

# Výroba rozebíratelných spojů na CNC obráběcím stroji

Karel Hasoň

---

Bakalářská práce  
2013

 Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta technologická

---

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta technologická  
Ústav výrobního inženýrství  
akademický rok: 2012/2013

## **ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE**

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Karel HASONĚ**  
Osobní číslo: **T10092**  
Studijní program: **B3909 Procesní inženýrství**  
Studijní obor: **Technologická zařízení**  
Forma studia: **kombinovaná**

Téma práce: **Výroba rozebíratelných spojů na CNC obráběcím stroji**

Zásady pro vypracování:

- 1. Teoretická studie na dané téma**
- 2. Programování dílů pro CNC obráběcí stroj a verifikace programu**
- 3. Sestavení nástrojového a seřizovacího listu**
- 4. Výroba dílů na CNC stroji a kontrola**

Rozsah bakalářské práce:

Rozsah příloh:

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

[1] BRYCHTA, J. Výrobní stroje obráběcí. VŠB-TU Ostrava, 2003, 150 s. ISBN 80-248-0237-6.

[2] ŠTULPA, M. CNC Obráběcí stroje a jejich programování. BEN, Praha, 2008, ISBN 978-80-7300-207-7.

[3] JANDEČKA, K. Postprocesory a programování NC strojů. Ústí nad Labem, 2007.

[4] SMID, P. CNC Programming Handbook: a Comprehensive Guide to Practical CNC programming. Industrial Press Inc. New York, 2003, 508 p., ISBN 0-8311-3158-6.

[5] RAO, R. N. CAD/CAM: Principles and Applications. Tata McGraw-Hill Publishing Company Limited. 2006, 253 p., ISBN 0-07-058373-0.

[6] ADITHAN, M a B PABLA. CNC Machines. 2nd ed. New Delhi: New Age International Publishers, 2011, XI, 127 s. ISBN 81-224-2019-2.

Vedoucí bakalářské práce:

**Ing. Ondřej Bílek, Ph.D.**

Ústav výrobního inženýrství

Datum zadání bakalářské práce:

**8. února 2013**

Termín odevzdání bakalářské práce:

**17. května 2013**

Ve Zlíně dne 11. února 2013



doc. Ing. Roman Čermák, Ph.D.  
*děkan*



prof. Ing. Berenika Hausnerová, Ph.D.  
*ředitel ústavu*

## PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že

- beru na vědomí, že odevzdáním diplomové/bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby <sup>1)</sup>;
- beru na vědomí, že diplomová/bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k nahlédnutí, že jeden výtisk diplomové/bakalářské práce bude uložen na příslušném ústavu Fakulty technologické UTB ve Zlíně a jeden výtisk bude uložen u vedoucího práce;
- byl/a jsem seznámen/a s tím, že na moji diplomovou/bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3 <sup>2)</sup>;
- beru na vědomí, že podle § 60 <sup>3)</sup> odst. 1 autorského zákona má UTB ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- beru na vědomí, že podle § 60 <sup>3)</sup> odst. 2 a 3 mohu užít své dílo – diplomovou/bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování diplomové/bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tedy pouze k nekomerčnímu využití), nelze výsledky diplomové/bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem diplomové/bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Ve Zlíně 10.4.2013

  
.....

<sup>1)</sup> zákon č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, § 47 Zveřejňování závěrečných prací:

(1) Vysoká škola nevydělečně zveřejňuje disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce, u kterých proběhla obhajoba, včetně posudků oponentů a výsledku obhajoby prostřednictvím databáze kvalifikačních prací, kterou spravuje. Způsob zveřejnění stanoví vnitřní předpis vysoké školy.

(2) *Disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce odevzdané uchazečem k obhajobě musí být též nejméně pět pracovních dnů před konáním obhajoby zveřejněny k nahlížení veřejnosti v místě určeném vnitřním předpisem vysoké školy nebo není-li tak určeno, v místě pracoviště vysoké školy, kde se má konat obhajoba práce. Každý si může ze zveřejněné práce pořizovat na své náklady výpisy, opisy nebo rozmnoženiny.*

(3) *Platí, že odevzdáním práce autor souhlasí se zveřejněním své práce podle tohoto zákona, bez ohledu na výsledek obhajoby.*

<sup>2)</sup> *zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 35 odst. 3:*

(3) *Do práva autorského také nezasahuje škola nebo školské či vzdělávací zařízení, užije-li nikoli za účelem přímého nebo nepřímého hospodářského nebo obchodního prospěchu k výuce nebo k vlastní potřebě dílo vytvořené žákem nebo studentem ke splnění školních nebo studijních povinností vyplývajících z jeho právního vztahu ke škole nebo školskému či vzdělávacího zařízení (školní dílo).*

<sup>3)</sup> *zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 60 Školní dílo:*

(1) *Škola nebo školské či vzdělávací zařízení mají za obvyklých podmínek právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla (§ 35 odst. 3). Odpírá-li autor takového díla udělit svolení bez vážného důvodu, mohou se tyto osoby domáhat nahrazení chybějícího projevu jeho vůle u soudu. Ustanovení § 35 odst. 3 zůstává nedotčeno.*

(2) *Není-li sjednáno jinak, může autor školního díla své dílo užít či poskytnout jinému licenci, není-li to v rozporu s oprávněnými zájmy školy nebo školského či vzdělávacího zařízení.*

(3) *Škola nebo školské či vzdělávací zařízení jsou oprávněny požadovat, aby jim autor školního díla z výdělku jím dosaženého v souvislosti s užitím díla či poskytnutím licence podle odstavce 2 přiměřeně přispěl na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložily, a to podle okolností až do jejich skutečné výše; přitom se přihlédne k výši výdělku dosaženého školou nebo školským či vzdělávacím zařízením z užití školního díla podle odstavce 1.*

## **ABSTRAKT**

Cílem této práce je výroba dílu určeného pro rozebíratelný spoj klimatizačního okruhu v automobilu.

Teoretická část pojednává o obráběcích nástrojích, CNC obrábění a kontrole.

Praktická část popisuje samotný postup výroby, verifikaci a konečnou kontrolu dílu.

3D model dílu byl vytvořen v programu Solid Edge ST3 a obráběcí CNC program v programu EdgeCAM. Výroba dílu byla realizována na CNC stroji Chiron FZ12W a kontrola na CMM Global.

Klíčová slova: nástroje, obrábění, verifikace, kontrola, EdgeCAM, CNC, CMM

## **ABSTRACT**

The goal of this thesis is manufacturing of part intended for demountable joint of car conditioning circuit.

The theoretical section is related to machining tools, CNC machining and inspection. On the other hand, practical section describes the manufacturing process, verification and final product inspection.

3D model was created via Solid Edge ST3 and machining CNC program via EdgeCAM.

Manufacturing realized on CNC machine Chiron FZ12W and inspection on CMM Global.

Keywords: tools, machining, verification, inspection, EdgeCAM, CNC, CMM

Děkuji tímto Ing. Ondřeji Bílkovi, Ph.D. za cenné připomínky a rady při vypracování bakalářské práce.

*Motto*

„Zkušenost je učitelem všech věcí.“

Gaius Julius Caesar

Prohlašuji, že odevzdaná verze bakalářské/diplomové práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

# OBSAH

<b>ÚVOD</b> .....	<b>10</b>
<b>I TEORETICKÁ ČÁST</b> .....	<b>11</b>
<b>1 OBRÁBĚNÍ</b> .....	<b>12</b>
1.1 FRÉZOVÁNÍ.....	12
1.1.1 Podstata frézování.....	12
1.1.2 Geometrie břítu frézy .....	13
1.1.3 Základní úhly na zubu frézovacího nástroje .....	14
1.1.4 Geometrie frézovacích nástrojů s destičkami - úhel čela ( $\gamma$ ) .....	15
1.1.5 Řezná rychlost - základní pojmy .....	16
1.2 DRUHY FRÉZOVÁNÍ .....	17
1.2.1 Frézování obvodové.....	17
1.2.2 Frézování čelem nástroje .....	19
1.2.3 Frézování okružní .....	20
1.2.4 Frézování planetové .....	20
1.3 NÁSTROJE PRO FRÉZOVÁNÍ - ROZDĚLENÍ .....	21
1.4 MATERIÁLY NA VÝROBU FRÉZ .....	23
1.4.1 Nástrojové oceli slitinové (legované) .....	23
1.4.2 Slinuté karbidy (SK).....	23
1.4.3 Keramické řezné materiály .....	24
1.4.4 Syntetické diamanty .....	24
1.4.5 Kubický nitrid boru (KNB) .....	24
1.5 POVLAKOVANÉ NÁSTROJE .....	25
1.6 PŘESNOST ROZMĚRŮ A JAKOST OBROBENÉ PLOCHY .....	25
1.7 OPTIMALIZACE ŘEZNÝCH PODMÍNEK.....	26
<b>2 OBRÁBĚCÍ CNC STROJE</b> .....	<b>28</b>
2.1 BLOKOVÉ SCHÉMA CNC SYSTÉMU.....	28
2.2 ODMĚŘOVÁNÍ .....	28
2.3 DEFINICE SOUŘADNÉHO SYSTÉMU STROJE.....	30
2.3.1 Pravotočivý kartézský souřadný systém.....	31
2.4 DEFINICE VZTAŽNÝCH BODŮ CNC STROJE .....	31
2.5 SYSTÉMY SE SOUVISLÝM ŘÍZENÍM.....	32
2.6 KOREKCE NÁSTROJŮ .....	33
<b>3 PROGRAMOVÁNÍ CNC STROJŮ</b> .....	<b>34</b>
3.1 POČÍTAČOVÁ PODPORA .....	34
3.2 POČÍTAČOVÁ PODPORA OBRÁBĚNÍ – CAM.....	36
3.2.1 Simulace .....	38
3.2.2 Verifikace .....	39



3.3	CNC PROGRAM .....	39
<b>4</b>	<b>SOUŘADNICOVÉ MĚŘICÍ STROJE .....</b>	<b>42</b>
4.1	DEFINICE .....	42
<b>II</b>	<b>PRAKTICKÁ ČÁST.....</b>	<b>44</b>
<b>5</b>	<b>CÍLE PRAKTICKÉ ČÁSTI .....</b>	<b>45</b>
5.1	NÁVRH A TVORBA VÝKRESOVÉ DOKUMENTACE VYRÁBĚNÉHO DÍLU .....	45
5.2	NÁVRH TVARU POLOTVARU PROFILU .....	46
5.3	CNC PROGRAMOVÁNÍ.....	46
5.4	NASTAVENÍ ŘEZNÝCH PODMÍNEK.....	47
5.5	CNC PROGRAMOVÁNÍ – 1. UPNUTÍ.....	48
5.5.1	Frézování boční strany dílu.....	48
5.5.2	Vrtání bočních otvorů D4,8 / D9,8 / D13,1 .....	49
5.5.3	Vrtání bočních otvorů D12 / D19,4 / D23,5 .....	49
5.5.4	Frézování sražení hrany na profilu dílu .....	50
5.5.5	Vrtání spodního otvoru D18 a průchozího otvoru D7,5 .....	50
5.6	CNC PROGRAMOVÁNÍ – 2. UPNUTÍ.....	51
5.6.1	Frézování nákrůžků nahrubo .....	52
5.6.2	Frézování základny nákrůžků načisto .....	52
5.6.3	Vrtání otvoru D4,8 .....	53
5.6.4	Vrtání otvoru D12,0.....	53
5.6.5	Frézování tvaru menšího nákrůžku .....	54
5.6.6	Frézování tvaru většího nákrůžku.....	54
5.6.7	Frézování sražení hrany na profilu dílu a v otvorech .....	55
<b>6</b>	<b>VÝROBA DÍLU .....</b>	<b>58</b>
6.1	TECHNICKÉ PARAMETRY VERTIKÁLNÍHO CNC STROJE CHIRON FZ 12W .....	58
6.2	OBROBENÍ 1. UPNUTÍ.....	59
6.3	OBROBENÍ 2. UPNUTÍ.....	61
<b>7</b>	<b>NÁSTROJE .....</b>	<b>63</b>
<b>8</b>	<b>KONTROLA DÍLU.....</b>	<b>67</b>
	<b>ZÁVĚR .....</b>	<b>69</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY .....</b>	<b>70</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....</b>	<b>72</b>
	<b>SEZNAM OBRÁZKŮ .....</b>	<b>74</b>
	<b>SEZNAM TABULEK .....</b>	<b>76</b>
	<b>SEZNAM PŘÍLOH .....</b>	<b>77</b>

## ÚVOD

Historie vývoje CNC obráběcích strojů neboli vývoje číslicové techniky, probíhala současně v několika oblastech: jednotlivé strojní komponenty, výrobní soustavy, řídicí systémy a strojní celky. Již okolo roku 1950 se jako pohonné jednotky začaly používat elektricky řízené hydromotory a později byly aplikovány elektricky řízené motory. Pro odměřování při polohování se využívalo optických principů (lineární a rotační odměřovací systémy). První zde ještě takzvané NC konzolové frézky byly víceméně modifikované konvenční stroje. V roce 1960 uvedla firma Kearney & Trecker první obráběcí (frézovací) centrum. NC systémy byly již tranzistorové. Koncem 60. let pak v USA aplikovali integrované obvody s možností parabolických a splineových interpolací. NC stroje se integrovaly do prvních výrobních linek. V 70. letech se při stavbách strojů aplikovaly kuličkové šrouby a hydrostatická vedení. Firma Herbert uvedla na trh první soustružnické centrum s rotačními nástroji pro frézování a vrtání. NC systémy byly doplňovány pamětí a umožňovaly editaci programů. Od nich byl jen velmi malý krůček k prvním CNC systémům. V 80. letech začaly být stroje vybavovány zásobníky nástrojů i obrobků a do konstrukce NC strojů se aplikovaly senzory pro sledování pohonů a jednotlivých mechanismů.

Řídicí systémy byly založeny na bázi CNC/PLC s multiprocesorovými mikropočítačovými strukturami. Toto období je velmi důležité, poněvadž došlo k výraznému prosazení frézovacích i soustružnických center do technologií třískového obrábění. V 90. letech minulého století byly aplikovány velkokapacitní zásobníky s mezioperační dopravou nástrojů i obrobků. Výrazně se zvyšovala přesnost výroby jednotlivých typů součástí na NC strojích, zvyšovala se produktivita výroby a CNC stroje již měly poměrně otevřenou architekturu. Rostoucí variabilita obráběných dílů vedla k většímu uplatňování pružných výrobních systémů. Ve 21. století byl zahájen vývoj nové generace obráběcích center. Jsou vytvářeny především multifunkční stroje a výrazně se hovoří i realizuje sjednocování HW a SW (Hardware, Software). Běžně jsou do CNC strojů integrovány CAD/CAM systémy a dále se posiluje provázanost na externí počítačové stanice.

## **I. TEORETICKÁ ČÁST**

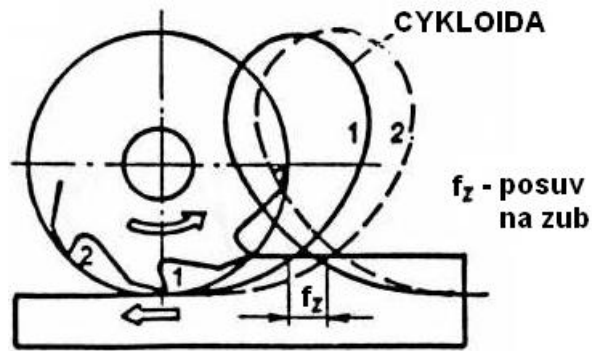
# 1 OBRÁBĚNÍ

## 1.1 Frézování

Frézování je operace třískového obrábění, při které je z obrobku odebírána vrstva materiálu ve formě jednotlivých drobných třísek rotačním více zubým nástrojem - frézou. Fréza se při práci otáčí kolem své osy a svými zuby po obvodě se postupně zařezává do obrobku, který se proti nástroji současně posouvá. Každý zub frézy postupně odřezává z obráběného materiálu krátké třísky nestejně tloušťky, takže proces řezání je přerušovaný. Touto metodou, použitím různých druhů frézovacích nástrojů, je možné obrábět na obrobcích především plochy rovinné, ale také plochy tvarové, šikmé, nepravidelné, rotační, dále drážky a vybrání různých tvarů, závitové drážky na rotačních plochách, různé druhy ozubení na ozubených kolech a hřebenech, rozdělování materiálu na různé délky apod. Toto široké uplatnění a možnost přesné výroby zařadily frézování na významné místo ve strojírenské výrobě. Frézování velkými řeznými rychlostmi ve většině případů umožňuje produktivnější a hospodárnější odebrání materiálu než při obrábění jednobřitými nástroji jako například hoblováním nebo obrážením. V některých zvláště složitých případech je frézování jediným možným způsobem obrábění. [1]

### 1.1.1 Podstata frézování

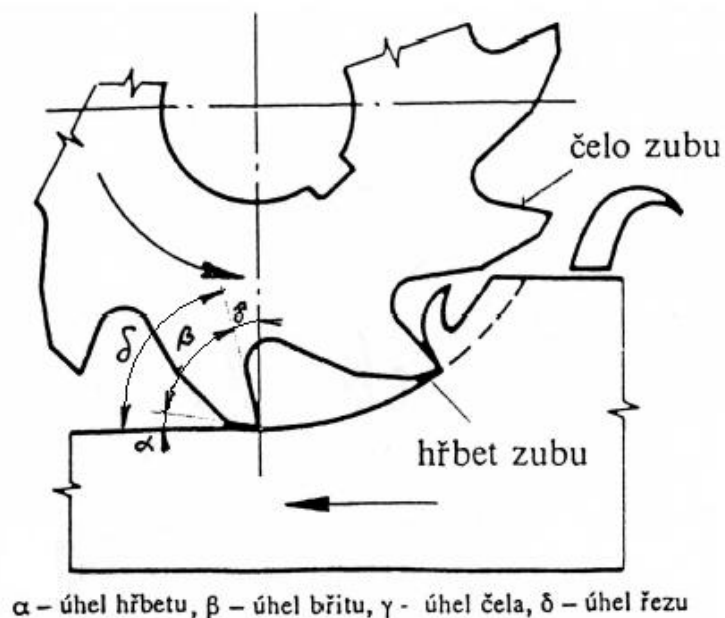
Obrobek pevně upnutý na pracovním stole frézky vykonává směrem k nástroji plynulý pohyb - pracovní posuv - pohyb vedlejší. V některých případech (např. při výrobě ozubení odvalovacím způsobem) se místo obrobku posouvá otáčející se nástroj. Každý břit frézy vykonává během řezání kromě otáčivého pohybu ve vztahu k obrobku relativně také pohyb posuvný. Z toho plyne, že záběrová dráha každého zubu není kruhová, ale ve skutečnosti tato dráha má tvar cykloidy. Jde o řezný pohyb zubu – pohyb hlavní. [1]



Obr. 1. Dráha ostří zuby

### 1.1.2 Geometrie břitu frézy

Aby břit mohl odebírat třísky, musí k tomu být náležitě upraven. Každý zub má klínovité provedení zakončené břitem, tvořeným dvěma plochami (čelem a hřbetem), v jejichž průřezu vznikne ostří, které má schopnost odřezávat třísky. Čím ostřejší klín břit má, tím snadněji vniká do materiálu. Vzájemná poloha ploch břitu nástroje a obrobku vytváří soustavu úhlů, které říkáme geometrie břitu. [1]



$\alpha$  - úhel hřbetu,  $\beta$  - úhel břitu,  $\gamma$  - úhel čela,  $\delta$  - úhel řezu

Obr. 2. Geometrie břitu frézy

Hodnoty jednotlivých úhlů jsou závislé na druhu obráběného materiálu a u normalizovaných fréz mají stanovenou hodnotu - příklady jsou uvedeny v následující tabulce:

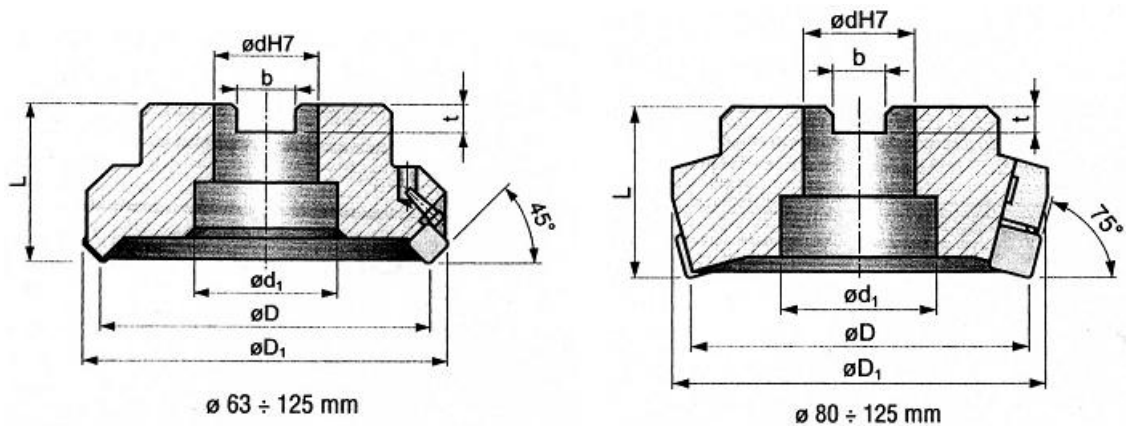
Tab. 1. Hodnoty úhlů  $\gamma$  a  $\alpha$  v závislosti na druhu obráběného materiálu

Obráběný materiál	Úhel čela $\gamma$ (°)	Úhel hřbetu $\alpha$ (°)
ocel do pevnosti 600 MPa	12 - 20	5 - 8
ocel do pevnosti 850 MPa	8 - 12	4 - 6
šedá litina do tvrdosti 120 HB	6 - 10	5 - 6
šedá litina nad tvrdost 180 HB	4 - 20	3 - 5
měď	12 - 20	5 - 6
mosaz, bronz	0 - 12	4 - 8
lehké slitiny	15 - 30	8 - 12
plasty	0 - 15	4 - 6

### 1.1.3 Základní úhly na zubu frézovacího nástroje

- úhel hřbetu  $\alpha$  (alfa)** - je úhel svíraný mezi hřbetem zubu frézy a tečnou k obvodu nástroje (řeznou rovinou). Jeho úkolem je snižovat tření hřbetu zubu na obráběné ploše. Čím větší je jeho hodnota, tím je tření menší. Jeho velikost je však omezena, aby nedocházelo k přílišnému zeslabování zubu a tím snižování jeho pevnosti.
- úhel břitu  $\beta$  (beta)** - je úhel svíraný plochou hřbetu a plochou čela. Čím menší tento úhel je, tím je snadnější jeho vnikání do materiálu. Jeho hodnota je omezena pevností břitu. Pro frézování měkkých a málo pevných materiálů mívá úhel  $\beta$  menší hodnotu, naopak pro tvrdé a pevné materiály musí mít hodnotu větší, aby snesl zatížení vyvolané velkým řezným odporem.
- úhel čela  $\gamma$  (gama)** - je úhel mezi plochou čela břitu a spojnicí špičky břitu se středem otáčení frézy. Usnadňuje tvoření třísky a vnikání břitu do materiálu. Jeho rostoucí hodnota zeslabuje celý břit frézy, proto je také tabulkově omezena.
- úhel řezu  $\delta$  (delta)** - je úhel, který svírá plocha čela a tečna k obvodu frézy, (řezná rovina) - je vlastně součtem úhlů břitu a hřbetu ( $\delta = \alpha + \beta$ ). Kromě těchto základních úhlů se na nástroji vyskytují další úhly, z nichž nejdůležitější jsou:

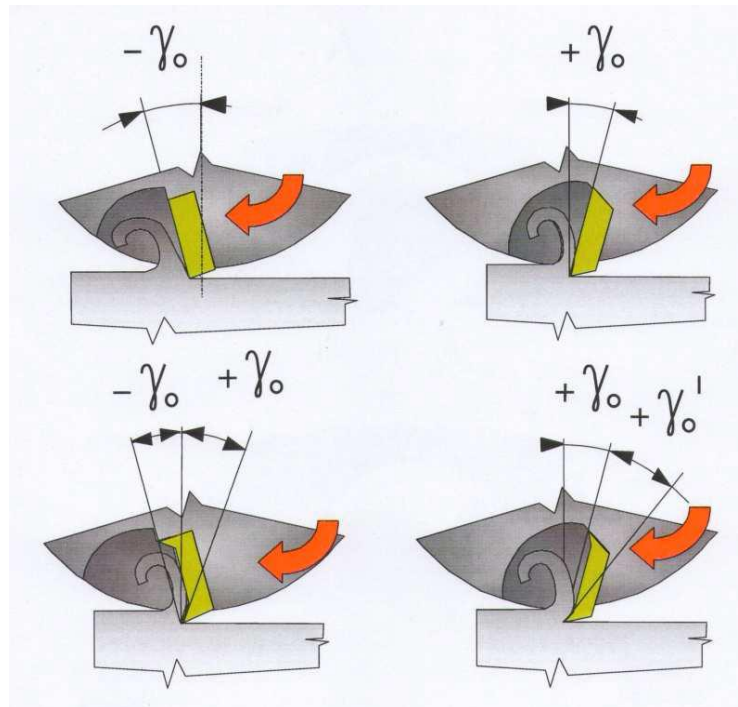
- e) **úhel sklonu ostří  $\lambda$  (lambda)** - je úhel, který svírá osa otáčení frézy a tečna k šroubovici břitu. Vyskytuje se u nástrojů s břity šikmými, šroubovitými, střídavými a šípovými.
- f) **úhel nastavení  $\kappa$  (kapa)** - je úhel mezi ostřím frézy a rovinou kolmou na osu jejího otáčení.



Obr. 3. Frézovací nástroj

#### 1.1.4 Geometrie frézovacích nástrojů s destičkami - úhel čela ( $\gamma$ )

- a) **geometrie negativní** - je vhodná pro frézování ocelí, litin a těžko obrobitelných materiálů při větším zatížení břitů v hromadné výrobě
- b) **geometrie pozitivní** - pro ocelové a litinové součástky se sklonem ke chvění, pro součástky ze slitin hliníku a legované slitiny vytvářející snadno na čele břitu nárůstek
- c) **geometrie pozitivně negativní** - pro frézování korozivzdorné oceli, litiny, mědi a jejích slitin, kdy v kombinaci s vhodným úhlem nastavení dovoluje plynulé odvádění dlouhých šroubovitých třísek



Obr. 4. Geometrie frézovacích nástrojů s destičkami

### 1.1.5 Řezná rychlost - základní pojmy

**Obráběná plocha** - jedná se o plochu, z níž se odebírá vrstva materiálu, která se mění v třísku.

**Plocha řezu** - plocha, která se vytváří na obrobku hlavním a vedlejším břitem nástroje a tvoří přechod mezi obráběnou a obrobenou plochou.

**Obrobená plocha** - nově vytvořený povrch, vzniklý odebráním vrstvy materiálu.

**Řezná rychlost** - jedná se o rychlost hlavního rotačního pohybu, kterou při frézování vykonává nástroj (u frézy s úhlem  $c_r = 90^\circ$  je řezná rychlost nezávislá na hloubce řezu  $a_p$ ).

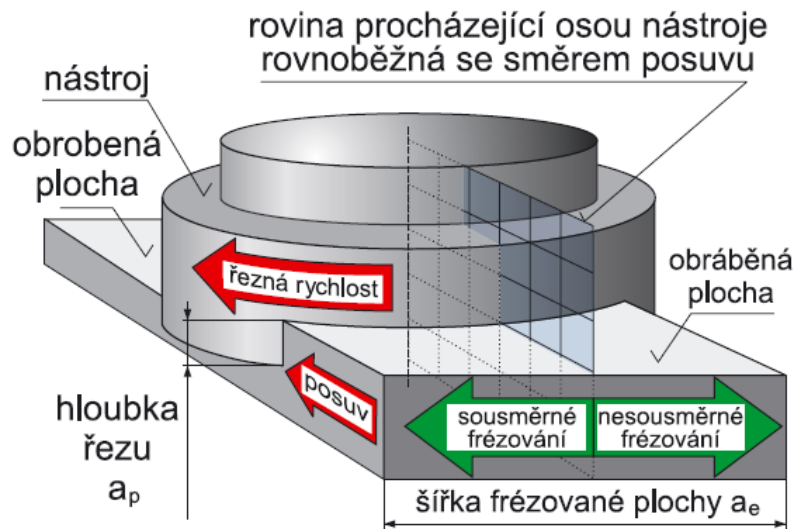
Vypočte se ze vztahu: 
$$v_c = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000} \text{ [m/min]}$$

kde  $v_c$  ... řezná rychlost [m/min]

$D$  ... průměr nástroje [mm]

$n$  ... počet otáček vřetene [1/min]





Obr. 5. Popis frézování

Řezné podmínky volíme v závislosti na druhu práce, požadované jakosti obrobených ploch a na druhu použité frézy. S přihlédnutím k hloubce odebírané vrstvy, tuhosti obrobku a výkonu na vřetenu frézky se při hrubování volí co největší posuv. [1]

## 1.2 Druhy frézování

Podle polohy osy nástroje k obráběné ploše lze frézování rozdělit do těchto čtyř skupin:

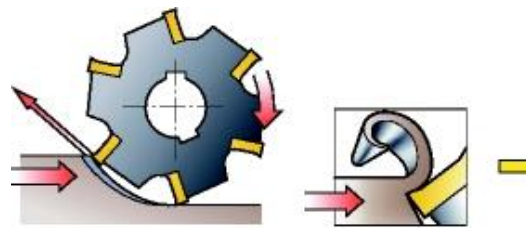
1. frézování obvodové
2. frézování čelní
3. frézování okružní
4. frézování planetové

### 1.2.1 Frézování obvodové

Používá se převážně při práci s válcovými a tvarovými frézami. Zuby jsou vytvořeny jen na válcovém obvodu nástroje. Hloubka řezu se nastavuje kolmo na osu frézy a směr posuvu. Obrobená plocha je rovnoběžná s osou otáčení frézy. Způsob vytváření takové plochy a průběh vytváření třísky závisí na smyslu otáčení frézy ke směru posuvu obrobku.

Podle toho rozeznáváme dva způsoby frézování:

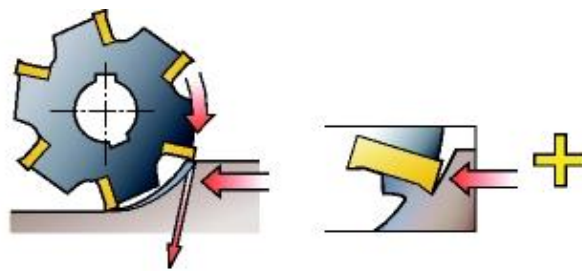
- a) **nesousledné frézování** - fréza se otáčí proti směru posuvu obrobku. Vznikající průřez se mění od nuly do konečné maximální hodnoty. Nevýhodou je, že břit zubu frézy na začátku řezu klouže po již obrobené ploše předchozím břitem, což má za následek opotřebení břitu a jeho otupování a tím zhoršuje jakost této obrobené plochy. Řezná síla působí směrem k nástroji a tím nepříznivě ovlivňuje upnutý obrobek - snaží se jej vytrhnout z upínače. Výhodou tohoto způsobu je, že práce frézy je klidná, bez rázů. Je výhodný pro frézování obrobků s tvrdou povrchovou vrstvou (výkovků, odlitků) - břity do tvrdé vrstvy vnikají zespodu a potom ji odlamují, což se projeví v tom, že se břity tak rychle neotupují. [1]



Obr. 6. Nesousledné obrábění

- b) **sousledné frézování** - smysl otáčení frézy je shodný s posuvem obrobku. Nevýhodou je, že břit vniká do materiálu v největší tloušťce třísky. Tloušťka třísky se při řezání zmenšuje a odděluje se od materiálu v nejslabším místě, kdy břit vychází ze záběru. Tento způsob frézování můžeme použít jen na stroji, který má ve stole vymezenou vůli mezi maticí a pohybovým šroubem, aby při záběru frézy nedošlo vlivem vůle ke vtahování obrobku pod frézu, což by mělo za následek poškození břitu frézy. Proto není vhodný pro frézování materiálů s nečistým povrchem a s tvrdou povrchovou vrstvou. Výhodou je, že řezná síla tlačí obrobek do upínače, což dovoluje práci při vyšší řezné rychlosti a hloubce řezu. Břity frézy se s již obrobenou plochou nestýkají, nedochází k jejich zahřívání a otupování, obrobená plocha je kvalitnější. Je vhodné pro obrábění houževnatých a měkkých materiálů. Používá se u frézek CNC, protože pohybové šrouby jsou vyrobeny bez vůle. Pro obvodové frézování platí, že se snažíme použít frézu o největším průměru (s přihlédnutím na optimální hodnotu náběhu a přeběhu vzhledem k

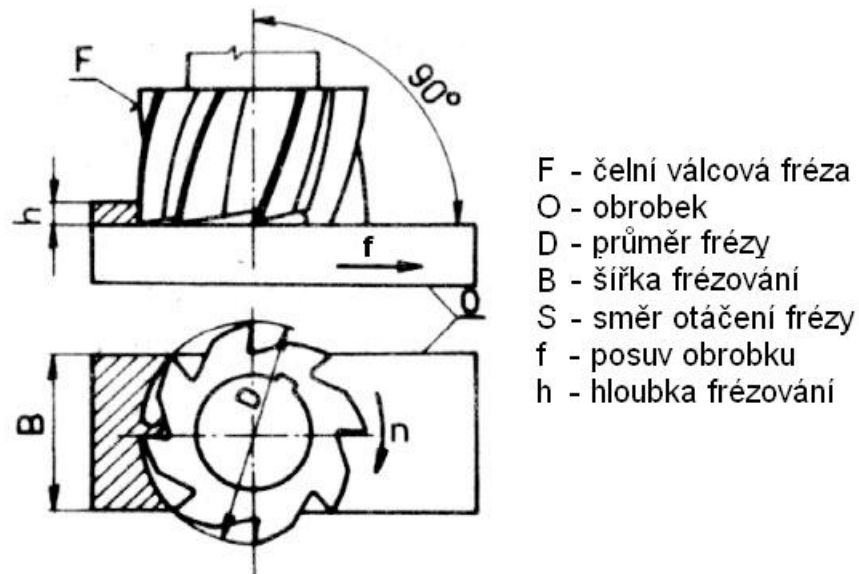
obrobku). S rostoucím průměrem nástroje se zmenšuje jeho maximální úhel záběru a zvětšuje se délka třísky na úkor její tloušťky, ale také se zvětšuje měrný řezný odpor a hodnoty pružných deformací. Protože u silnější třísky se pružné deformace snižují a také klesají měrný řezný odpor i teplota při řezání, dovoluje nám větší průměr frézy pracovat s větším pracovním posuvem obrobku. K výhodám většího průměru nástroje patří také klidnější chod a větší počet zubů v záběru, umožňující zvýšení posuvu na jeden zub. [1]



Obr. 7. *Sousledné obrábění*

### 1.2.2 Frézování čelem nástroje

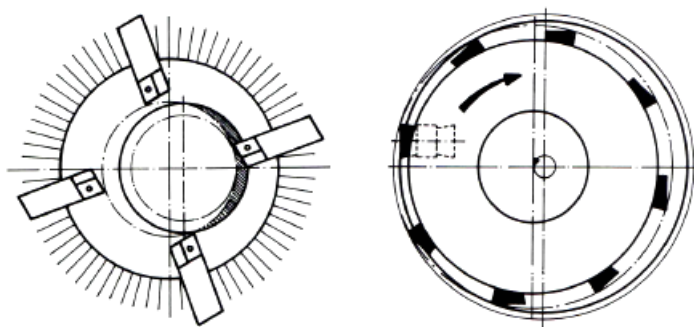
Je příznačné zejména pro frézy válcové, u nichž při odřezávání třísek pracují břity na obvodu frézy, ale také částečně břity na čelní ploše, které obráběnou plochu vyhlazují. Hloubka řezu se nastavuje ve směru osy otáčení frézy. Obrobená plocha je kolmá na osu otáčení nástroje. Při každém otočení frézy o 360 stupňů se obrobek posune o dráhu, jejíž délka odpovídá hodnotě posuvu na otáčku. Tloušťka třísky se přitom postupně od vstupu břitu frézy ke středu odřezávané vrstvy zvětšuje, a naopak od středu k místu výstupu břitu z materiálu dochází k postupnému zmenšování tloušťky třísky. Její hodnoty jsou závislé na vzájemném poměru šířky obráběné plochy, průměru použité frézy a také na poloze osy nástroje k ose obrobku (souměrné a nesouměrné frézování - asymetrie). Čelní frézování je výkonnější než frézování obvodové, protože při něm zabírá více zubů současně, což dovoluje pracovat s větším posuvem obrobku. [1]



Obr. 8. Frézování čelem nástroje

### 1.2.3 Frézování okružní

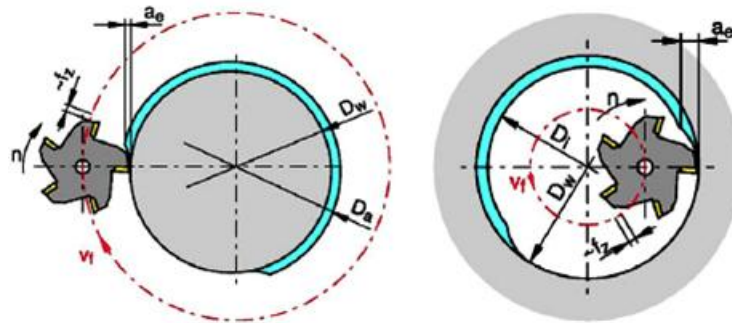
Používá se při obrábění dlouhých válcových tyčí a při výrobě závitů. Jako nástroj slouží frézovací hlava osazena několika noži. Při frézování tyčí se frézovací hlava otáčí i posouvá, při frézování závitů se jen otáčí. Zbývající pohyby nutné k obrábění vykonává obrobek.



Obr. 9. Okružní frézování

### 1.2.4 Frézování planetové

Uplatňuje se u číslicově řízených strojů a obráběcích center, vybavených kruhovou interpolací dráhy nástroje, jehož pohyb může být pořízen po kružnici, což umožňuje frézovat celé rotační plochy nebo jejich části. [1]



Obr. 10. Planetové frézování

### 1.3 Nástroje pro frézování - rozdělení

Frézy rozdělujeme podle několika kritérií:

#### 1. podle ploch, na nichž jsou vytvořeny zuby

- a) válcové – zuby jsou na válcové ploše
- b) válcové-čelní – zuby frézy jsou na válcové a čelní ploše
- c) kotoučové – průměr frézy je podstatně větší než její šířka
- d) tvarové – např.: rádiusové vyduté nebo vypuklé, úhlové, modulové,...
- e) speciální – např.: odvalovací, hřebínkové, ...

#### 2. podle způsobu upínání

- a) frézy stopkové se stopkou válcovou nebo kuželovou
- b) frézy nástrčné – mají otvor

#### 3. podle způsobu výroby zubů

- a) frézy se zuby frézovanými
- b) frézy se zuby podsoustruženými – např.: rádiusové, které se ostří pouze na čele

c) lité – zuby vzniknou odstředivým litím, čelo a zábřit jsou naostřeny

#### 4. podle počtu zubů vzhledem k průměru frézy

- a) jemnozubé
- b) polo hrubozubé
- c) hrubozubé

#### 5. podle tvaru břitů

- a) frézy s břity přímými – břity jsou rovnoběžné s osou frézy
- b) frézy s břity šikmými
- c) frézy s břity šroubovitými
- d) frézy se střídavými břity – vyskytují se u kotoučových fréz

#### 6. podle řezného materiálu

- a) frézy z nástrojové legované oceli
- b) frézy s břitovými destičkami ze slinutých karbidů
- c) frézy s břitovými destičkami z keramických řezných materiálů
- d) frézy s břitovými destičkami z KNB

#### 7. podle smyslu otáčení

- a) pravořezné – při pohledu od vřetene ve směru osy se otáčí ve smyslu pohybu otáčení hodinových ručiček
- b) levořezné – ve stejném pohledu se otáčejí proti smyslu hodinových ručiček.

## 1.4 Materiály na výrobu fréz

Při obrábění je nástroj značně mechanicky i tepelně namáhán. Aby nástroj byl schopen vykonávat svou funkci, musí být vyroben z vhodného nástrojového materiálu.

Mezi základní vlastnosti nástrojových materiálů patří:

- tvrdost; musí být podstatně vyšší než tvrdost obráběného materiálu
- odolnost vůči opotřebení
- vyhovující pevnost v tlaku a ohybu
- dobrá tepelná vodivost a tepelná odolnost

Vzhledem k tomu, že břit je nejdůležitější částí nástroje, je třeba volbě materiálu břitu věnovat náležitou pozornost. Na břitu závisí průběh vlastního procesu obrábění, produktivita a hospodárnost obrábění. Vlastnostem řezných materiálů, tj. tvrdosti, pevnosti, houževnatosti, odolnosti proti otěru a tepelné vodivosti, se říká souhrnně řezivost. Žádný z řezných materiálů není tak univerzální, aby byl vhodný k obrábění všech materiálů. Existuje celá řada řezných materiálů lišících se svými vlastnostmi, a tím i vhodností použití pro obrábění konkrétního materiálu.

### 1.4.1 Nástrojové oceli slitinové (legované)

Pro třískové obrábění jsou z nich nejužívanější rychlořezné oceli (RO). Podle obsahu a množství legujících prvků (Cr, V, Mn, Mo, W,...) se dělí na RO:

- pro běžné výkony
- výkonné
- vysoce výkonné

S nástroji zhotovenými z rychlořezných ocelí lze obrábět až do teploty 600° C.

### 1.4.2 Slinuté karbidy (SK)

Vznikají spékáním (sintrováním) jemných práškových částic wolframu, titanu, tantalu a chromu, které jsou spojeny nejčastěji kobaltem. Poměry jednotlivých složek a hrubost spékaného prášku rozhoduje o kvalitě a typu slinutého karbidu. Výsledný materiál je tvrdší než rychlořezná ocel je odolný proti korozi a otěru, má špatnou tepelnou a elektrickou

vodivost, pracovní teploty 800° až 1 000°C. Tyto vlastnosti umožňují jejich požití i na těžko obrobitelné a tvrdé materiály, např. kalená ocel, bílá litina, sklo.

### 1.4.3 Keramické řezné materiály

Zachovávají tvrdost i při teplotách 1 000° až 1 200° C. Pro jejich výrobu je výchozí surovinou oxid hlinitý (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>). Vyrábějí se práškovou metalurgií, slinováním lisovaných prášků do tvaru řezných destiček. Keramické řezné materiály se vyznačují malou pevností v ohybu a velkou křehkostí. Nejsou proto vhodné k obrábění přerušovaným řezem a k obrábění s většími průřezy třísek. Jsou konstrukčně řešeny stejně jako destičky z SK tak, že je můžeme v nástrojových držácích několikrát otočit a po otupení všech řezných hran se vyřazují a nahrazují novými.

Rozdělují se do tří skupin:

1. Čisté oxidy
2. Cermety
3. Karbidové oxidy

Snahou výrobců je zlepšit pevnost v ohybu keramických destiček a zvýšit houževnatost.

### 1.4.4 Syntetické diamanty

Chemické složení odpovídá čistému uhlíku. Je nejtvrdším řezným materiálem vůbec. Jako řezný materiál se používá k dokončovacím úběrům při malých posuvech a hloubkách řezu, bez přerušovaných řezů. Nepoužívá se k obrábění materiálu s malou tepelnou vodivostí, protože by velmi rychle zoxidoval.

### 1.4.5 Kubický nitrid boru (KNB)

Vlastnosti, zejména tvrdost, se podobají vlastnostem a tvrdosti diamantu. Kubický nitrid boru však snese podstatně vyšší dovolené teploty (až 1 500° C). Lze ho použít na dokončovací operace u obrobků z těžkoobrobitelných materiálů, např. obrobků z kalených ocelí a slitin.



## 1.5 Povlakované nástroje

Povlakované nástroje lze používat s podstatně vyššími řeznými rychlostmi, čímž se zkracují hlavní doby zpracování a tím i náklady na obrábění. Delší doby životnosti vyžadují méně častou výměnu nástrojů a díky tomu klesají náklady na seřizování. U vysokorychlostního třískového obrábění (HSC) a při zpracování za sucha vznikají extrémně vysoké teploty. Díky vynikající tepelné stabilitě, tvrdosti za tepla a odolnosti vůči oxidaci povlaku se teplo odvádí prostřednictvím třísky, aniž by zatěžovalo ostří nástroje. Tvrdé povlaky odolné proti opotřebení umožňují zpracovávat tvrzené materiály do tvrdosti 63 HRC. Nástroje s definovaným břitem umožňují zpracování hotových výrobků z tvrdých materiálů, takže není třeba obrobky dodatečně brousit. Obtížně obrobitelné materiály, slitiny titanu, hořčíku a vysoce legované oceli jsou obtížně obrobitelné. Zpracování takových materiálů usnadňují speciální povlaky s nízkým součinitelem tření a malými sklony k adhezi.

Povlak TiN (nitrid titanu) vyniká houževnatostí a vysokou tvrdostí.

Povlak TiAlN (titan-aluminium nitrid) je vysoce otěru vzdorný a přináší výborné výsledky i při suchém obrábění vysokými rychlostmi a posuvy. [5]

## 1.6 Přesnost rozměrů a jakost obrobené plochy

Při obrábění je přesnost rozměrů a jakost obrobené plochy ovlivněna řadou parametrů řezného procesu, zejména řeznými podmínkami, geometrií břitu nástroje, obráběným materiálem, tuhostí a pevností systému stroj - nástroj - obrobek - přípravek a řezným prostředím. Při hrubování požadujeme co největší objem odebraného materiálu za jednotku času, při obrábění na čisto a jemném obrábění požadujeme zejména dodržení předepsaných parametrů obráběné plochy. Rámcově lze dosáhnout těchto hodnot přesnosti rozměrů a drsnosti povrchu:

Tab. 2. Přesnost rozměrů a jakost obrobené plochy

Způsob obrábění	Drsnost povrchu Ra [ $\mu\text{m}$ ]	Přesnost rozměrů IT
Hrubování	> 6,3	$\geq 12$
Obrábění načisto	1,6 - 6,3	9 - 11
Jemné obrábění	0,2 - 1,6	5 - 8
Speciální dokončovací obrábění	< 0,2	< 5

Volba řezných podmínek je závislá na vlastnostech nástroje, stroje, obrobku i prostředí (materiál řezného nástroje, druh stroje a obráběného materiálu a chlazení apod.) a na požadovaných vlastnostech obrobku (přesnost rozměrů a tvaru, drsnost obrobeného povrchu, ovlivnění povrchové vrstvy obrobené plochy apod.). Při obrábění vysokými řeznými rychlostmi vzniká v místě řezu značné množství tepla; při intenzivním obrábění je proto ve většině případů nutné přivádět do místa obrábění dostatečné množství řezné kapaliny. Řezná kapalina splňuje tři základní funkce:

- a) odvádí část tepla, vzniklého při obrábění
- b) snižuje tření v místě řezu a tím i množství vzniklého tepla
- c) odplavuje vzniklé třísky

Při volbě řezných podmínek je vhodné se řídit doporučeními výrobce nástrojů, které výrobci uvádí v katalogu nebo v příručkách (ve formě textové nebo pro zpracování na počítači). [2]

## 1.7 Optimalizace řezných podmínek

Optimalizace řezných podmínek představuje v současnosti jeden z nejslabších článků technické přípravy výroby. Její podstatou je stanovení optimálních řezných podmínek (hloubky řezu, posuvu a řezné rychlosti) a optimální trvanlivosti nástroje, a sice podle určitého optimalizačního kritéria a v rámci omezujících podmínek. Jinak řečeno, jde o hledání extrému účelové funkce nad oblastí přípustných řešení. Tato oblast je společným průnikem všech omezujících podmínek, které se při obrábění vyskytují.

Kritérium minimálních výrobních nákladů představuje základní optimalizační kritérium ve strojírenské technologii. Mělo by být zásadně aplikováno, pokud nejsou závažné důvody vedoucí na použití jiného kritéria, např. kritéria maximální produktivity (výrobnosti) nebo více kriteriálního hodnocení.

Většinou se dnes stanovení řezných podmínek realizuje pomocí normativů řezných podmínek. Tyto se však často interpretují nesprávně. Pak jsou nasazovány řezné podmínky, které nejsou skutečně optimálními podmínkami.

Optimalizaci řezných podmínek je dnes vhodné realizovat komplexním výpočtem, jehož výstupem jsou optimální hodnoty řezných podmínek a trvanlivosti břitu. Vzhledem ke složitosti je toto možné prakticky pouze na počítači vhodným softwarem.

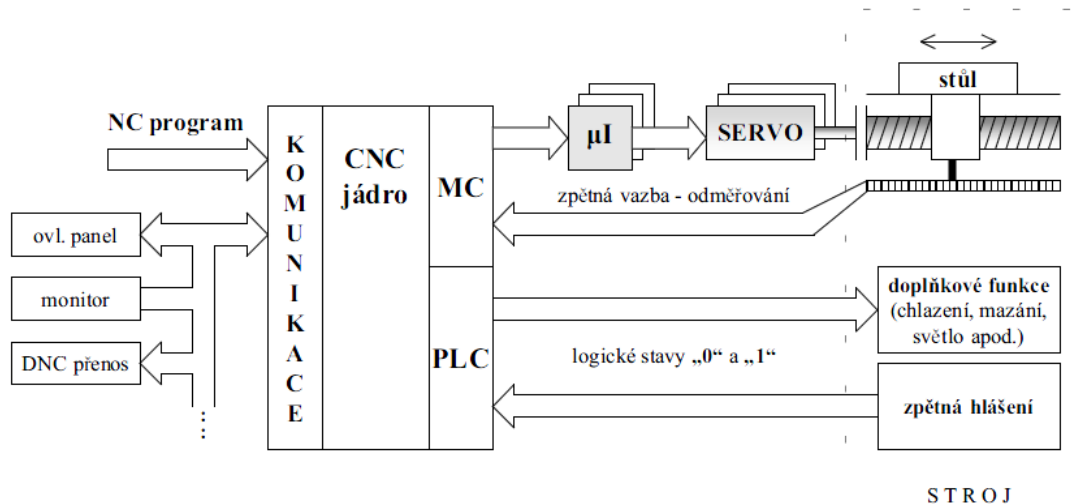
V této souvislosti je nutné zdůraznit, že pokud jsou komerčně nabízeny "univerzální" softwary pro optimalizaci, softwary všeobecně ve strojírenství použitelné, bez nutnosti vstupu konkrétní dat určitého podniku, nelze hovořit o optimalizačních softwarech. Optimalizace řezných podmínek je totiž silně závislá na konkrétních podmínkách podniku.

Optimalizaci řezných podmínek ovlivňuje celá řada parametrů. Především jsou to nákladové položky (uvažujeme-li optimalizaci podle kritéria minimálních výrobních nákladů). Jde o ceny strojů, které ovlivňují jejich provozní náklady, mzdy pracovníků, režijní položky, ceny nástrojů, náklady na jejich ostření atd. Tyto nákladové položky představují významnou skupinu dat vstupujících do optimalizace.

Závislost nákladů na obrábění na řezné rychlosti (mající svoje minimum) má strmější průběh u investičně náročného výrobního zařízení (např. u CNC strojů), ve srovnání s obráběním na strojích konvenčních. Stejná diference řezné rychlosti od optimální řezné rychlosti má pak různé ekonomické důsledky u výrobních zařízení s různými provozními náklady. Čím větší jsou tyto náklady, tím větší je růst výrobních nákladů ve srovnání s nákladovým minimem. Proto význam nasazení skutečně optimálních řezných podmínek neustále roste. Nerespektování této skutečnosti je příčinou často značných výrobních nákladů, zejména na investičně náročném výrobním zařízení. [11]

## 2 OBRÁBĚCÍ CNC STROJE

### 2.1 Blokové schéma CNC systému



Obr. 11. Blokové schéma CNC systému

MC – řízení pohybu (Motion Control)

PLC – programovatelný logický automat (Programmable Logic Control)

- řídí a vyhodnocuje funkce stroje popsatelné logickými úrovněmi „0“ a „1“

$\mu I$  – mikrointerpolátor

- stará se o generování dráhy a výkonové řízení servomotoru

### 2.2 Odměřování

Odměřování tvoří důležitou část stroje, které má velký vliv na přesnost. Jedná se o to, že počítač porovnává skutečnou polohu (např. nástroje) s požadovanou polohou, která je zadaná v programu. Toto je realizováno zpětnou vazbou, která se skládá z řídicího systému, akčního členu, řízeného prvku a senzoru. Programátor zadá do řídicího systému souřadnici, kde má nástroj najet, tato instrukce se pošle akčnímu členu (servo posuvu), které začne posouvat vřeteno a řídicí systém neustále snímá aktuální polohu nástroje. V době, kdy se blíží do požadovaného místa, se začne posuv zmenšovat tak, aby nástroj dojížděl do koncového bodu nulovou rychlostí.

**Řídicí systém** - jedná se vlastně o PC, které je vybaveno několika postprocesory přizpůsobené pro rychlé a přesné přepočítání souřadnic jako jsou hlavně rádiusy, frézování kapes, řezání závitů a mnoha dalších složitějších informací. Tyto PC pracují v předstihu, tzn., že mají spočítány až 2000 řádků souřadnic, kde musí nástroj projet (dle typu stroje). To se děje v několika vteřinách ještě předtím, než se vykoná celý program. Následně se vše odehrává v reálném čase.

**Akční člen** - v dnešní době se používají asynchronní nebo synchronní motory s elektronickou komutací. Toto provedení bez komutátoru umožňuje dosahovat vyšších výkonů, lepšího chlazení a hlavně vyšší životnosti s minimální údržbou. Lze také používat stejnosměrné motory s cizím buzením, které mají ve statoru i rotoru cívky s pólovými nástavci. Jejich výhody jsou podobné jako u asynchronních a synchronních motorů s tím rozdílem že mají klasický komutátor.

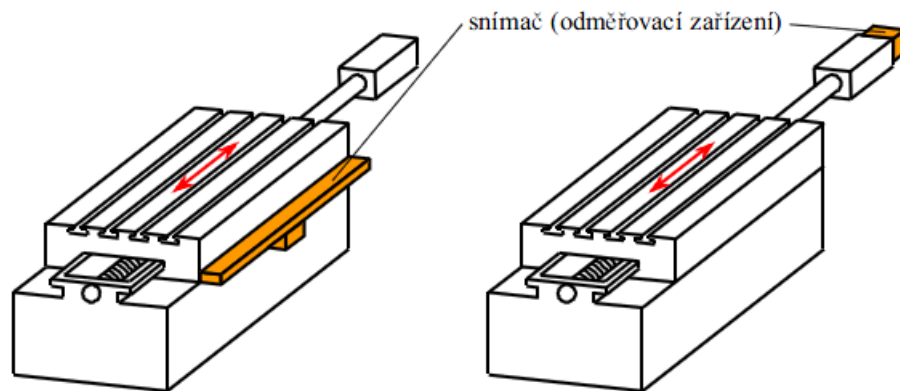
**Řízený prvek** - suport, který je poháněn servy spojenými s kuličkovými šrouby.

Z hlediska informace o poloze je možné odměřovací zařízení rozdělit do tří skupin:

- a) **absolutní odměřování** – v každém okamžiku je známa informace o poloze
- b) **cyklicky absolutní odměřování** – více poloh odpovídá jedné hodnotě výstupního signálu, příkladem je absolutní rotační snímač – během jedné otáčky je známo absolutní natočení, ale nerozlišuje úhel větší než  $360^\circ$ , Vyžaduje najetí do referenčního bodu.
- c) **inkrementální odměřování** – výstupem jsou pouze pulzy – je třeba čítač pro jejich počítání a stanovení polohy. Opět vyžaduje referenční polohu pro počáteční nastavení čítače, dnes pravděpodobně nejrozšířenější.

Z hlediska získání informace o poloze je možné odměřovací zařízení rozdělit na:

- **přímé** – snímač odměřuje polohu přímo, při lineárním odměřování roste cena snímače s jeho délkou, teplotní dilatace ovlivňuje přesnost měření, obtížné krytování, ale obvykle vyšší přesnost měření proti nepřímému odměřování, používá se u přesnějších strojů.
- **nepřímé** – ujetá dráha se neměří přímo, poloha je počítána ze změřeného úhlu natočení a např. stoupání šroubu – měření negativně ovlivňují chyby stoupání šroubu, ale snímače jsou levnější, jednodušší krytování (obvykle je snímač integrován přímo do pohonu), použití u většiny dnešních CNC strojů. [16]



Obr. 12. Přímé a nepřímé odměřování CNC stroje

### 2.3 Definice souřadného systému stroje

Jednoznačné určení souřadných os pracovního prostoru stroje je nezbytné pro číslíkové zadávání pojezdových drah nástrojů.

Osy stroje charakterizují pohybové osy, které je možné řídit:

- posuvové osy.
- rotační osy – často jako přídavná zařízení (otočný stul apod.)

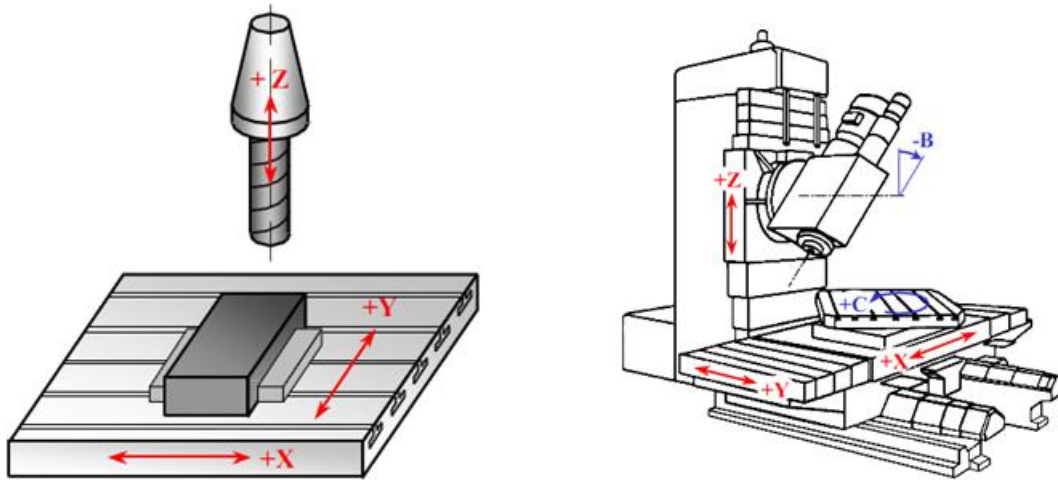
Definice souřadně soustavy vychází z norem (ČSN ISO 841)

- pravoúhlá souřadná soustava (pravotočivý kartézský souřadný systém)
- osy X, Y, Z (U, V, W) – označují posuvy, kladný smysl pohybu v určité ose je ve směru narůstání obrobku
- osy A, B, C – označují rotační pohyby kolem os X, Y a Z

Osa Z je hlavní osou stroje, je rovnoběžná s osou např. vřetene, drátu, plasmu apod.

Osa X je hlavní osa v rovině upínání obrobku

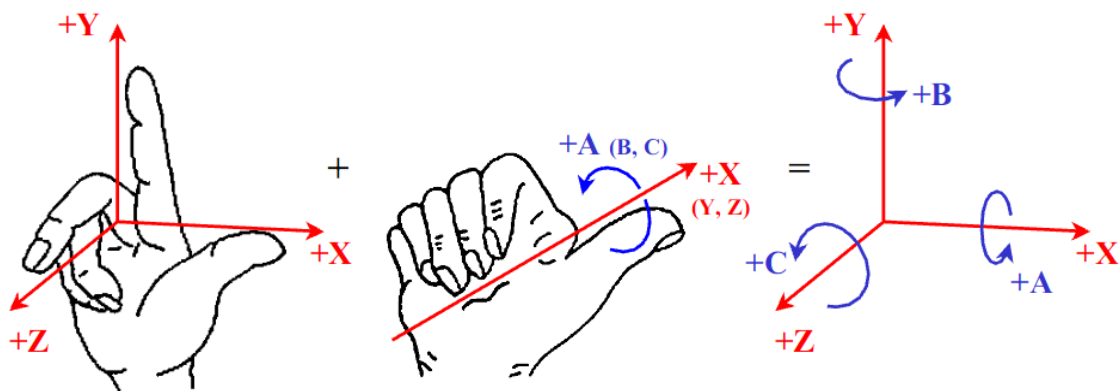
Písmena U, V, W označují tzv. sdružené osy – pokud je v jednom směru více řízených pohybů (často též označování indexy, např. X1, X2).



Obr. 13. Souřadný systém stroje

### 2.3.1 Pravotočivý kartézský souřadný systém

Kladný smysl os souřadného systému je dán pravidlem pravé ruky.



Obr. 14. Pravotočivý kartézský souřadný systém

## 2.4 Definice vztažných bodů CNC stroje

**M** - nulový bod stroje

- je stanoven výrobcem stroje – výchozí počátek souřadného systému

**W** - nulový bod obrobku

- jeho polohu definuje programátor, váží se k němu všechny programované souřadnice drah v NC programu, jeho poloha je měřena od bodu M

**N** - nulový bod nástrojového držáku

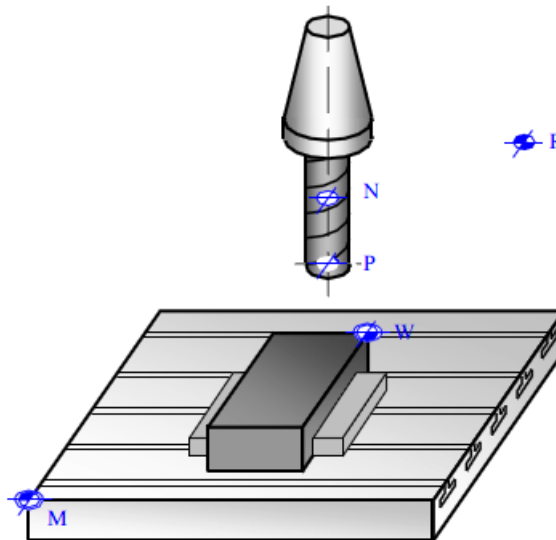
- stanoven výrobcem stroje – referenční bod nástrojového držáku, ke kterému se vztahují rozměry všech nástrojů

**P** - nulový bod nástroje

- soustružnický nuž – bod leží na teoretické špičce nože, rotační nástroje – bod leží v ose nástroje na jeho čele

**R** - referenční bod

- jeho poloha dána výrobcem stroje – po zapnutí stroje slouží k nalezení výchozího počátku souřadného systému M; nemá význam, pokud má stroj absolutní odměřování polohy



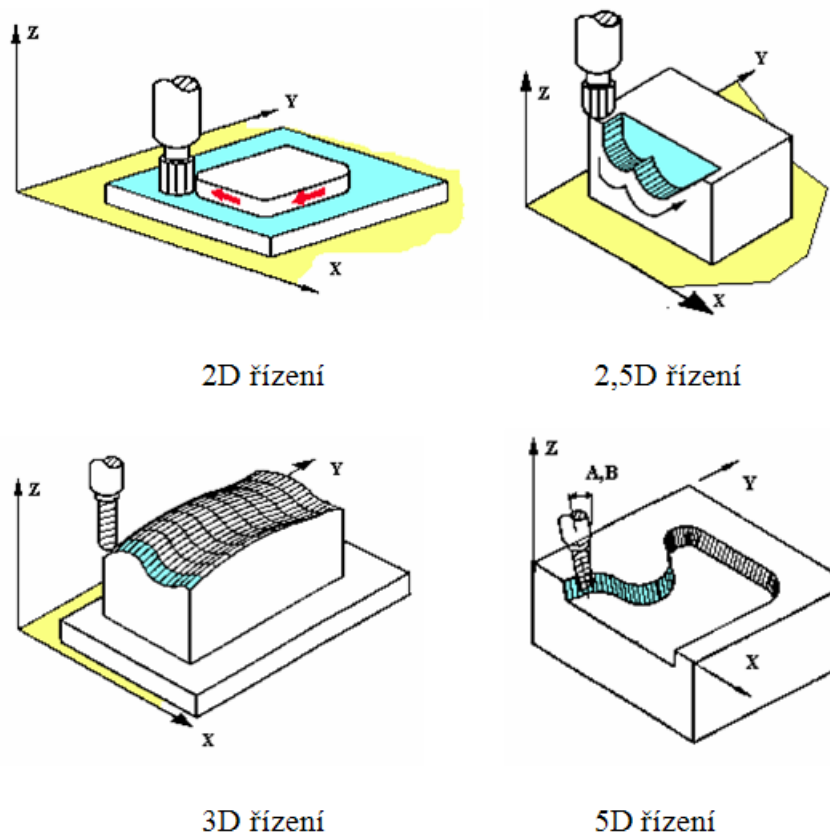
Obr. 15. Vztažné body CNC stroje

## 2.5 Systémy se souvislým řízením

Systémy umožňují výpočet korekcí a geometrie.

- u soustruhu se nástroj pohybuje v rovině X – Z (2D)
- u frézky je možné provádět lineární interpolace buď v jedné rovině X-Y, X-Z, Y-Z (2,5D) nebo při použití výkonného řídicího systému lze vyrábět libovolné obrysy a prostorové plochy 3D. Jestliže jsou vedle pohybů v osách možné ještě další pohyby, např. rotace kolem os potom mluvíme o 4D a 5D řízení.





Obr. 16. Systémy se souvislým řízením os

## 2.6 Korekce nástrojů

Korekce nástroje dávají geometrickou charakteristiku nástroje. Rozměry každého nástroje jsou vztaženy k nulovému bodu nástrojového držáku N, obvykle jsou zapsány v paměti řídicího systému v tabulce, kde je každý nástroj popsán jedním řádkem. Korekce nástrojů (tedy rozměry nástrojů) nejsou obvykle součástí programu, funkce v programu se tak odkazuje na určitý řádek tabulky – při změně nástrojů (při opotřebení apod.) pak není třeba měnit program, ale jen upravit hodnoty v tabulce. [8]

### 3 PROGRAMOVÁNÍ CNC STROJŮ

#### 3.1 Počítačová podpora

Zavádění výpočetní techniky do prostředí výroby postupně způsobilo významné změny v technologiích. Se zdokonalováním počítačů docházelo ke zvyšování počtu jejich technických aplikací do různých fází procesu navrhování a realizace nových výrobků. Konstruování elementárních součástí i rozsáhlých sestav se z rýsovacích prken přeneslo do CAD aplikací. Historický nástin vývoje obrábění a obráběcích strojů nás zavedl k zamyšlení nad definicemi některých často užívaných zkratk: CIM, CAM, CAE, CAD, CAPE, CAP, CAPP, CAQ, CA, NC, CNC a DNC.

**CIM** (Computer Integrated Manufacturing) - počítačem integrovaný výrobní systém (výroba)

**CAM** (Computer Aided Manufacturing) - systém počítačové podpory výroby, který zahrnoval přímé řízení NC techniky, robotů, mezioperační dopravu materiálu, polotovarů i výrobků a nástrojů

**CAE** (Computer Aided Engineering) - systém počítačové podpory inženýrských činností

**CAD** (Computer Aided Design) - počítačová podpora procesu konstruování

**CAPE** (Computer Aided Production Engineering) - systém pro tvorbu a údržbu informací v **TPV** (technologická příprava výroby), který zahrnuje plánování výroby, technologičnost konstrukcí, tvorbu technologických postupů, NC programů a volbu nástrojového i měřicího vybavení

**CAP** (Computer Aided Programming) - systém pro zpracování NC programu stroje

**CAPP** (Computer Aided Process Planning) - systém, který zahrnuje plánování výroby, včetně návrhu a tvorby korekcí plánů s ohledem na dodržování smluvených termínů zakázek a požadavků na materiální i nástrojové vybavení (zajištění)

**CAQ** (Computer Aided Quality) - systém počítačové podpory kontrol a řízení jakosti

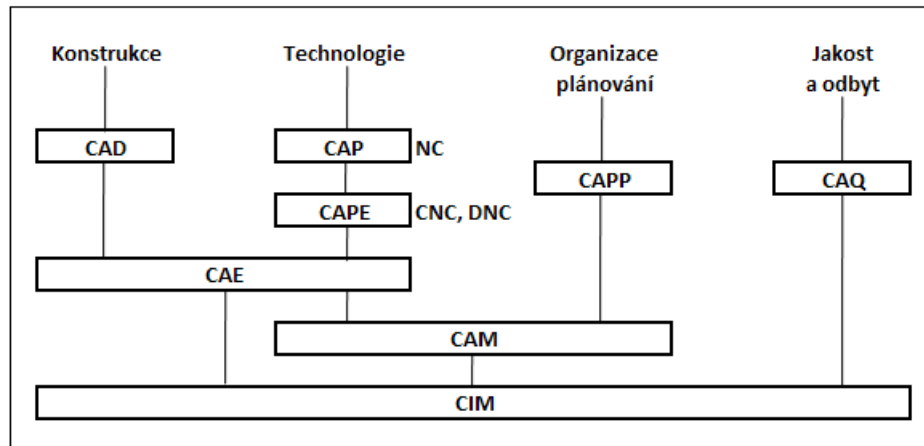
**CA** (Computer Aided) - počítačová podpora

**NC** (Numerical Control) - číslíkové řízení operací obrábění (přímé vkládání číslíkových údajů)

**CNC** (Computer Numerical Control) - počítačem řízený NC stroj

**DNC** (Direct Numerical Control) - centrálním počítačem řízená a kontrolovaná síť NC strojů

Celková koncepce CIM byla poprvé definována již v roce 1973 Josephem Harringtonem. Schematické znázornění vzájemné návaznosti jednotlivých systémů.



Obr. 17. Celková koncepce počítačem integrovaného výrobního systému

Navazující a související technologické činnosti mohou využít připravené elektronické formy dat. Například pomocí systému CAPE, jsou tvořeny výrobní postupy a právě vzájemným propojením CAD a CAPE, vznikl systém CAE, který je počítačovou podporou konstruování výrobku z hlediska jeho budoucí funkce a technologičnosti. Zpracování technického postupu výroby součástí a programu pro NC stroje je prováděno pomocí systému CAP a systém CAPP slouží k řízení a sledování výroby z pohledu termínů dodávek, požadavků na materiální i nástrojové vybavení. Zastřešující systém CAM pak pomáhá řídit výrobu a zahrnuje tak fáze plánování i přípravy a řízení výroby. Vše samozřejmě opět pomocí počítače.

Postupný vývoj systému CAM do značné míry souvisel i s vývojem NC a CNC systémů. Ekonomické tlaky na vývoj a aplikace výpočetní techniky do výrobních technologií se i dnes neustále zvyšují.

Rozbor jednotlivých historických milníků prokázal, že zavádění výpočetní techniky, a tedy CNC strojů do výroby, zvyšuje konkurenceschopnost firmy. Vede ke zvyšování

produktivity a zkracování mezioperačních časů i doby přípravy výroby, ke zvýšení přesnosti a eliminaci chyb (odstranění tzv. lidského faktoru). [16]

### 3.2 Počítačová podpora obrábění – CAM

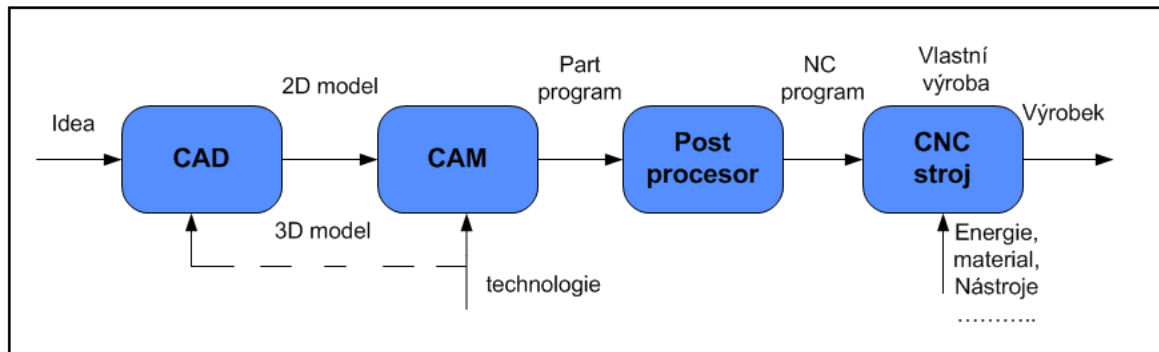
Počítačová podpora obrábění označuje systém, který připravuje data a programy pro řízení numericky řízených strojů pro automatickou výrobu součástí. Tento systém využívá geometrické a další informace vytvořené ve fázi návrhu v systému CAD. Představuje v užším pojetí automatizované operativní řízení výroby na dílenské úrovni a zahrnuje i automatický sběr dat o skutečném stavu výrobního procesu, numericky řízené výrobní systémy, automatické dopravníky a automatické sklady. Produkty tohoto charakteru umožňují simulovat sled technologických operací při vlastní výrobě součástí. Simulují práci jednotlivých nástrojů v nejrůznějších technologiích obrábění, např. frézování, soustružení, vrtání, elektroerosivní obrábění, obrábění laserem, vodním paprskem atd. Po prověření a odzkoušení bezpečného chodu výroby součástí je tímto modulem vygenerován program pro řízení NC, CNC strojů. CAM modul pracuje s geometrickými útvary v rovině i prostoru (modely součástí). Výsledkem činnosti CAM modulu je partprogram.

**Partprogram** je program součástí, který vypracovává CAM modul. Je tvořen sledem příslušných adres obsahující kódový zápis geometrie a technologie součástí. Tento sled adres jednoznačně popisuje obráběcí postup, který se pomocí postprocesoru upravuje pro konkrétní obráběcí stroj. Při tvoření partprogramu je třeba vycházet z těchto údajů: geometrie stroje (souřadný systém, orientace os, nulové body), geometrie polotovaru (možnost kolize, umístění obrobku v souřadné soustavě stroje), geometrie nástroje (rozměry, tvar, korekce dráhy nástroje a tvar obrobku), geometrie výsledného obrobku (daná výkresem-modelem součástí), technologické a řezné podmínky (procesní prostředí, řezná rychlost, posuv, hloubka řezu, apod.), ostatní podmínky důležité pro činnost obráběcího stroje (pozice nástrojů, korekcí atd.).

**Postprocesor** zpracovává informace z geometrického a technologického procesoru již s ohledem na konkrétní NC stroj a použitý řídicí systém. Přihlíží k pracovním možnostem stroje a určuje rozmístění pozic nástrojů zásobníku nebo revolverových hlav. Dráhy nástrojů se transformují do souřadného systému stroje. Dále jsou určovány konečné otáčky vřetene a

rychlosti posuvu a je prováděn výstup řídicího programu na některém nositeli informací v kódu a formátu bloku, ve kterém pracuje řídicí systém CNC stroje.

Vygenerovaný CNC program se odešle na příslušný obráběcí stroj. Přenos na obráběcí stroj může být uskutečněn například: pomocí sítí, bezdrátovým přenosem, fyzickým přenosem dat pomocí CD, flash disků apod. (Dříve se používaly děrné štítky, děrné pásky, magnetofonové pásky a diskety). [18]



Obr. 18. Hierarchie výroby součásti pomocí CAD/CAM systémů

CNC program se v řídicím systému stroje ještě znovu simuluje a tzv. odladňuje. Operátor NC stroje upne do příslušných nástrojových pozic nástroje, provede seřízení nástrojů a do tabulky korekcí zadá příslušné nástrojové korekce, připraví a upne polotovar. Dále pak následuje samotné obrábění.

Mezi velmi užitečný a důležitý výstup z CAM systémů je možné počítat možnost získání celkové hodnoty času obrábění bez fyzického obrobění součásti. Přesnost hodnot časových údajů poskytovaných systémem podstatně závisí na přesnosti zadání parametrů použitého stroje (čas na výměnu nástroje apod.).

Informace o spotřebě času na vyrobení určité součásti ovlivňuje rychlost a přesnost stanovení nákladnosti určité zakázky a tím zajišťuje i určitou strategickou konkurenční výhodu. Časy obdržené z CAM systémů mohou vyjadřovat:

- celková doba posuvu,
- čas přejezdů,
- čas pro výměnu nástrojů,

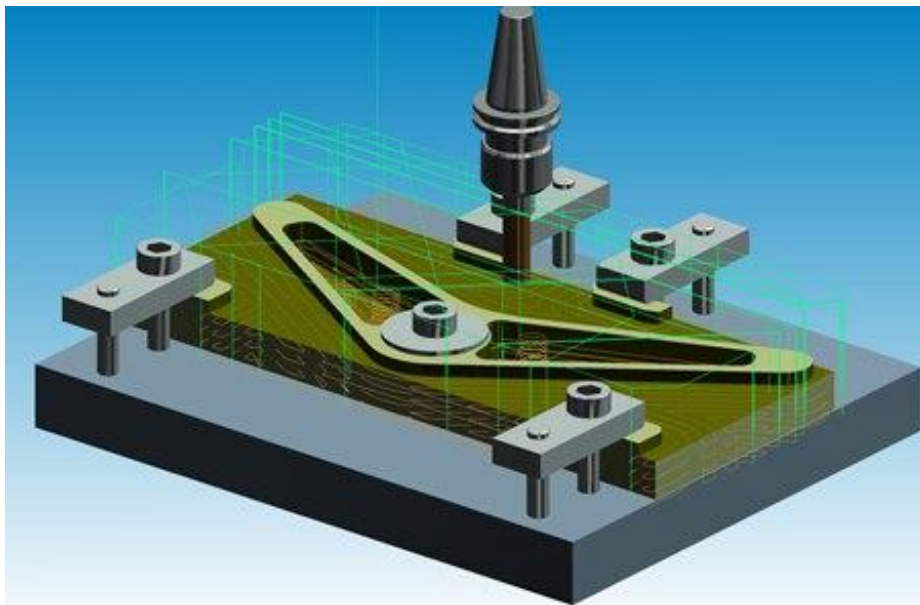
- apod. [18]

Mezi nejznámější CAM systémy patří:

AlphaCAM, Catia (CAD/CAM/CAE), SprutCAM, SurfCAM, HSMWorks, Mastercam, ESPRIT, GibbsCAM, EdgeCAM, Kovoprog, NX CAM, Tebis CAD/CAM, SprutCAM, SolidCAM/InventorCAM, VISI CAM

### 3.2.1 Simulace

Vizualizace pohybu nástroje v prostoru se stala velmi užitečným nástrojem minimalizujícím rizika možné kolize nástroje a obrobku a tím i jejich poškození. Umožňuje podrobně sledovat krok po kroku proces obrábění včetně aktuální polohy nástroje a aktuálních řezných podmínek. U některých CAM systémů umožňuje simulace vytvořit fotorealistický pohled na proces obrábění. Simulace může znázorňovat pohyb nástroje a popř. stopy, které za sebou zanechává. Proces lze sledovat z kteréhokoliv bodu v prostoru. V případě, že kromě modelu obrobku existují také modely upínačů součástí a nástroje, je možné kontrolovat možnou kolizi nástroje s obrobkem či upínačem. [18]



*Obr. 19. Simulace NC programu*

### 3.2.2 Verifikace

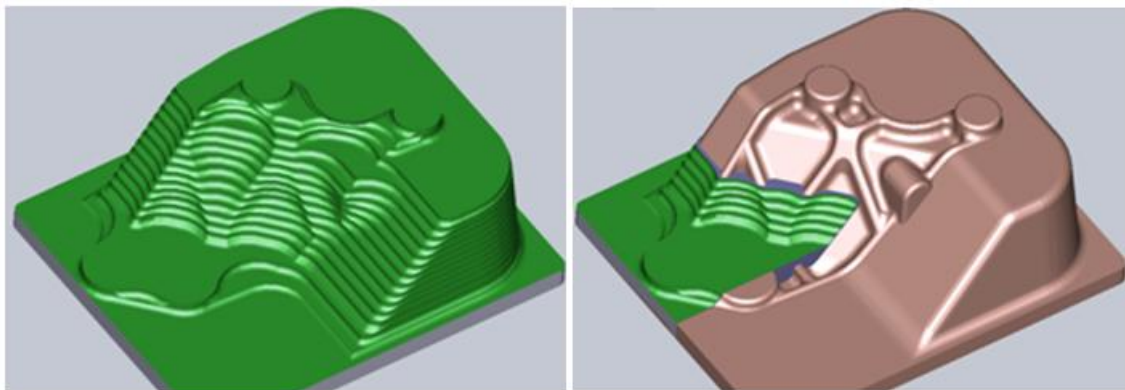
Z důvodů ověřování a sledování problematických částí procesu obrábění obsahují CAM systémy:

- KONTROLU PŘESNOSTI OBROBENÍ

Výkonnější CAD/CAM produkty jsou schopny přepočítat a zobrazit přesnost obrobení, která bude dosažena při použití nastavených parametrů pro obrábění.

- DEFINOVANÉ ŘEZY

Libovolně definovanými řezy získává technolog přesné údaje o obrobených plochách (hloubka vrtaných děr, drážek apod.). Umožňují zjišťovat chyby v zadávání dráhy nástroje. Na tyto definované řezy je možné nahlížet z libovolného bodu v prostoru a z nastavené vzdálenosti.



Obr. 20. Verifikace hrubování - zjišťování přídavek vůči modelu pomocí řezů

### 3.3 CNC program

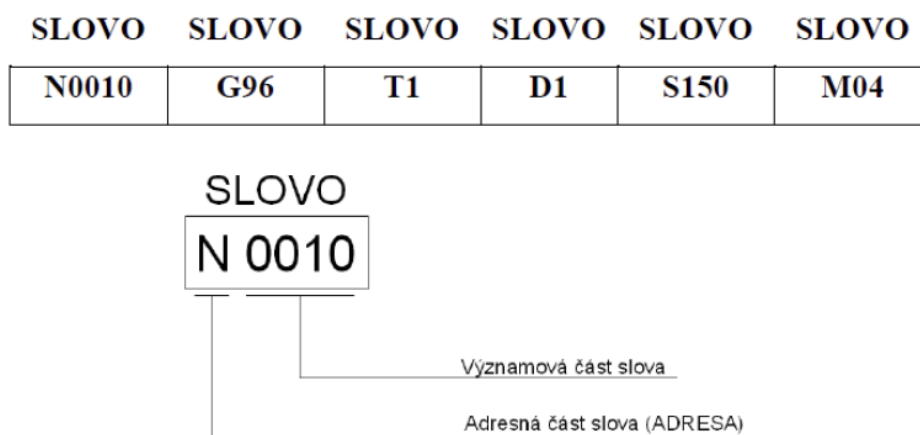
Je soubor geometrických a technologických informací, které vyžaduje řídicí systém obráběcího stroje. Program je zapsán pomocí jednotlivých bloků, každý blok má své číslo. CNC program lze vytvářet přímo na obráběcí stroji nebo jej lze vygenerovat a importovat do řídicího počítače z CAD/CAM pracoviště. Na monitoru PC lze provádět grafickou simulaci obrábění pro kontrolu programu před vlastním obráběním.

CNC program můžeme jednoduše upravovat, doplňovat a musí obsahovat:

- **geometrické informace** udávající:
  - způsob pohybu nástroje - pracovní posuv, rychloposuv

- dráhu nástroje - přímka, kruhový oblouk
- **technologické informace** udávající:
  - velikost posuvu
  - otáčky vřetena - směr otáčení, vypnutí vřetena
  - výměnu nástroje (včetně korekcí nástroje)
  - zapnutí (vypnutí) chlazení
  - konec podprogramu
  - konec programu

Struktura a obsah NC programů řídicího systému Sinumerik vychází z normy DIN 66025. Do bloků jsou zapisovány příkazy (funkce) ve formě jednotlivých slov. První slovo v NC programu není u řídicího systému Sinumerik striktně předepsáno. Poslední blok v postupu opracování obrobku však musí vyjadřovat konec. Jednotlivá slova „NC jazyka“ se dále dělí na adresnou část a numerickou část.



*Obr. 21. Blok NC programu*

Adresový znak je zpravidla jedno písmeno. Numerická část slova může obsahovat znaménko plus nebo minus, číslice, desetinnou tečku a další číslice. Kladné znaménko není nutné psát. Pokud se za desetinnou tečkou objevují jen nuly, rovněž je není nutné vypisovat (ani psát desetinnou tečku). Blok musí obsahovat veškeré informace nezbytné pro



provedení jednoho kroku pracovního postupu. V případě, že některá slova zapisovaná pro provedení kroku jsou shodná se slovy v bloku (nebo blocích) předchozích, není nutné je znovu zapisovat (tzv. není používán pevný formát bloku).

Délka bloku může být maximálně 512 znaků (od SW 5) a posloupnost jednotlivých slov by se z důvodu snadnější orientace měla držet normy (v dnešní době mají však normy pouze doporučující charakter). [16]

*Tab. 3. Struktura obecného formátu bloku*

Popis struktury bloku		Druh informace
N	Číslo bloku	Ostatní
G	Přídavné funkce	Geometrické
X, Y, Z	Souřadnice	
F	Rychlost posuvu	Technologické
S	Otáčky vřetena	
T	Volba nástroje	
M	Pomocné funkce	Pomocné

## 4 SOUŘADNICOVÉ MĚŘICÍ STROJE

### 4.1 Definice

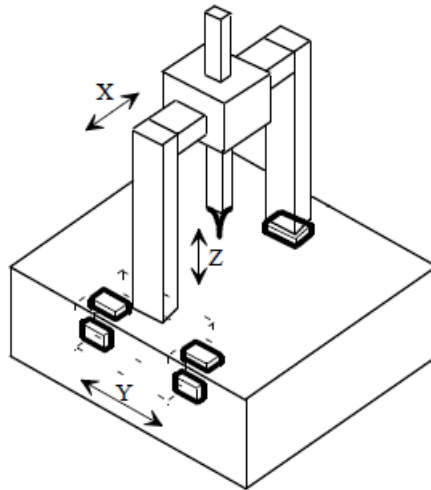
Souřadnicové měřicí stroje představují jednu z nejdůležitějších inovací v oblasti měření ve strojírenství. Překotný vývoj souřadnicových měřicích strojů (Coordinate Measuring Machines - CMM) souvisí se zpřesňováním a zrychlováním výrobního procesu, se kterým musí měřicí, resp. kontrolní technika držet krok. Konstrukce souřadnicových měřicích strojů byla vynucena potřebou měření karoserií v automobilovém a leteckém průmyslu a potřebou měření u NC strojů ve strojírenské výrobě. Princip souřadnicového měření spočívá v tom, že stanovíme základní bod v prostoru a polohy dalších bodů na měřené součásti měříme formou souřadnicových rozměrů v osách X, Y, Z. Možnost určení základního bodu v kterémkoliv místě pracovního prostoru měřicího stroje je velkou výhodou oproti konvenčním metodám.

Ve srovnání s tradičními způsoby měření, kde odečítání naměřených hodnot z jemných stupnic je nejen zdlouhavé, ale i namáhavé, představuje číslcový způsob vyhodnocení výsledků u souřadnicových měřicích strojů značný krok vpřed. Mimo to je většina číslcových souřadnicových měřicích strojů (SMS) uzpůsobena tak, že je možno k nim připojit zařízení pro záznam naměřených hodnot, které automaticky registruje naměřené body. Záznam výsledku slouží jako doklad o provedeném měření, ale může být též podkladem pro statistické metody vyhodnocování měření.

SMS kontroluje výrobky podobným způsobem, jako je NC stroj vyrábí. Pracuje rychle - měřicí časy redukuje asi o 80 %. SMS jsou zvláště vhodné pro rozměrovou kontrolu součástí vyrobených na frézkách, vyvrtávačkách a vrtačkách. SMS ve spojení s počítačovou technikou představuje prostředek pro účinné zvyšování a udržování jakosti ve všech druzích výroby při obrábění i tváření.

Data používaná při definování geometrických prvků součástí konstruovaných za pomoci počítače (systém CAD), jsou potřebná při přípravě řídicích programů pro měření na SMS, tj. i pro řízení jakosti výroby. Tato integrace je vhodná pro výrobu forem pro odlitky a výkovky, pro tvarové plochy karoserií a proudnicové tvary. U těchto součástí se jedná o dva druhy ploch. Nejdříve jsou to plochy, které lze definovat základními geometrickými prvky a potom obecné tvarové plochy, které vyžadují bodové zpracování.

S rozvojem SMS se uplatňují další disciplíny. Jednou z nich je reverzní inženýrství. Při něm lze snímáním prostorových souřadnic reálného objektu, jehož rozměry a tvar přesně neznáme (například opotřebované lisovací formy), převést měřené hodnoty po jejich transformaci do digitálního modelu objektu. [13]



Obr. 22. Mostový SMS



Obr. 23. Souřadnicový měřicí stroj

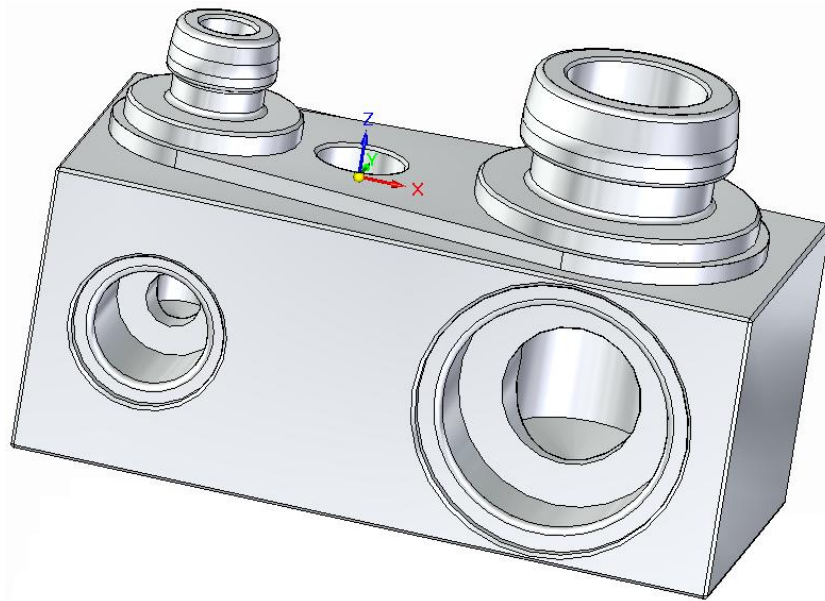
## **II. PRAKTICKÁ ČÁST**

## 5 CÍLE PRAKTICKÉ ČÁSTI

V praktické části práce je popsána výroba dílu, který je určen do sestavy klimatizace automobilu. Výchozím polotovarem je hliníková tvářená slitina, číselné označení slitiny EN AW-6061 T6, označení chemickými značkami EN AW-Al Mg1SiCu dle normy ČSN EN 573-3. Materiálový list profilu je přiložen v příloze. Chemické složení slitiny bylo navrženo s požadavkem na dobrou obrobitelnost a pájitelnost dílu.

### 5.1 Návrh a tvorba výkresové dokumentace vyráběného dílu

3D model dílu byl navržen a vytvořen v programu Solid Edge ST3 od společnosti Siemens PLM Software. Po zvolení materiálu Al slitiny 6061 k tomuto modelu byla vypočtena hmotnost dílu 0,111 kg.

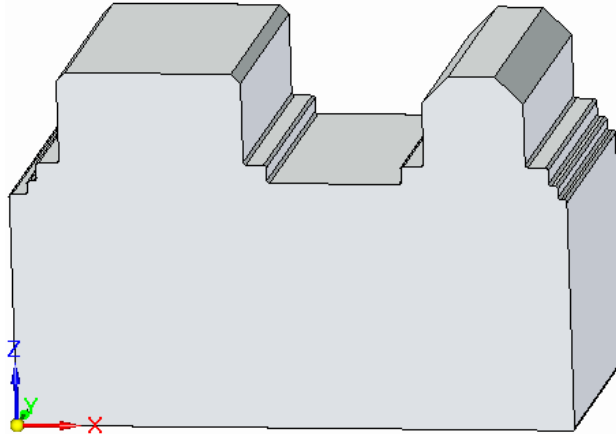


Obr. 24. 3D model dílu vytvořený v Solid Edge ST3

Z 3D modelu byl následně vytvořen výkres dílu, který je součástí přílohy této práce.

## 5.2 Návrh tvaru polotvaru profilu

Z hlediska úspory materiálu a tedy i snížení ceny dílu byl tvar profilu navržen s požadavkem na co nejmenší množství odpadového materiálu. Hmotnost navrženého polotovaru: 0,166 kg. Výkres profilu je obsahem přílohy.

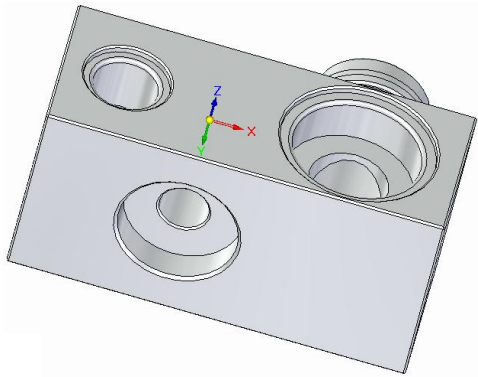


Obr. 25. 3D model polotovaru profilu

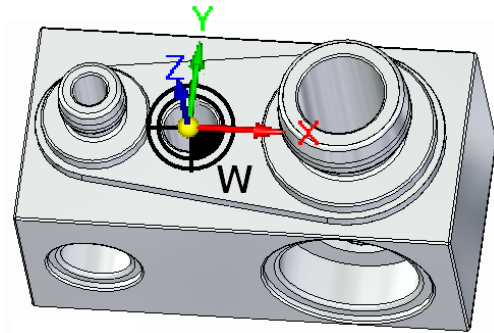
## 5.3 CNC programování

Pro tvorbu CNC obráběcího programu byl zvolen program EdgeCAM 2011R1 od společnosti Vero Software. EdgeCAM je systém, umožňující programování frézovacích, soustružnických a soustružnicko-frézovacích strojů, kombinuje uživatelsky příjemné prostředí a intuitivní ovládání se sofistikovanou tvorbou drah nástrojů. EdgeCAM je kompletní softwarové CAM řešení, jak pro produkční obrábění, tak i pro výrobu tvarových forem a zápustek. S kompletním rozsahem 2 - 5 osých frézovacích operací v kombinaci s dokonalou CAD integrací.

Výroba dílu byla realizována na CNC Chiron FZ12W s řídicím systémem Sinumerik 840D od společnosti Siemens AG. Volbě stroje musí odpovídat zvolený postprocesor v EdgeCAMu. Vzhledem k obrábění dílu ze tří rovin, byl zvolen postup vyrobít díl na dvě upnutí. Na prvním upnutí budou obrobena boční a spodní otvory. Na druhém upnutí nákržky. Aby bylo možné na prvním upnutí díl obrobit ze dvou stran, je nutné použít natáčecí pracovní stůl se 4. osou B. Nulový bod obrobku (W) byl zvolen v ose otvoru D7,5 a v rovině 25 mm od spodní části dílu viz následující obrázky. Umístění nulového bodu je stejné pro první i druhé upnutí.



Obr. 26. Pohled na 1. upnutí



Obr. 27. Pohled na 2. upnutí

#### 5.4 Nastavení řezných podmínek

K obrobení dílu byly použity nástroje ze slinutých karbidů s povlakem Marwin Si Lubrik. Pro zvolený obráběný materiál (slitina Al) a nástroje (SK) jsou výrobcem nástrojů doporučeny následující řezné rychlosti:

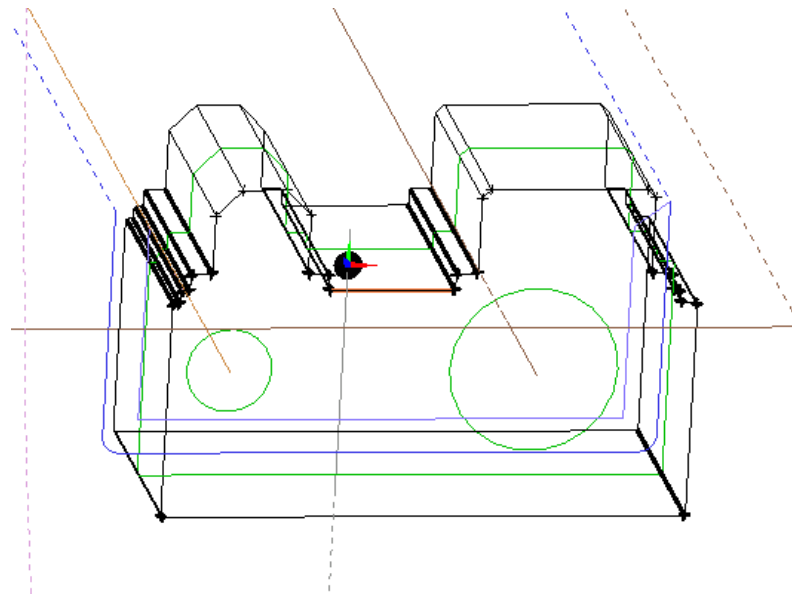
- vyměnitelné břitové destičky (VBD) pro frézovací hlavy: 1000 m/min.
- monolitické frézy: 500 m/min.
- vrtáky: 250 m/min.

Posuv v mm na jednu otáčku nástroje u vrtáků a u fréz na jeden zub nástroje vychází opět z katalogových doporučených hodnot. Výsledné vypočítané otáčky a posuvy nástrojů jsou následující.

Tab. 4. Nastavení řezných podmínek

Číslo nástroje	Popis nástroje	Průměr nástroje [mm]	Otáčky nástroje [-/min.]	Posuv nástroje [mm/min.]	Řezná rychlost [m/min.]
T01	FR.HLAVA D32	32	8 000	5 000	804
T02	VRTAK VR1_T10092	13,1	6 000	1 500	247
T03	VRTAK VR2_T10092	23,5	3 500	1 400	258
T04	FR.UHL.90 ST.D8	8	10 000	4 000	251
T05	VRTAK VR3_T10092	18	4 500	1 200	254
T06	FR.HLAVA D20	20	10 000	3 000	628
T07	FR.VALCOVA D15	15	10 000	3 000	471
T08	VRTAK D4.8	4,8	10 000	1 800	151
T09	VRTAK D12.0	12	6 500	2 000	245
T10	FREZA FR1_T10092	19	8 000	1 800	478
T11	FREZA FR2_T10092	19	8 000	1 800	478

## 5.5 CNC programování – 1. upnutí

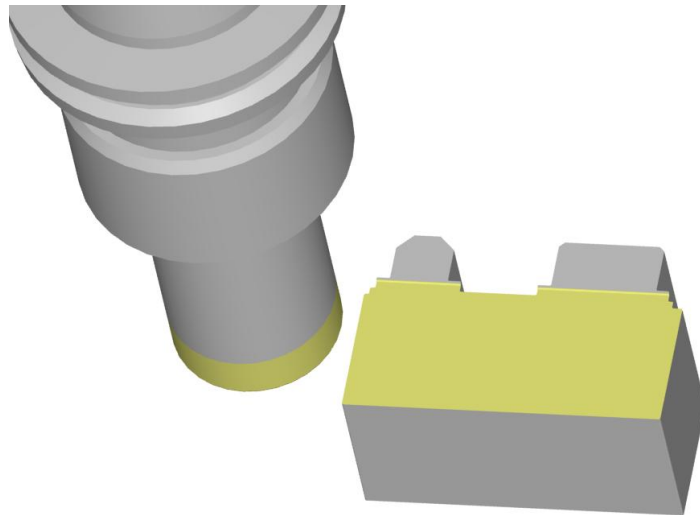


Obr. 28. CNC programování 1. upnutí v EdgeCAM 2011R1

### 5.5.1 Frézování boční strany dílu

K frézování byl použit nástroj T01 frézovací hlava o průměru 32 mm osazená 5 vyměnitelnými břitovými destičkami.

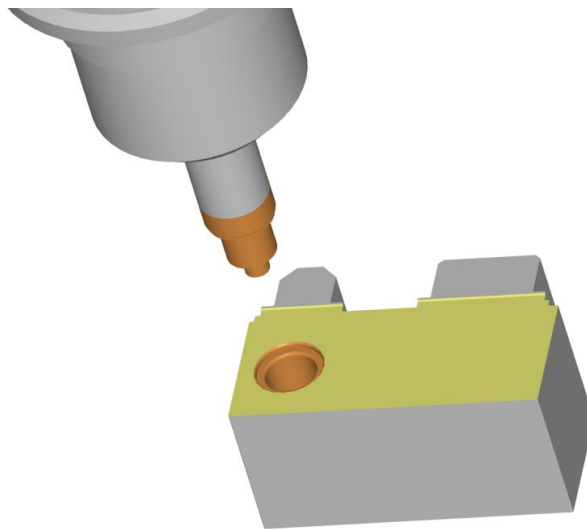




*Obr. 29. Simulace obrábění 1. upnutí nástroj T01*

### **5.5.2 Vrtání bočních otvorů D4,8 / D9,8 / D13,1**

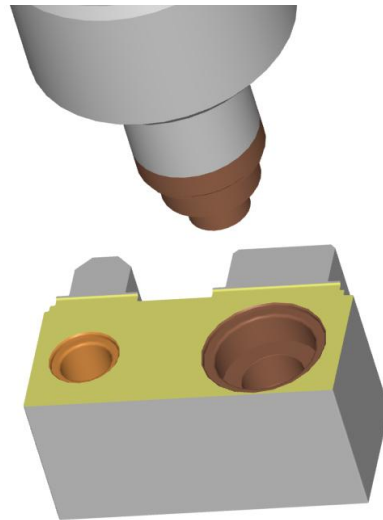
Pro vyvrtání otvorů byl použit kombinovaný vrták T02 - VR1\_T10092, který geometrickým tvarem odpovídá požadavku uvedenému ve výkresu dílu pro daný otvor.



*Obr. 30. Simulace obrábění 1. upnutí nástroj T02*

### **5.5.3 Vrtání bočních otvorů D12 / D19,4 / D23,5**

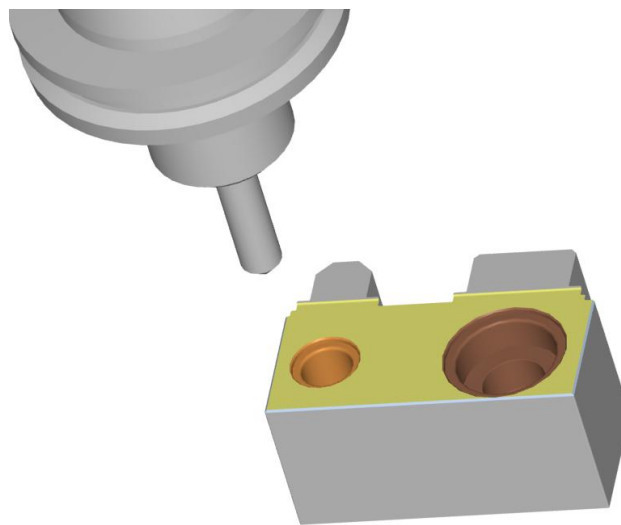
Pro vyvrtání otvorů byl použit kombinovaný vrták T03 - VR2\_T10092, který geometrickým tvarem odpovídá požadavku uvedenému ve výkresu dílu pro daný otvor.



*Obr. 31. Simulace obrábění 1. upnutí nástroj T03*

#### **5.5.4 Frézování sražení hrany na profilu dílu**

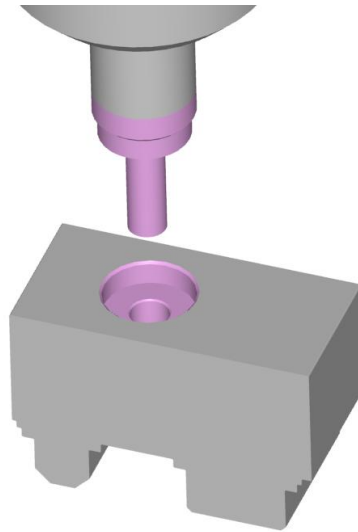
Pro frézování tří bočních hran profilu dílu byl zvolen nástroj T04 fréza úhlová 90° o průměru 8 mm.



*Obr. 32. Simulace obrábění 1. upnutí nástroj T04*

#### **5.5.5 Vrtání spodního otvoru D18 a průchozího otvoru D7,5**

Pro vyvrtání otvorů byl použit kombinovaný vrták T05 - VR3\_T10092, který geometrickým tvarem odpovídá požadavku uvedenému ve výkresu dílu pro daný otvor.



Obr. 33. Simulace obrábění 1. upnutí nástroj T05

Vygenerovaný CNC program je uveden v příloze. Při vygenerování programu je v samostatném souboru vygenerován i seřizovací list.

Strojní čas obrobení prvního upnutí v simulaci obrábění: 40 sekund.

```

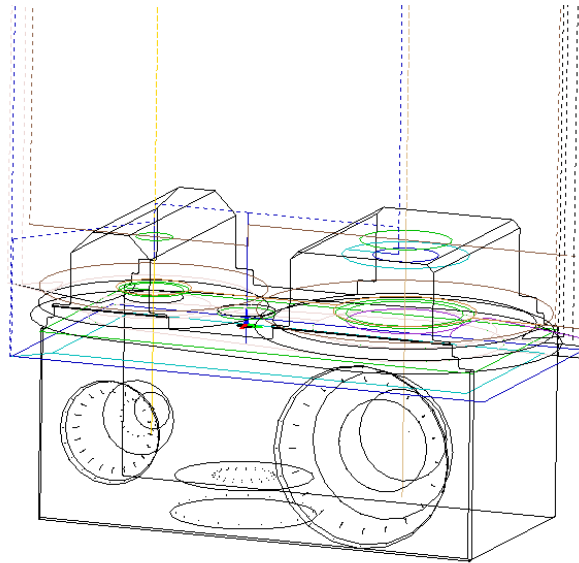
XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX
*                | NAZEV NC PROGRAMU | CISLO UYKRESU | UPNUTI*
*                |                    |               |       *
*                | BL_T10092         | BL-T10092    | 1     *
*-----|-----|-----|-----|-----|-----|
* CHIRON FZ 12 W | DATUM   CAS    | NAZEV SOUCASTI | OPERACE*
* X Y Z B OSY   |          |                |        *
* SINUMERIK 840 D | 06/04/13 14:36:36 | BLOK           | 20    *
XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX
* POZ. | OZNACENI | PRUMER | DELKA | POPIS | CAS *
*-----|-----|-----|-----|-----|-----|
* T01 |          | 32.    | 100.  | FR.HLAVA D32 | 0:08 *
* T02 |          | 4.8    | 100.  | URTAK UR1_T10092 | 0:07 *
* T03 |          | 12.    | 100.  | URTAK UR2_T10092 | 0:07 *
* T04 |          | 8.     | 100.  | FR.UHL.90 ST.D8 | 0:08 *
* T05 |          | 7.5    | 100.  | URTAK UR3_T10092 | 0:10 *
*-----|-----|-----|-----|-----|-----|
*                |                    |               | STROJNI CAS PRO 1 KUS (MIN) = 0.7 *
XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX

```

Obr. 34. Seřizovací list 1. upnutí

## 5.6 CNC programování – 2. upnutí

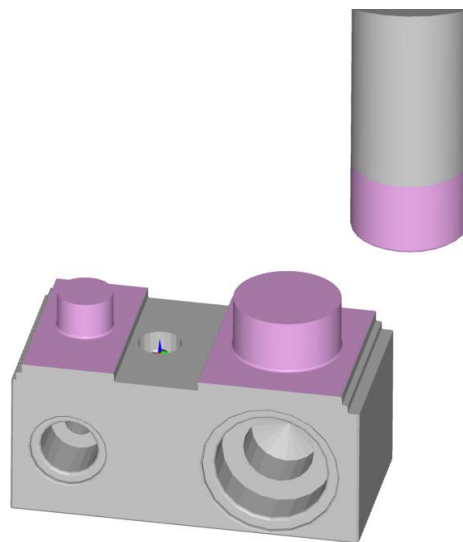
Vstupní polotovar pro 2. upnutí vychází z již vytvořeného objemového tělesa v 1. upnutí.



Obr. 35. CNC programování 2. upnutí v EdgeCAM 2011R1

### 5.6.1 Frézování nákrůžků nahrubo

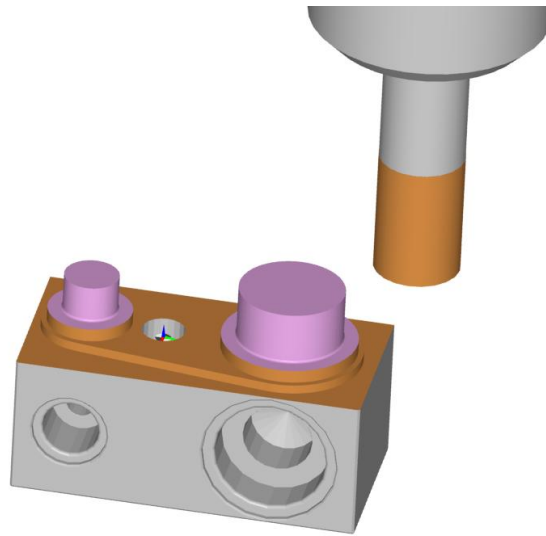
Frézování nákrůžků nahrubo bylo provedeno kruhovou interpolací sousledným obráběním nástrojem T06 - FR.HLAVA D20 s VBD a přídavkem 0,3 mm.



Obr. 36. Simulace obrábění 2. upnutí nástroj T06

### 5.6.2 Frézování základny nákrůžků načisto

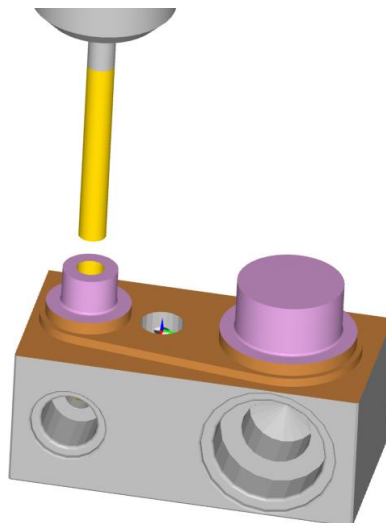
Frézování základny nákrůžků bylo provedeno kruhovou interpolací sousledným obráběním nástrojem T07 - FR.VALCOVA D15.



*Obr. 37. Simulace obrábění 2. upnutí nástroj T07*

### 5.6.3 Vrtání otvoru D4,8

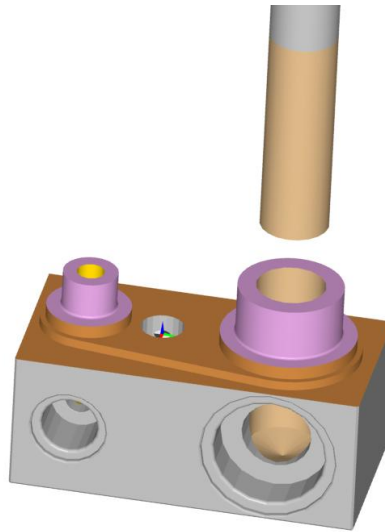
Vyvrtní otvoru D4,8 bylo provedeno nástrojem T08 - VRTAK D4.8.



*Obr. 38. Simulace obrábění 2. upnutí nástroj T08*

### 5.6.4 Vrtání otvoru D12,0

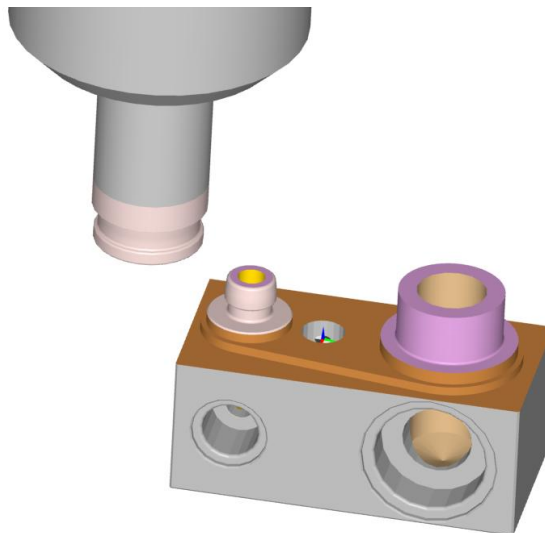
Vyvrtní otvoru D12,0 bylo provedeno nástrojem T09 - VRTAK D12.0.



*Obr. 39. Simulace obrábění 2. upnutí nástroj T09*

#### **5.6.5 Frézování tvaru menšího nákrůžku**

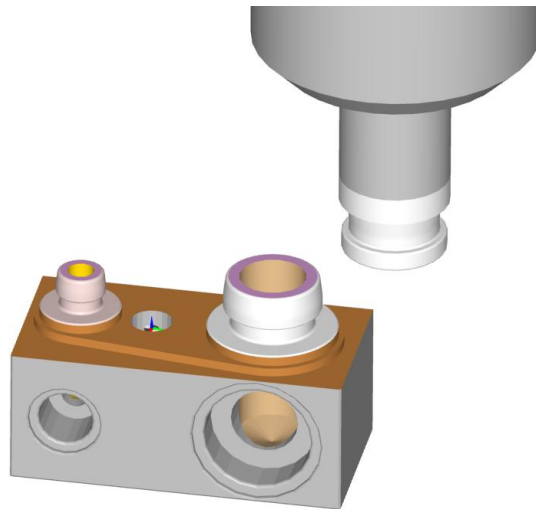
Frézování tvaru menšího nákrůžku bylo provedeno speciální tvarovou frézou T10 - FREZA FR1\_T10092, která geometrickým tvarem odpovídá požadavku uvedenému ve výkresu dílu pro daný nákrůžek. Sousedné frézování.



*Obr. 40. Simulace obrábění 2. upnutí nástroj T10*

#### **5.6.6 Frézování tvaru většího nákrůžku**

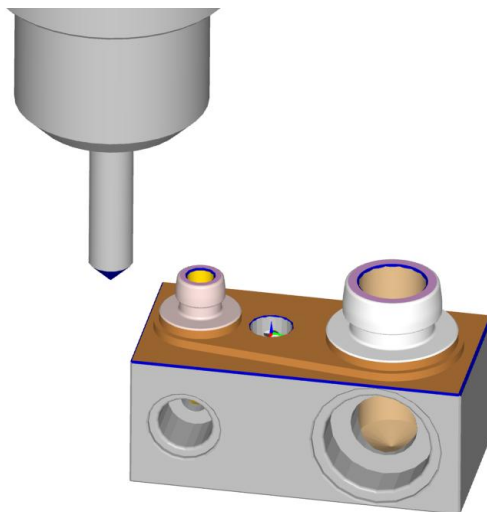
Frézování tvaru většího nákrůžku bylo provedeno speciální tvarovou frézou T11 - FREZA FR2\_T10092, která geometrickým tvarem odpovídá požadavku uvedenému ve výkresu dílu pro daný nákrůžek. Sousedné frézování.



Obr. 41. Simulace obrábění 2. upnutí nástroj T11

#### 5.6.7 Frézování sražení hrany na profilu dílu a v otvorech

Pro frézování čtyř bočních hran profilu dílu a sražení v otvorech D4,8 , D7,5 a D12 byl zvolen nástroj T04 fréza úhlová 90° o průměru 8 mm.



Obr. 42. Simulace obrábění 2. upnutí nástroj T04

Vygenerovaný CNC program je uveden v příloze. Strojní čas obrobení druhého upnutí v simulaci obrábění: 76 sekund.

```

XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX
*          | NAZEU NC PROGRAMU | CISLO UYKRESU | UPNUTI*
*          |          |          |          *
*          | BL_T10092 | BL-T10092 | 2 *
*-----|-----|-----|-----|
* CHIRON FZ 12 W | DATUM CAS | NAZEU SOUCASTI | OPERACE*
* X Y Z OSY |          |          |          *
* SINUMERIK 840 D | 06/04/13 15:12:26 | BLOK | 20 *
XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX
* POZ. | OZNACENI | PRUMER | DELKA | POPIS | CAS *
*-----|-----|-----|-----|-----|
*          |          |          |          |          |          *
* T06 |          | 20. | 100. | FR.HLAVA D20 | 0:13 *
* T07 |          | 15. | 100. | FR.UALCOVA D15 | 0:15 *
* T08 |          | 4.8 | 100. | URTAK D4.8 | 0:08 *
* T09 |          | 12. | 100. | URTAK D12.0 | 0:08 *
* T10 |          | 19. | 100. | FREZA FR1_T10092 | 0:10 *
* T11 |          | 19. | 100. | FREZA FR2_T10092 | 0:11 *
* T04 |          | 8. | 100. | FR.UHL.90 ST.D8 | 0:11 *
*          |          |          |          |          |          *
XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX
*
* STROJNI CAS PRO 1 KUS (MIN) = 1.3 *
XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX

```

Obr. 43. Seřizovací list 2. upnutí



Tab. 5. Seznam použitých G, M a ostatních funkcí v CNC programu

G0	RYCHLOPOSUV
G1	LINEÁRNÍ INTERPOLACE
G2	KRUHOVÁ INTERPOLACE VE SMĚRU HOD. RUČÍČEK
G3	KRUHOVÁ INTERPOLACE PROTI SMĚRU HOD. RUČÍČEK
G17	PRACOVNÍ ROVINA, XY - POLOMĚROVÁ KOREKCE, Z - DÉLKOVÁ KOREKCE
G40	VYPNUTÍ POLOMĚROVÉ KOREKCE NÁSTROJE
G41	ZAPNUTÍ POLOMĚROVÉ KOREKCE NÁSTROJE, VLEVO OD KONTURY
G53	VYPNUTÍ PROGRAMOVATELNÉHO POSUNUTÍ NB
G54	VYVOLÁNÍ PROGRAMOVATELNÉHO POSUNUTÍ NB
G60	PŘESNÉ ZASTAVENÍ
G64	DRÁHOVÝ REŽIM
G71	PROGRAMOVÁNÍ V METRICKÝCH MÍRÁCH
G90	PROGRAMOVÁNÍ V ABSOLUTNÍCH HODNOTÁCH
G94	POSUV V MM/MIN
G451	KOREKCE VENKOVNÍCH HRAN, NÁSTROJ ŘEŽE DO HRANY OBROBKU
G601	POKRAČOVAT, POKUD JE DOSAŽENO JEMNÉ POLOHOVACÍ OKNO
CFTCP	KONSTANTNÍ POSUV NA DRÁZE STŘEDU NÁSTROJE
NORM	POHYB NÁSTROJE PO PŘÍMCE A SVISLE K BODU KONTURY
CDON	HLÍDÁNÍ KOLIZE, VYHODNOCENÍ HRDLA ZAPNOUT
M3	OTÁČKY VŘETENE NÁSTROJE DOPRAVA (VE SMĚRU HOD. RUČÍČEK)
M6	VÝMĚNA NÁSTROJE
M7	ZAPNUTÍ VNITŘNÍHO CHLAZENÍ
M8	ZAPNUTÍ VNĚJŠÍHO CHLAZENÍ
M11	ODEPNUTÍ HYDRAULICKÉHO UPÍNÁNÍ OBROBKŮ
M17	KONEC PODPROGRAMU
M30	KONEC PROGRAMU
M31	OTOČENÍ OBRABĚČÍHO STOLU STRANA 1
M32	OTOČENÍ OBRABĚČÍHO STOLU STRANA 2
M60	IMPULS PRO POČÍTADLO OBROBKŮ
M95	VYPNUTÍ CHLAZENÍ A ZASTAVENÍ VŘETENE (M9 + M5)
X	OSA
Y	OSA
Z	OSA
B	ROTAČNÍ OSA
I	INTERPOLAČNÍ PARAMETR
J	INTERPOLAČNÍ PARAMETR
D	ČÍSLO BŘITU
F	POSUV
L	PODPROGRAM
R	VÝPOČTOVÝ PARAMETR
S	OTÁČKY VŘETENE V -/MIN
T	ČÍSLO NÁSTROJE
H1	ZAPNUTÍ ČASOVÝCH STOPEK
H2	VYPNUTÍ ČASOVÝCH STOPEK
GOTOB	SKOK DOPŘEDU NA NÁVĚŠTÍ
RET	KONEC PODPROGRAMU
;	KOMENTÁŘ
%	NÁZEV PROGRAMU NEBO PODPROGRAMU

## 6 VÝROBA DÍLU

### 6.1 Technické parametry vertikálního CNC stroje Chiron FZ 12W

Vertikální obráběcí centrum je vhodné pro obrábění středně velkých a menších součástí. Stroj je vybaven stolem se čtvrtou osou umožňující obrábění součástí na jedno upnutí z několika stran. Výrobce Chiron WERKE GmbH. Při obrábění byla použita vodou mísitelná chladicí kapalina Rhenus FU 750 s koncentrací 8%.

Tab. 6. Technické parametry CNC stroje Chiron FZ 12W

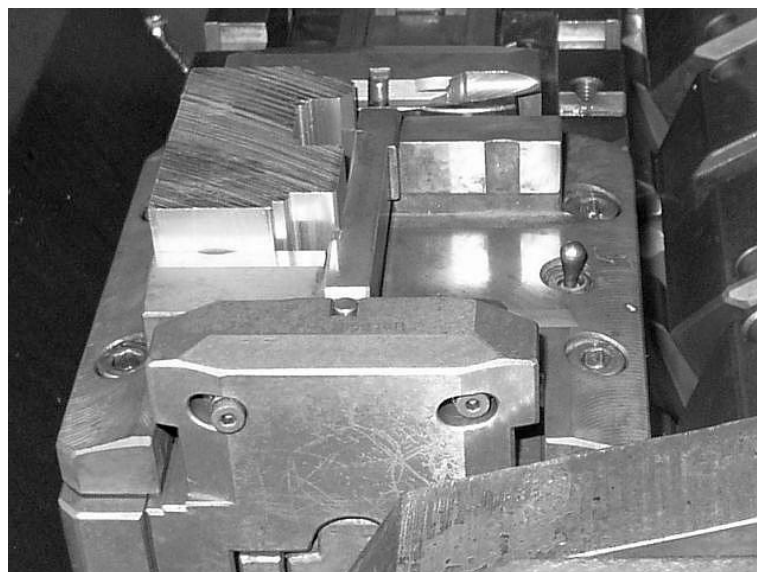
Pojezdy X-osa	550 mm
Y-osa	300 mm
Z-osa	425 mm
B-osa	360°
Pohon vřetene	5,0 kW při 100% ED    9,5 kW při 25% ED
Rozsah otáček	20 - 10 500 ot. /min.
Krouticí moment	60 Nm
Nástrojový kužel	SK 40 DIN 69871
Čas výměny nástroje	2,4 sekund
Počet nástrojových míst	20
Upínací plocha stolu	2 x 660 x 350 mm
Max. zatížení stolu	100 kg
Čas pro otočení stolu	2,9 sekund
Pohony posuvů XYZ	AC servomotory s nepřímým absol. odměřováním
Rychloposuv XYZ	40 m/min.
Zrychlení	0,25 g
Max. příkon	11 kVA
Hmotnost stroje	3 000 kg
Řídicí systém	Siemens CNC Sinumerik 840D MMC 100.2 / NCU 571.2 6-osé
CNC programování	dle DIN 66025



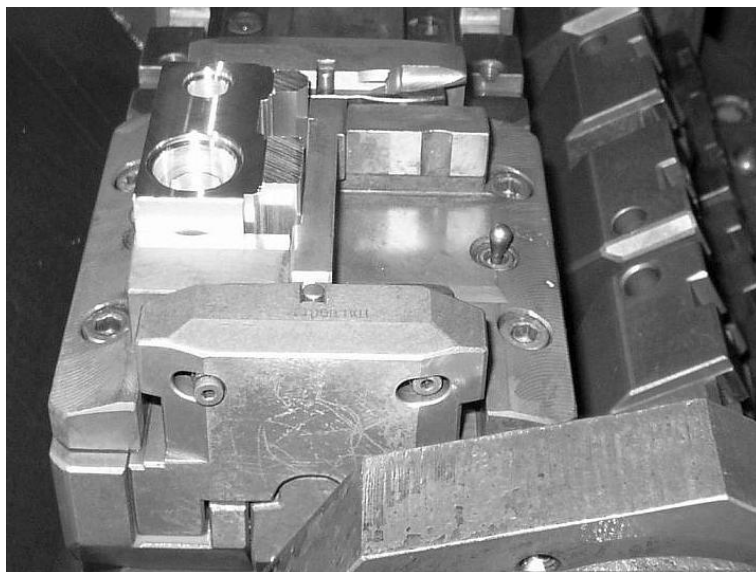
*Obr. 44. Obráběcí centrum Chiron FZ 12W*

## **6.2 Obrobení 1. upnutí**

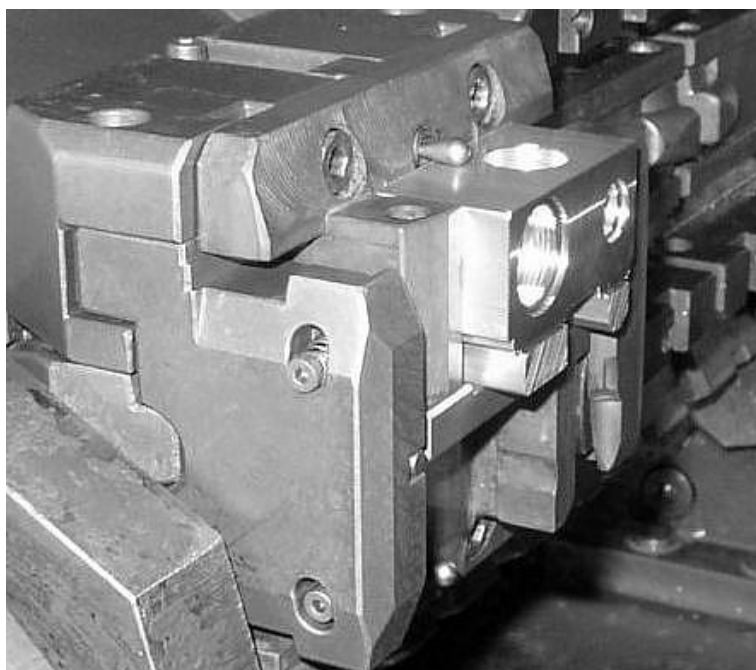
První upnutí dílu bylo vyrobeno na otočném stole s 4. osou B v hydraulických upínačích. Skutečný čas obrobení prvního upnutí: 50 sekund.



*Obr. 45. Před obrobením 1. upnutí*



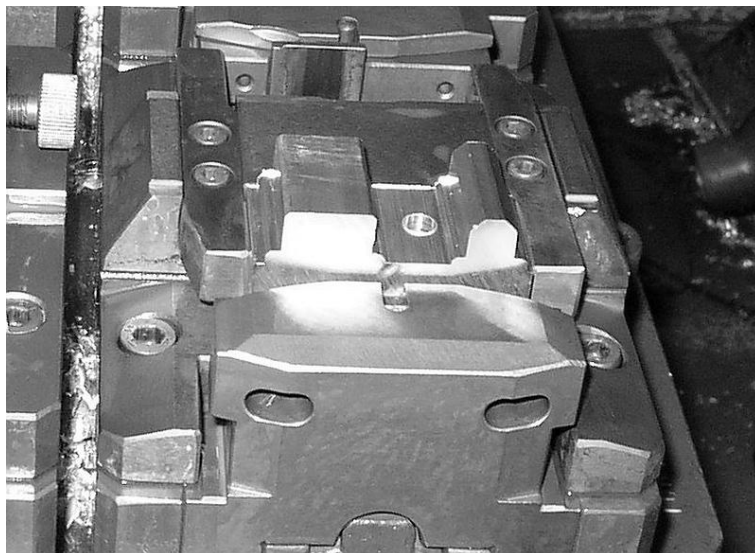
*Obr. 46. Po obrobení boční roviny obrobku 1. upnutí*



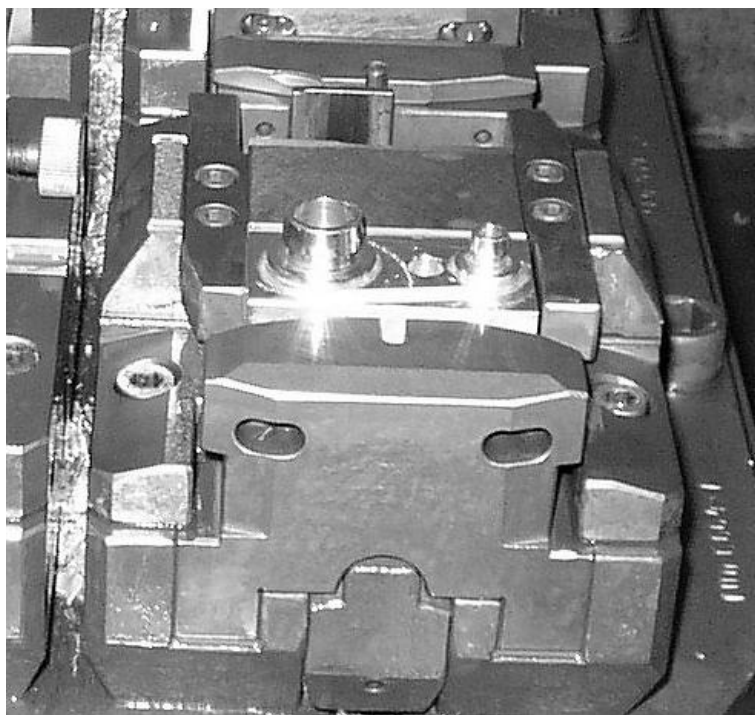
*Obr. 47. Po obrobení spodní roviny obrobku 1. upnutí*

### 6.3 Obrobení 2. upnutí

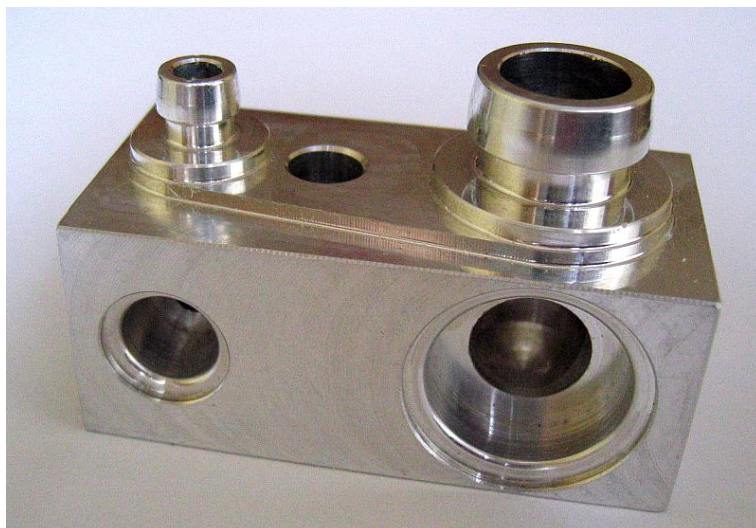
Skutečný čas obrobení druhého upnutí: 89 sekund.



*Obr. 48. Před obrobením 2. upnutí*



*Obr. 49. Po obrobení 2. upnutí*



*Obr. 50. Vyrobený díl*

## 7 NÁSTROJE

Nástroje použité pro výrobu dílu byly navrženy z SK materiálu.

Nástroje byly upnuty v nástrojovém upínacím kuželu SK 40 DIN 69871.

*Tab. 7. Materiál nástrojů*

Typ	CKi10
Wolfram (WC)	90%
Kobalt (Co)	10%
Velikost zrna	0,5-0,8 $\mu\text{m}$
Tvrdość HV 30	1610
Pevnosť v ohybu	3600 N/mm <sup>2</sup>

Geometrie nástrojů.

*Tab. 8. Geometrie nástrojů*

úhel hřbetu $\alpha$	10°
úhel břitu $\beta$	65°
úhel čela $\gamma$	15°

Charakteristika povlaku: Nanokompozitní povlak tvořený TiAlSiN a zakončený kluznou vrstvou s obsahem oxidů a uhlíku.

*Tab. 9. Povlak nástrojů*

Typ	Marwin Si Lubrik
Mikrotvrdość	45 GPa
Tloušťka	2-3 $\mu\text{m}$
Složení vrstev	TiN + TiAlSiN + AlTiSiN + Lubrik



*Obr. 51. Monolitické SK vrtáky, zleva T02, T03, T05, T08 a T09*



*Obr. 52. Monolitické SK frézy, zleva T07, T10, T11 a T04*





*Obr. 53. Frézovací hlavy osazené VBD, zleva T01 a T06*

Tab. 10. Nástrojový list

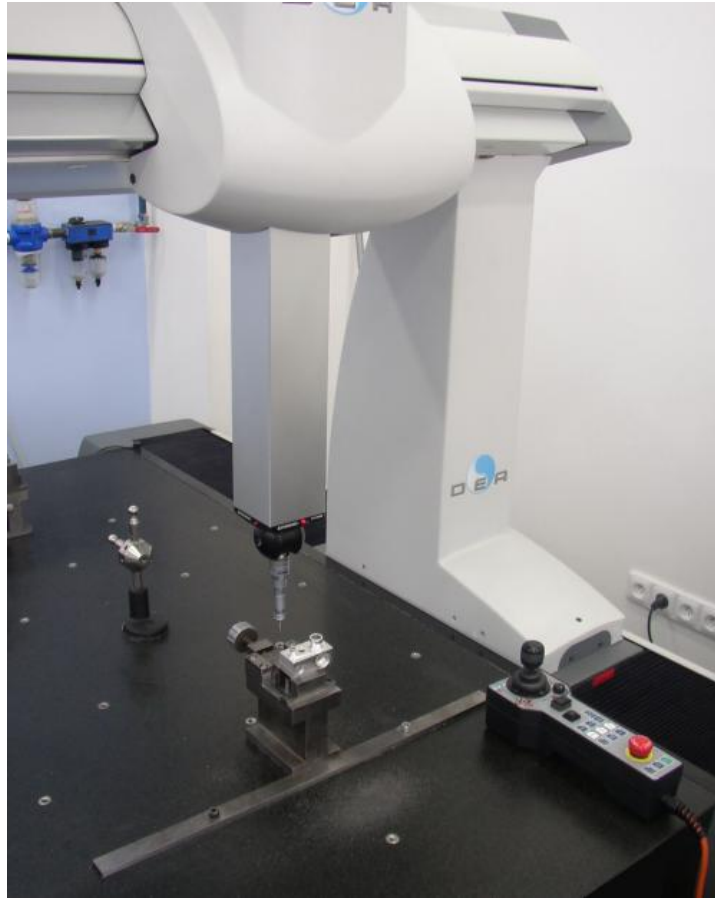
Nástrojový list					
Název součásti	BLOK		Polotovary	PROFIL PR-T10092	
Číslo výkresu	BL-T10092		Hmotnost polotovaru	0,165 kg	
Obráběcí program	BL_T10092		Materiál	EN AW-6061 T6	
CNC obráběcí stroj	Chiron FZ 12W				
Vypracoval	Hasoň Karel		Počet listů	1	
Datum	1. 4. 2013		Číslo revize	ne	
Číslo nástroje	Typ nástroje	Otáčky nástroje [ot/min.]	Posuvová rychlost [mm/min.]	Délková korekce [mm]	Poloměrová korekce [mm]
	Označení nástroje				
T01	Frézovací hlava $\varnothing$ 32	8 000	5 000	100	16
	F3042.M.032.Z05.09 VBD APHT0903PPR -K88WK10				
T02	Vrták stupň. $\varnothing$ 4,8 , $\varnothing$ 9,8 a $\varnothing$ 13,1	6 000	1 500	100	0
	VR1_T10092				
T03	Vrták stupň. $\varnothing$ 12 , $\varnothing$ 19,4 a $\varnothing$ 23,5	3 500	1 400	100	0
	VR2_T10092				
T04	Fréza úhlová 90° $\varnothing$ 8	10 000	4 000	100	4
	F 1850E.Z.08.Z4.20.00.C				
T05	Vrták stupňovitý $\varnothing$ 7,5 a $\varnothing$ 18	4 500	1 200	100	0
	VR3_T10092				
T06	Frézovací hlava $\varnothing$ 20	10 000	3 000	100	10
	F3042.M.020.Z03.09 VBD APHT0903PPR -K88WK10				
T07	Fréza válcová $\varnothing$ 15	10 000	3 000	100	7,5
	F 1843E.Z.15.Z4.32.30.C				
T08	Vrták $\varnothing$ 4,8	10 000	1 800	100	0
	B1422.Z.4,8.Z2.35				
T09	Vrták $\varnothing$ 12	6 500	2 000	100	0
	B1422.Z.12.Z2.56				
T10	Fréza tvarová $\varnothing$ 18	8 000	1 800	100	9
	FR1_T10092				
T11	Fréza tvarová $\varnothing$ 18	8 000	1 800	100	9
	FR2_T10092				

## 8 KONTROLA DÍLU

Rozměrová kontrola dílu byla provedena na souřadnicovém měřicím portálovém stroji Dea Global, se svislou pinolou, CNC bez teplotní kompenzace. Výrobce DEA Hexagon Metrology. Změřené rozměry byly v toleranci, protokol o proměření je přiložen v příloze.

*Tab. 11. Technické parametry SMS Dea Global*

Typ	DEA Global 07.10.05
Snímací hlava	PH10 MQ Renishaw
Snímací systém	TP 200 Renishaw
Řídicí systém	FB2 DEA, PI 200 a PHC 10-2 Renishaw
Výpočetní software	PC DMIS++
Rozsah souřadnic	700 x 1000 x 500 mm (X x Y x Z)
Rozlišitelnost měření	0,1 $\mu\text{m}$
Podmínky měření	(22,0 $\pm$ 0,5) $^{\circ}\text{C}$
Přesnost stroje	$MPE_E = (1,7 + L/333) \mu\text{m}$ $MPE_P = 1,9 \mu\text{m}$ L ... měřená délka v mm
Nejistota měření	$U = (0,2 + 2 \cdot l_n) \mu\text{m}$ $l_n$ ... jmenovitá délka v metrech



*Obr. 54. Souřadnicový měřicí stroj Dea Global*

Kontrola jakosti povrchu byla změřena na kontaktním měřicím přístroji Mahr Perthometer S2. Výsledek měření, u drsnosti Ra1,6 naměřena hodnota 0,179  $\mu\text{m}$ , u drsnosti Ra3,2 naměřena hodnota 0,110  $\mu\text{m}$ . Protokol o proměření je přiložen v příloze.



*Obr. 55. Měřicí přístroj na měření jakosti povrchu  
Mahr Perthometer S2*

## ZÁVĚR

Prvním úkolem bylo vytvoření modelu dílu pomocí programu Solid Edge ST3. Následně byl z tohoto modelu vytvořen výkres dílu. Z daného modelu dílu byl poté navržen tvar profilu tyče s požadavkem co nejmenšího odpadu materiálu při obrábění. Pro výrobu dílu byl zvolen materiál hliníková tvářená slitina EN AW-6061 T6. Tato slitina se vyznačuje dobrou odolností proti korozi, dobrou obrobiteľností a pájitelností.

Podle vytvořeného výkresu dílu byl v programu EdgeCAM navržen a realizován sled operací obrobení. Následně bylo simulací a verifikací ověřen bez kolizní průběh obrobení dílu. Posledním krokem bylo vygenerování NC kódu pomocí navoleného postprocesoru pro daný obráběcí stroj Chiron FZ 12W. Současně se automaticky vygeneroval i seřizovací list.

Dalším úkolem byla samotná výroba dílu, která byla realizována na obráběcím stroji Chiron FZ 12W. Obráběcí nástroje byly upnuty do upínacích kuželů SK40. V optickém seřizovacím přístroji byly proměřeny délkové a poloměrové korekce, které byly následně zadány do stroje. Pomocí programu NC komunikace byl vygenerovaný NC kód nahrán do předem zvoleného adresáře v obráběcím stroji. Polotovár k obrobení byl upnutý do univerzálního hydraulického upínače. Po vyrobení prvního upnutí byl díl upnutý do druhého upínače k doobrobení druhého upnutí. Porovnáním skutečného času obrobení s časem při simulaci byly zjištěny rozdíly, které byly dány hlavně pohybem při rychloposuvu a výměnou nástrojů. Hmotnost vyrobeného dílu se shodovala s vypočítanou hmotností modelu v Solid Edge.

Na závěr byl vyrobený díl podroben rozměrové kontrole na souřadnicovém měřicím stroji Dea Global a kontrole jakosti povrchu na měřicím přístroji Mahr Perthometer S2. Vyrobený díl naměřenými rozměry vyhovoval výkresu dílu. Lze konstatovat, že práce proběhla úspěšně.

V příloze jsou na CD uloženy zdrojové soubory, které byly při této práci vytvořeny.

**SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY**

- [1] *Technologie frézování: pracovní listy* [online]. Šumperk, 2007 [cit. 2013-01-27]. Dostupné z: [http://www.sossou-spk.cz/esf/TEC\\_fr.pdf](http://www.sossou-spk.cz/esf/TEC_fr.pdf). Střední odborná škola a Střední odborné učiliště.
- [2] *Řezné podmínky při obrábění: podklad pro výuku předmětu TECHNOLOGIE III - OBRÁBĚNÍ* [online]. Liberec, 2001 [cit. 2013-01-27]. Dostupné z: [http://www.kom.tul.cz/soubory/tob\\_rp.pdf](http://www.kom.tul.cz/soubory/tob_rp.pdf). Katedra obrábění a montáže.
- [3] BILÍK, Oldřich a Martin VRABEC. *Technologie obrábění s využitím CAD/CAM systémů*. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava, Strojní fakulta, 2002, 128 s. ISBN 80-248-0034-9.
- [4] BRYCHTA, Josef. *Výrobní stroje obráběcí*. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita, 2003, 147 s. ISBN 80-248-0237-6.
- [5] FOREJT, Milan. *Teorie obrábění, tváření a nástroje*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2006, 225 s. ISBN 80-214-2374-9.
- [6] HLUCHÝ, Miroslav a Jan KOLOUCH. *Strojírenská technologie I. 3.*, přeprac. vyd. Praha: Scientia, 2002, 266 s. ISBN 80-718-3262-6.
- [7] JANDEČKA, Karel. *Postprocesory a programování NC strojů*. Ústí nad Labem: UJEP, FVTM, 2007, 244 s. Knižnice strojírenské technologie. ISBN 978-80-7044-870-0.
- [8] KELLER, Petr. *Programování a řízení CNC strojů: Prezentace přednášek – 2. část* [online]. 2005 [cit. 2013-01-27]. Dostupné z: [http://www.kvs.tul.cz/download/cnc\\_cadcam/pnc\\_2.pdf](http://www.kvs.tul.cz/download/cnc_cadcam/pnc_2.pdf). Technická univerzita v Liberci.
- [9] KOČMAN, Karel. *Technologie obrábění*. 2. vyd. Brno: CERM, 2005, 270 s. ISBN 80-214-3068-0.
- [10] KRÍŽ, Rudolf. *Strojírenská příručka: 24 oddílů v osmi svazcích. Svazek 2, D - Měřicí technika a bezdemontážní diagnostika ; E - Regulační technika ; F - CIM - Počítačová podpora výrobního procesu*. Praha: Scientia, 1993, 224 s. ISBN 80-858-2700-X.

- [11] MÁDL, Ján. *Optimalizace při obrábění (řezné parametry)* [online]. Praha, 1998 [cit. 2013-01-28]. Dostupné z: <http://fstroj.utc.sk/journal/sk/013/013.htm>. ČVUT Strojní fakulta.
- [12] MORÁVEK, Rudolf. *Nekonvenční metody obrábění*. 2. vyd. Plzeň: Západočeská univerzita, Strojní fakulta, 1999, 102 s. ISBN 80-708-2518-9.
- [13] NENÁHLO, Čeněk. MM Průmyslové spektrum: Souřadnicová měřicí technika. [online]. 2011 [cit. 2013-01-28]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/souradnicova-merici-technika.html>
- [14] OPLATEK, František. *Číslicové řízení obráběcích strojů*. Havlíčkův Brod: Fragment, 1998, 64 s. Učebnice pro odborné školy (Fragment). ISBN 80-720-0294-5.
- [15] POKORNÝ, Přemysl. *Souřadnicové měřicí stroje*. Liberec: Technická univerzita, Strojní fakulta, 1998, 76 s. ISBN 80-708-3326-2.
- [16] POLZER, Aleš. *Akademie CNC obrábění* [online]. Brno, 2012 [cit. 2013-01-28]. Dostupné z: <http://www.technickytydenik.cz/rubriky/serial/akademie-cnc-obrabeni/>. Vysoké učení technické.
- [17] ŘASA, Jaroslav, Přemysl POKORNÝ a Vladimír GABRIEL. *Strojírenská technologie 3*. 2. vyd. Praha: Scientia, 2005, 221 s. ISBN 80-7183-336-3.
- [18] SADÍLEK, Marek. *Počítačová podpora výroby* [online]. Ostrava, 2011 [cit. 2013-01-28]. Dostupné z: <http://projekty.fs.vsb.cz/147/ucebniopory/978-80-248-2738-4.pdf>. Vysoká škola báňská Technická univerzita.
- [19] ŠTULPA, Miloslav. *CNC: obráběcí stroje a jejich programování*. Praha: BEN - technická literatura, 2006, 126 s. ISBN 80-730-0207-8.
- [20] VRABEC, Martin a Jan MÁDL. *NC programování v obrábění*. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2004, 92 s. ISBN 80-01-03045-8.

**SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK**

$a_e$	šířka frézované plochy [mm]
$a_p$	hloubka řezu [mm]
CAD	Computer Aided Design - počítačová podpora konstruování
CAE	Computer Aided Engineering - počítačová podpora inženýrských činností
CAM	Computer Aided Manufacturing - počítačová podpora výroby
CAPE	Computer Aided Production Engineering - systém pro tvorbu a údržbu informací
CAPP	Computer Aided Process Planning - počítačová podpora plánování výroby
CAQ	Computer Aided Quality - počítačová podpora kontroly a řízení jakosti
CD	Compact Disc - kompaktní disk
CIM	Computer Integrated Manufacturing - počítačem integrovaná výroba
CMM	Coordinate Measuring Machines - souřadnicový měřicí stroj
CNC	Computer Numerical Control - číslíkové řízení pomocí počítače
D	průměr nástroje [mm]
DNC	Direct Numerical Control - centrálním počítačem řízená a kontrolovaná síť
f	posuv [mm/min]
$f_z$	posuv na zub [mm]
HSC	High Speed Cutting - vysokorychlostní obrábění
HW	Hardware
KNB	Kubický Nitrid Boru
MC	Motion Control - řízení pohybu
n	počet otáček vřetene [1/min]
NC	Numerical Control - číslíkové řízení
PC	Personal Computer - osobní počítač



---

PLC	Programmable Logic Control - programovatelný logický automat
RO	Rychlořezná Ocel
SK	Slinutý Karbid
SMS	Souřadnicový Měřicí Stroj
SW	Software
TPV	Technologická Příprava Výroby
$v_c$	řezná rychlost [m/min]
$\mu I$	mikrointerpolátor

## SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obr. 1. Dráha ostří zuby .....</i>	13
<i>Obr. 2. Geometrie břítu frézy.....</i>	13
<i>Obr. 3. Frézovací nástroj.....</i>	15
<i>Obr. 4. Geometrie frézovacích nástrojů s destičkami .....</i>	16
<i>Obr. 5. Popis frézování.....</i>	17
<i>Obr. 6. Nesousledné obrábění .....</i>	18
<i>Obr. 7. Sousledné obrábění .....</i>	19
<i>Obr. 8. Frézování čelem nástroje.....</i>	20
<i>Obr. 9. Okružní frézování .....</i>	20
<i>Obr. 10. Planetové frézování .....</i>	21
<i>Obr. 11. Blokované schéma CNC systému .....</i>	28
<i>Obr. 12. Přímé a nepřímé odměřování CNC stroje .....</i>	30
<i>Obr. 13. Souřadný systém stroje .....</i>	31
<i>Obr. 14. Pravotočivý kartézský souřadný systém.....</i>	31
<i>Obr. 15. Vztažné body CNC stroje .....</i>	32
<i>Obr. 16. Systémy se souvislým řízením os .....</i>	33
<i>Obr. 17. Celková koncepce počítačem integrovaného výrobního systému .....</i>	35
<i>Obr. 18. Hierarchie výroby součásti pomocí CAD/CAM systémů.....</i>	37
<i>Obr. 19. Simulace NC programu .....</i>	38
<i>Obr. 20. Verifikace hrubování - zjišťování přídavek vůči modelu pomocí řezů.....</i>	39
<i>Obr. 21. Blok NC programu .....</i>	40
<i>Obr. 22. Mostový SMS.....</i>	43
<i>Obr. 23. Souřadnicový měřicí stroj.....</i>	43
<i>Obr. 24. 3D model dílu vytvořený v Solid Edge ST3 .....</i>	45
<i>Obr. 25. 3D model polotovaru profilu .....</i>	46
<i>Obr. 26. Pohled na 1. upnutí .....</i>	47
<i>Obr. 27. Pohled na 2. upnutí .....</i>	47
<i>Obr. 28. CNC programování 1. upnutí v EdgeCAM 2011R1.....</i>	48
<i>Obr. 29. Simulace obrábění 1. upnutí nástroj T01 .....</i>	49
<i>Obr. 30. Simulace obrábění 1. upnutí nástroj T02 .....</i>	49
<i>Obr. 31. Simulace obrábění 1. upnutí nástroj T03 .....</i>	50

<i>Obr. 32. Simulace obrábění 1. upnutí nástroj T04</i> .....	50
<i>Obr. 33. Simulace obrábění 1. upnutí nástroj T05</i> .....	51
<i>Obr. 34. Seřizovací list 1. upnutí</i> .....	51
<i>Obr. 35. CNC programování 2. upnutí v EdgeCAM 2011R1</i> .....	52
<i>Obr. 36. Simulace obrábění 2. upnutí nástroj T06</i> .....	52
<i>Obr. 37. Simulace obrábění 2. upnutí nástroj T07</i> .....	53
<i>Obr. 38. Simulace obrábění 2. upnutí nástroj T08</i> .....	53
<i>Obr. 39. Simulace obrábění 2. upnutí nástroj T09</i> .....	54
<i>Obr. 40. Simulace obrábění 2. upnutí nástroj T10</i> .....	54
<i>Obr. 41. Simulace obrábění 2. upnutí nástroj T11</i> .....	55
<i>Obr. 42. Simulace obrábění 2. upnutí nástroj T04</i> .....	55
<i>Obr. 43. Seřizovací list 2. upnutí</i> .....	56
<i>Obr. 44. Obráběcí centrum Chiron FZ 12W</i> .....	59
<i>Obr. 45. Před obrobením 1. upnutí</i> .....	59
<i>Obr. 46. Po obrobení boční roviny obrobku 1. upnutí</i> .....	60
<i>Obr. 47. Po obrobení spodní roviny obrobku 1. upnutí</i> .....	60
<i>Obr. 48. Před obrobením 2. upnutí</i> .....	61
<i>Obr. 49. Po obrobení 2. upnutí</i> .....	61
<i>Obr. 50. Vyrobený díl</i> .....	62
<i>Obr. 51. Monolitické SK vrtáky, zleva T02, T03, T05, T08 a T09</i> .....	64
<i>Obr. 52. Monolitické SK frézy, zleva T07, T10, T11 a T04</i> .....	64
<i>Obr. 53. Frézovací hlavy osazené VBD, zleva T01 a T06</i> .....	65
<i>Obr. 54. Souřadnicový měřicí stroj Dea Global</i> .....	68
<i>Obr. 55. Měřicí přístroj na měření jakosti povrchu Mahr Perthometer S2</i> .....	68

**SEZNAM TABULEK**

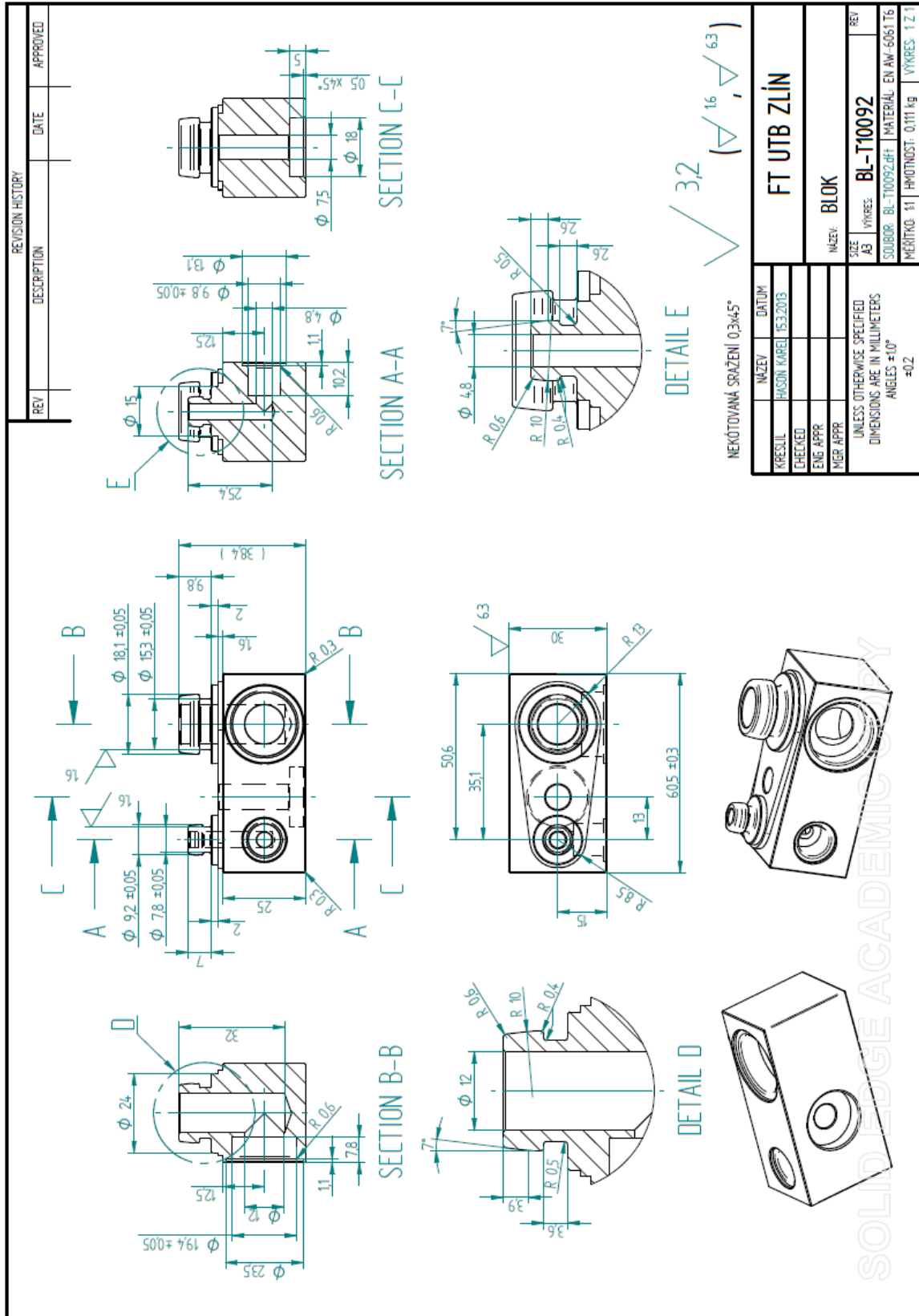
Tab. 1. Hodnoty úhlů $\gamma$ a $\alpha$ v závislosti na druhu obráběného materiálu .....	14
Tab. 2. Přesnost rozměrů a jakost obrobeneé plochy.....	25
Tab. 3. Struktura obecného formátu bloku .....	41
Tab. 4. Nastavení řezných podmínek.....	48
Tab. 5. Seznam použitých G, M a ostatních funkcí v CNC programu .....	57
Tab. 6. Technické parametry CNC stroje Chiron FZ 12W .....	58
Tab. 7. Materiál nástrojů.....	63
Tab. 8. Geometrie nástrojů .....	63
Tab. 9. Povlak nástrojů.....	63
Tab. 10. Nástrojový list.....	66
Tab. 11. Technické parametry SMS Dea Global.....	67

**SEZNAM PŘÍLOH**

- P I Výkres profilu.
- P II Výkres dílu.
- P III Materiálový list profilu.
- P IV Rozměrový protokol o proměření dílu.
- P V Protokol o proměření drsnosti dílu.
- P VI CD se zdrojovými soubory pro Solid Edge, EdgeCAM a NC kód pro obráběcí centrum Chiron FZ 12W.



# PŘÍLOHA P II: VÝKRES DÍLU.



# PŘÍLOHA P III: MATERIÁLOVÝ LIST PROFILU.



Phone : +420 412 510 220  
Fax : +420 412 510 226  
E-mail : sales.decin@constellium.com

Constellium Extrusions Děčín s.r.o  
Ústecká 37  
CZ 405 35 Děčín 5

Your Order No. : 4010014196  
Order Date : 06.03.2013  
Your Material No. : -  
Your Drawing No. : -  
Your Specification :

Our Order No. : 87195 / 20  
Our Material No. : 100052426

Alloy, Temper : EN AW-6061 T6 - EN 573-3  
Norms : EN755-9, EN755-1, EN755-2  
Responsible : Ing. Z. Rameš - Quality manager

## Inspection Certificate EN 10204 3.1 Number: 110182970 / 010 / 001

Batch No. : 1711343001  
Delivery No. : 110182970  
Quantity : 540KG  
Page : 1 / 1

Characteristic	Unit	Value	Minimum	Maximum
----------------	------	-------	---------	---------

### Chemical Composition (Melt Batch No.:K7925, Inspection No.: 30000190528 )

Si	%	0,61	0,40	0,8
Fe	%	0,2	-	0,7
Cu	%	0,22	0,15	0,40
Mn	%	0,05	-	0,15
Mg	%	0,9	0,8	1,2
Cr	%	0,06	0,04	0,35
Ni	%	-	-	-
Zn	%	0,01	-	0,25
Ti	%	0,02	-	0,15
Ga	%	-	-	-
V	%	-	-	-
Others each	%	0,01	-	0,05
Others total	%	0,02	-	0,15

### Mechanical properties (Batch No.:1711343001, Inspection No.:30000190455 )

Rm	Sample 1	MPa	317	260	-
Rp0,2	Sample 1	MPa	295	240	-
A	Sample 1	%	15	10	-

Certified acc. to ISO 9001:2008 ISO / TS 16949:2009 EN ISO 14001 OHSAS 18001

The material conforms to customer's request as confirmed by the supplier on order confirmation.  
This document was made electronically and is valid without signature.

Yours faithfully  
Constellium Extrusions Děčín s.r.o.

Agents of company: Philippe Hoffmann, Ing. Jiří Palma  
Confidential clerks of company: Ing. Libor Voborský, Ing. Miloš Šoltys, Ing. Jan Šípál  
Company is listed in Business register at Regional court Ústí n. Labem, section C, Enclosure 301



# PŘÍLOHA P IV: ROZMĚROVÝ PROTOKOL O PROMĚŘENÍ DÍLU.

	PART NAME : B L O K		dubna 17, 2013	20:41
	REV NUMBER :	SER NUMBER : BL - T10092	STATS COUNT : 1	

```

DIM ROVINNOST VÝCHOZÍ ROVINY= FLATNESS OF PLANE ROVINAL UNITS=MM
AX      MEAS      NOMINAL      DEV      +TOL      -TOL      OUTTOL
M      0.005      0.000      0.005      0.100      0.000      0.000 #-----

DIM PRŮMĚR 15.3
X      0.000      0.000      0.000      0.200      0.200      0.000 ----#----
Y      0.000      0.000      0.000      0.200      0.200      0.000 ----#----
D      15.320     15.300     0.020      0.050      0.050      0.000 ----#--
RN      0.003      0.000      0.003      0.050      0.000      0.000 #-----

DIM PRŮMĚR 7.8 NA POLOZE 35.1
X      -35.115    -35.100     0.015      0.200      0.200      0.000 ----#----
Y      0.000      0.000      0.000      0.200      0.200      0.000 ----#----
D      7.813      7.800      0.013      0.050      0.050      0.000 ----#--
RN      0.004      0.000      0.004      0.050      0.000      0.000 #-----

DIM PRŮMĚR 18.1
X      0.019      0.000      0.019      0.200      0.200      0.000 ----#----
Y      0.007      0.000      0.007      0.200      0.200      0.000 ----#----
D      18.108     18.100     0.008      0.050      0.050      0.000 ----#----
RN      0.004      0.000      0.004      0.050      0.000      0.000 #-----

DIM PRŮMĚR 9.2
X      0.017      0.000      0.017      0.200      0.200      0.000 ----#----
Y      0.005      0.000      0.005      0.200      0.200      0.000 ----#----
D      9.217      9.200      0.017      0.050      0.050      0.000 ----#--
RN      0.002      0.000      0.002      0.050      0.000      0.000 #-----

DIM POLOHA BOČNÍ STĚNY
Y      -15.098    -15.000     0.098      0.200      0.200      0.000 ----#--

ŘEZ A-A
=====
DIM PRŮMĚR 9.8 NA POLOZE 12.5
X      0.015      0.000      0.015      0.200      0.200      0.000 ----#----
Z      -12.482    -12.500    -0.018      0.200      0.200      0.000 ----#----
D      9.810      9.800      0.010      0.050      0.050      0.000 ----#----
RN      0.003      0.000      0.003      0.050      0.000      0.000 #-----

DIM HLOUBKA 10.2
Y      10.192     10.200     -0.008      0.050      0.050      0.000 ---#----

DIM PRŮMĚR 4.8
X      0.011      0.000      0.011      0.200      0.200      0.000 ----#----
Z      0.006      0.006      0.000      0.200      0.200      0.000 ----#----
D      4.813      4.800      0.013      0.200      0.200      0.000 ----#----
RN      0.006      0.000      0.006      0.100      0.000      0.000 #-----

DIM HLOUBKA 1.1
Y      1.125      1.100      0.025      0.200      0.200      0.000 ----#----

DIM PRŮMĚR 13.1
X      0.013      0.000      0.013      0.200      0.200      0.000 ----#----
Z      0.009      0.000      0.009      0.200      0.200      0.000 ----#----
D      13.122     13.100     0.022      0.200      0.200      0.000 ----#----
RN      0.008      0.000      0.008      0.100      0.000      0.000 -#-----

ŘEZ B-B
=====
DIM PRŮMĚR 19.4
X      0.021      0.000      0.021      0.200      0.200      0.000 ----#----
Z      -12.479    -12.500    -0.021      0.200      0.200      0.000 ----#----
D      19.419     19.400     0.019      0.050      0.050      0.000 ----#--
RN      0.004      0.000      0.004      0.050      0.000      0.000 -#-----

DIM HLOUBKA 7.8
Y      7.789      7.800     -0.011      0.200      0.200      0.000 ---#----

DIM PRŮMĚR 12
X      0.013      0.000      0.013      0.200      0.200      0.000 ----#----
Z      0.011      0.000      0.011      0.200      0.200      0.000 ----#----
D      12.017     12.000     0.017      0.200      0.200      0.000 ----#----
RN      0.004      0.000      0.004      0.100      0.000      0.000 #-----

DIM HLOUBKA 1.1 U PRŮMĚRU 19.4
Y      1.091      1.100     -0.009      0.200      0.200      0.000 ----#----

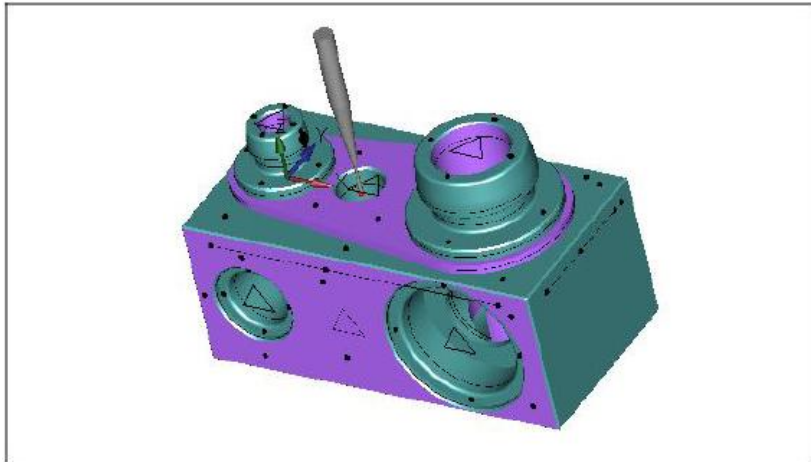
```

## PŘÍLOHA P IV: ROZMĚROVÝ PROTOKOL O PROMĚŘENÍ DÍLU.

DIM PRŮMĚR 23.5						
X	0.015	0.000	0.015	0.200	0.200	0.000 ----#---
Z	0.014	0.000	0.014	0.200	0.200	0.000 ----#---
D	23.522	23.500	0.022	0.200	0.200	0.000 ----#---
RN	0.006	0.000	0.006	0.100	0.000	0.000 #-----
=====						
DIM VÝŠKA KUSU 25						
M	25.065	25.000	0.065	0.200	0.200	0.000 ----#---
DIM SRAŽENÍ 3.9 POD 7 STUPNI DETAIL D						
Z	-3.810	-3.900	0.090	0.200	0.200	0.000 ----#---
DIM ÚHEL 7 DETAIL D						
A	-6.937	-7.000	0.063	1.000	1.000	0.000 ----#---
DIM VÝŠKA 38.4						
Z	-38.444	-38.400	-0.044	0.200	0.200	0.000 --#-----
DIM VNITŘNÍ PRŮMĚR 12 DETAIL D						
X	0.026	0.000	0.026	0.200	0.200	0.000 ----#---
Y	0.013	0.000	0.013	0.200	0.200	0.000 ----#---
D	11.988	12.000	-0.012	0.200	0.200	0.000 ----#---
RN	0.003	0.000	0.003	0.100	0.000	0.000 #-----
DIM VÝŠKA 9.8						
Z	-9.811	-9.800	-0.011	0.200	0.200	0.000 ----#---
DIM VÝŠKA 3.6 DETAIL D						
M	3.608	3.600	0.008	0.200	0.200	0.000 ----#---
DIM VÝŠKA 2 U PR.15.3						
Z	-2.011	-2.000	-0.011	0.200	0.200	0.000 ----#---
DIM VÝŠKA 1.6						
Z	1.591	1.600	-0.009	0.200	0.200	0.000 ----#---
DIM PRŮMĚR 24						
X	0.028	0.000	0.028	0.200	0.200	0.000 ----#---
Y	-0.016	0.000	-0.016	0.200	0.200	0.000 ----#---
D	23.987	24.000	-0.013	0.200	0.200	0.000 ----#---
RN	0.008	0.000	0.008	0.100	0.000	0.000 #-----
DIM RÁDIUS 13						
X	0.058	0.000	0.058	0.200	0.200	0.000 ----#---
Y	0.013	0.000	0.013	0.200	0.200	0.000 ----#---
R	13.074	13.000	0.074	0.200	0.200	0.000 ----#---
RN	0.004	0.000	0.004	0.100	0.000	0.000 #-----
DIM RÁDIUS 8.5						
X	-35.082	-35.100	0.018	0.200	0.200	0.000 ----#---
Y	0.015	0.000	0.015	0.200	0.200	0.000 ----#---
R	8.527	8.500	0.027	0.200	0.200	0.000 ----#---
RN	0.011	0.000	0.011	0.100	0.000	0.000 -#-----
DIM PRŮMĚR 15						
X	-0.021	0.000	-0.021	0.200	0.200	0.000 ---#-----
Y	0.011	0.000	0.011	0.200	0.200	0.000 ----#---
D	15.007	15.000	0.007	0.200	0.200	0.000 ----#---
RN	0.003	0.000	0.003	0.100	0.000	0.000 #-----
DIM VÝŠKA 2 U PR. 7.8						
M	2.009	2.000	0.009	0.200	0.200	0.000 ----#---
DIM VÝŠKA 7						
Z	7.013	7.000	0.013	0.200	0.200	0.000 ----#---
DIM ÚHEL 7 DETAIL E						
A	-7.867	-7.000	-0.867	1.000	1.000	0.000 --#-----
DIM VZDÁLENOST 2.6 DETAIL E						
M	2.512	2.600	-0.088	0.200	0.200	0.000 --#-----
DIM PRŮMĚR 4.8 DETAIL E						
X	0.033	0.000	0.033	0.200	0.200	0.000 ----#---
Y	-0.012	0.000	-0.012	0.200	0.200	0.000 ----#---
D	4.788	4.800	-0.012	0.200	0.200	0.000 ----#---
RN	0.006	0.000	0.006	0.100	0.000	0.000 #-----
DIM PRŮMĚR 7 NA POLOZE 13						
X	13.016	13.000	0.016	0.200	0.200	0.000 ----#---
Y	0.009	0.000	0.009	0.200	0.200	0.000 ----#---

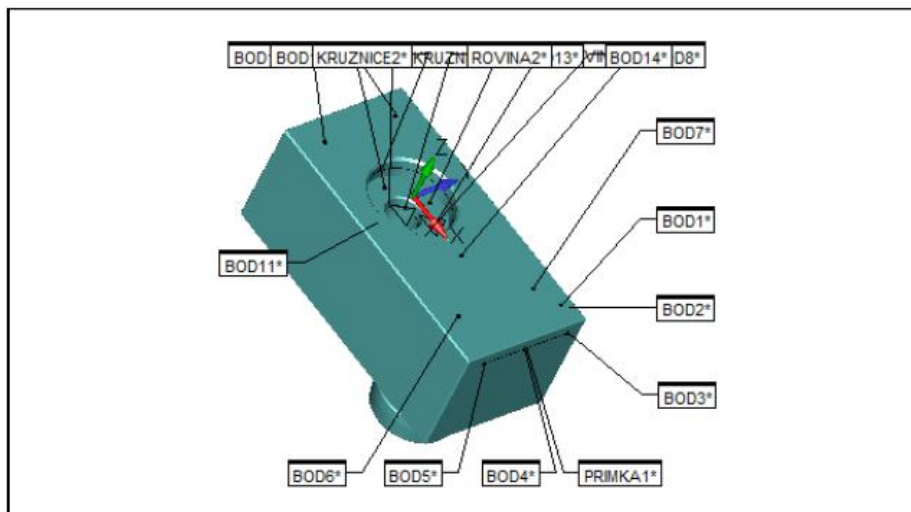
## PŘÍLOHA P IV: ROZMĚROVÝ PROTOKOL O PROMĚŘENÍ DÍLU.

D	7.517	7.500	0.017	0.200	0.200	0.000	-----#---
RN	0.006	0.000	0.006	0.100	0.000	0.000	#-----
DIM POLOHA HRANY 50.6							
X	50.663	50.600	0.063	0.200	0.200	0.000	-----#---
DIM ŠÍŘKA KUSU 30							
M	30.041	30.000	0.041	0.200	0.200	0.000	-----#---
DIM DÉLKA KUSU 60.5							
M	60.561	60.500	0.061	0.300	0.300	0.000	-----#---



### DRUHÁ STRANA

=====							
DIM	ROVINNOST	VÝCHOZÍ	ROVINY	DRUHÁ STRANA=	LOCATION OF PLANE	ROVINAI	UNITS=MM
AX	MEAS	NOMINAL	DEV	+TOL	-TOL	OUTTOL	
FL	0.008	0.000	0.008	0.100	0.000	0.000	#-----
DIM PRŮMĚR 7.5 DRUHÁ STRANA							
X	0.000	0.000	0.000	0.200	0.200	0.000	-----#---
Y	0.000	0.000	0.000	0.200	0.200	0.000	-----#---
D	7.516	7.500	0.016	0.200	0.200	0.000	-----#---
RN	0.005	0.000	0.005	0.100	0.000	0.000	#-----
DIM HLOUBKA 5 ŘEZ C-C							
Z	-5.028	-5.000	0.028	0.200	0.200	0.000	-----#---
DIM PRŮMĚR 18 ŘEZ C-C							
X	0.031	0.000	0.031	0.200	0.200	0.000	-----#---
Y	-0.041	0.000	-0.041	0.200	0.200	0.000	-----#---
D	18.032	18.000	0.032	0.200	0.200	0.000	-----#---
RN	0.008	0.000	0.008	0.100	0.000	0.000	#-----



# PŘÍLOHA P V: PROTOKOL O PROMĚŘENÍ POVRCHU DÍLU.

drsnost Ra1,6

drsnost Ra3,2

