strategií byla optimalizována, náležitě odůvodněna a popsána. U některých z nich jsou uvedeny variantní řešení, včetně jejich nevýhod oproti zvolené strategii. Všechny naprogramované dráhy nástroje jsou pro lepší názornost doplněny příslušným obrázkem. Optimalizace daných operací vychází ze získaných zkušeností nebo vznikla experimentální cestou. Kromě samotného programování je zmíněna i volba přídatků polotovaru, metody upínání této součásti a postup při obrobení. Řezné podmínky nástrojů byly zvoleny s ohledem na možnosti stroje a také na fakt, že součást není určena ke hromadné výrobě. Hlavní prioritou byla jakost povrchu. U většiny operací nejsou řezné podmínky uvedeny, protože nemají vliv na tvorbu kvalitních drah a v případě potřeby časové optimalizace je lepší se jim věnovat zvlášť po odladění programu. Samotná výroba na CNC obráběcím centru proběhla v pořádku a bylo dosaženo požadovaných parametrů.

Ze stroje byly získány skutečné časy obrábění, které byly v rámci desítek sekund vyšší než ty odhadované CAM systémem. To je zřejmě způsobeno tím, že software nemá k dispozici přesné informace například o časové náročnosti výměny nástrojů nebo polohování stolu daného obráběcího centra. Tyto údaje jsou proto vhodné pouze jako orientační.

Na konci práce jsou porovnána uživatelská prostředí dvou různých CAD/CAM softwarů. Surfcam je v porovnání s HSMWorks celkově méně intuitivní a příjemný na ovládání, také díky hranatým oknům působí dosti zastarale. Nepochybně se jedná o software na profesionální úrovni, ovšem z tohoto hlediska je propracovanější HSMWorks. Celkovému dojmu přispívá více použitých barev v menu a srozumitelnější ikony. Je i mnohem vstřícnější k začínajícím uživatelům díky své propracované nápovědě u každé operace a cvičným kurzům, ze kterých lze snadno čerpat informace a zkušenosti i bez školení. Tento druh podpory má i Surfcam, ale okno s nápovědou je otevřeno před samotný systém, a proto je obtížnější používat je zároveň.

## Seznam použitých zdrojů

- [1] ŘASA, Jaroslav a Vladimír GABRIEL. *Strojírenská technologie 3*. Praha: Scientia, 2000. ISBN 80-7183-207-3.
- [2] BYRNE, Patrick. *Turning, milling and grinding processes*. London: Arnold, 1996. Workshop technology series. ISBN 0-340-62503-1.
- [3] *Modern metal cutting: A practical handbook*. Sandviken: Sandvik Coromant, 1994. ISBN 91-972299-0-3.
- [4] NĚMEC, Dobroslav. *Strojírenská technologie 3: strojní obrábění*. 2. oprav. vyd. Praha: Nakladatelství technické literatury, 1982.
- [5] ŘASA, Jaroslav a Josef ŠVERCL. *Strojnické tabulky: pro školu a praxi*. Praha: Scientia, 2004. ISBN 80-7183-312-6.
- [6] HLUCHÝ, Miroslav a Jan KOLOUCH. *Strojírenská technologie 1*. 3., přeprac. vyd. Praha: Scientia, 2002. ISBN 80-7183-262-6.
- [7] Sandvik Coromant - Skupiny obráběných materiálů. Dostupné z: <https://www.sandvik.coromant.com>
- [8] HLUCHÝ, Miroslav a Jan KOLOUCH. *Strojírenská technologie 1*. 3., přeprac. vyd. Praha: Scientia, 2002. ISBN 80-7183-262-6.
- [9] ŠTULPA, Miloslav. *CNC: obráběcí stroje a jejich programování*. Praha: BEN - technická literatura, 2006. ISBN 80-7300-207-8.
- [10] ČSN ISO 841 Číslicové řízení strojů: terminologie os a pohybů = Numerical control machina - Axis and motion nomenclature.
- [11] SVOBODA, Evžen. *Technologie a programování CNC strojů*. Havlíčkův Brod: Fragment, 1998. Učebnice pro odborné školy. ISBN 80-7200-297-X.
- [12] *MM průmyslové spektrum: technický měsíčník pro Českou republiku a Slovensko*. Praha: Vogel Publishing, 2004/6, strana 46.
- [13] *MM průmyslové spektrum: technický měsíčník pro Českou republiku a Slovensko*. Praha: Vogel Publishing, 2004/1, strana 66.
- [14] Siemens - Programming example Shopmill. Dostupné z: <http://www.industry.siemens.com>
- [15] *MM průmyslové spektrum: technický měsíčník pro Českou republiku a Slovensko*. Praha: Vogel Publishing, 2001/4, strana 48.

- [16] 3epraha - Sufcam Traditional. Dostupné z:  
<http://www.3epraha.cz>
- [17] *MM průmyslové spektrum: technický měsíčník pro Českou republiku a Slovensko*. Praha: Vogel Publishing, 2005/9, strana 94.
- [18] Technický týdeník - Jeden CAM - různé platformy (Inventor, SolidWorks..).  
Dostupné z: <https://www.technickytydenik.cz>
- [19] Technický týdeník - HSMWorks: Jednoduše, rychle a efektivně.  
Dostupné z: <https://www.technickytydenik.cz>
- [20] Technika a trh - GibbsCAM. Dostupné z:  
<https://www.technikaatrh.cz>
- [21] Konstrukter - GibbsCAM 2015 posílí o knihovnu nástrojů Adveon.  
Dostupné z: <https://www.konstrukter.cz>
- [22] T-support - GibbsCAM. Dostupné z: <http://www.t-support.cz>
- [23] Technika a trh - GibbsCAM 2015-s novou technologií UKM. Dostupné z:  
<https://www.technikaatrh.cz>
- [24] Konstrukter - InventorCAM 2014 je rychlejší na více jádrech. Dostupné z:  
<https://www.konstrukter.cz>
- [25] Konstrukter - Měřicí sonda v systémech SolidCAM a InventorCAM.  
Dostupné z: <https://www.konstrukter.cz>
- [26] Technický týdeník - InventorCAM iMachining 3D: plně automatické 3D  
obrábění. Dostupné z: <https://www.technickytydenik.cz>
- [27] CAD.CZ - DP Technology uvedla nový CAM systém Esprit 2015.  
Dostupné z: <https://www.cad.cz>
- [28] Esprit CAM - Esprit 2017. Dostupné z: <https://www.espritam.cz>
- [29] Technický týdeník - ProfitTurning™ – CAD/CAM software budoucnosti.  
Dostupné z: <https://www.technickytydenik.cz>
- [30] Technika a trh - ESPRIT se stává inteligentnější. Dostupné z:  
<https://www.technikaatrh.cz>
- [31] CAD.CZ - ESPRIT 2013 přináší zvýšení produktivity obrábění. Dostupné z:  
<https://www.cad.cz>

## Seznam obrázků

Obrázek 1: Sousledné a nesousledné obrábění .....	4
Obrázek 2: Dráha nástroje při frézování čelní frézou .....	8
Obrázek 3: Skupiny obráběných materiálů.....	14
Obrázek 4: Kartézský souřadnicový systém .....	17
Obrázek 5: Uživatelské prostředí dílenského systému Shopmill.....	21
Obrázek 6: Nabízené verze softwaru Surfcam.....	24
Obrázek 7: Stroj DMG - DMU 50 eco.....	31
Obrázek 8: HSMWorks a HSMWorks Edit.....	32
Obrázek 9: Vyráběná součást - spojková páčka.....	33
Obrázek 10: Přípravek pro upnutí .....	34
Obrázek 11: Založený projekt - definovaný polotovar, souřadný systém .....	36
Obrázek 12: Obrábění čela .....	36
Obrázek 13: Kontura 1.....	37
Obrázek 14: Porovnání drah adaptivního obrábění .....	38
Obrázek 15: Kontura 2 – načisto .....	38
Obrázek 16: Vrtání 1 .....	39
Obrázek 17: Kontura 3.....	39
Obrázek 18: Porovnání 2D a 3D srážení hran.....	40
Obrázek 19: Vrtání 2, Vystružování .....	41
Obrázek 20: Vodorovné - obrobení loga.....	41
Obrázek 21: Kontura - řez pákou, pomocná kontura .....	42
Obrázek 22: Kontura 7,8 - srážení hran.....	43
Obrázek 23: Čelo - závěrečné začištění .....	43
Obrázek 24: Polotovar a orientace - Projekt 2.....	44
Obrázek 25: Čelo 4.....	45
Obrázek 26: Kontura 9, Kontura 10.....	45
Obrázek 27: Kontura 11, Kontura 12.....	46
Obrázek 28: Vrtání 3 .....	47
Obrázek 29: Vyvrtávání .....	47
Obrázek 30: Kontura 13.....	48
Obrázek 31: Kontura 14, Kontura 15.....	48

Obrázek 32: Verifikace polotovaru.....	49
Obrázek 33: Stav součásti po obrábění z první strany.....	52
Obrázek 34: Hotová součást .....	52
Obrázek 35: Prostředí HSMWork .....	55
Obrázek 36: Prostředí Surfcam .....	56

## Seznam tabulek

Tabulka 1: Hodnoty přesnosti a drsnosti pro soustružení.....	9
Tabulka 2: Hodnoty přesnosti a drsnosti pro frézování.....	9
Tabulka 3: Příklad struktury věty programu s konstantní délkou bloku.....	19
Tabulka 4: Příklad struktury věty programu s proměnnou délkou bloku .....	19
Tabulka 5: Nejpoužívanější přípravné a pomocné funkce.....	20
Tabulka 6: Výsledek porovnání obrobeneho polotovaru a modelu .....	49
Tabulka 7: Statistické údaje a skutečný čas .....	53