

Výroba součásti na CNC frézce

Petr Novotný

Bakalářská práce
2014



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav výrobního inženýrství

akademický rok: 2013/2014

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Petr Novotný**
Osobní číslo: **T11274**
Studijní program: **B3909 Procesní inženýrství**
Studijní obor: **Technologická zařízení**
Forma studia: **prezenční**

Téma práce: **Výroba součásti na CNC frézce**

Zásady pro vypracování:

Teoretická studie obrábění pomocí CNC strojů
Návrh a konstrukce součásti
Programování součásti v CAM softwaru
Výroba součásti na CNC frézce

Rozsah bakalářské práce:

Rozsah příloh:

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

Seznam odborné literatury:

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

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

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.

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

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

MAREK, J. Konstrukce CNC obráběcích strojů. Praha: MM Publishing, 2010. 420 s. ISBN 978-80-254-7980-3.

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Ondřej Bílek, Ph.D.

Ústav výrobního inženýrství

Datum zadání bakalářské práce:

10. února 2014

Termín odevzdání bakalářské práce:

23. května 2014

Ve Zlíně dne 10. února 2014


doc. Ing. Roman Čermák, Ph.D.
děkan




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

Příjmení a jméno: Petr Novotný

Obor: Technologická zařízení

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 ¹⁾;
- 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 ²⁾;
- beru na vědomí, že podle § 60 ³⁾ 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 ³⁾ 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 19. 5. 2014


.....

¹⁾ 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 nevdělečně 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.

²⁾ 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).

³⁾ 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 přihlídí k výši výdělku dosaženého školou nebo školským či vzdělávacím zařízením z užití školního díla podle odstavce 1.

ABSTRAKT

Teoretická část této bakalářské práce se zabývá výrobou součástí na CNC obráběcích strojích, především tříosých a pětiosých. Dále je věnována pozornost základním informacím z oboru CNC frézování, jejich výhodám a nevýhodám, rozdělení CNC strojů, jejich aplikací a programováním.

Praktická část této bakalářské práce je zaměřena na modelování součásti v CAD softwaru a následnému převedení do CAM softwaru. Poté jsou vytvořeny řezné dráhy a následně i kontrola pomocí simulace. Konečnou fází je výroba součástí na CNC frézovacím centru.

Klíčová slova: CNC frézování, programování, CAD, CAM, výroba

ABSTRACT

The theoretical part of this thesis deals with the production of parts on CNC machine tools, especially three-axis and five-axis. Further attention is paid to the basic information in the field of CNC milling, their advantages and disadvantages, a division of CNC machines, their applications and programming.

The practical part of this thesis focuses on the modeling component in the CAD software and subsequently transferred to the CAM software. After toolpaths are created and subsequently control by simulation. The final phase is the production of parts on CNC milling center.

Keywords: CNC milling, programming, CAD, CAM, production

Poděkování, motto a čestné prohlášení, že odevzdaná verze bakalářské práce a verze elektronická, nahraná do IS/STAG jsou totožné ve znění:

Tímto chci poděkovat vedoucímu své bakalářské práce Ing. Ondřeji Bílkovi, Ph.D. za odborné rady, vedení, pozornost a strávený čas, který mi věnoval při vypracovávání bakalářské práce. Dále chci poděkovat firmě Geniczech – M s.r.o., která mi poskytla strojní vybavení, nástroje, ale i cenné odborné rady pro výrobu.

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

OBSAH

ÚVOD	10
I. TEORETICKÁ ČÁST	11
1 OBRÁBĚNÍ POMOCÍ CNC STROJŮ	12
1.1 DEFINICE.....	12
1.2 ŘÍDICÍ SYSTÉMY CNC OBRÁBĚCÍCH STROJŮ	13
1.2.1 Podle použité zpětné vazby	13
1.2.2 Podle pohybu v souřadnicích	13
1.2.2.1 Řídicí systémy s přetržitým řízením	13
1.2.2.2 Řídicí systémy se souvislým řízením ve dvou až pěti osách	15
1.2.3 Podle způsobu programování	16
1.3 SOUŘADNICOVÝ SYSTÉM STROJE.....	16
1.4 PROVOZNÍ REŽIMY CNC OBRÁBĚCÍCH STROJŮ	17
2 ROZDÍL MEZI NC, CNC A DNC STROJI	19
2.1 NC STROJE A ŘÍZENÍ	19
2.2 CNC STROJE A ŘÍZENÍ	19
2.3 DNC STROJE A ŘÍZENÍ	20
3 HISTORIE ČÍSLICOVĚ ŘÍZENÉ TECHNIKY	21
4 VÝHODY A NEVÝHODY, APLIKACE CNC TECHNIKY	22
4.1 VÝHODY CNC STROJŮ	22
4.2 NEVÝHODY CNC STROJŮ	22
4.3 APLIKACE CNC STROJŮ	22
5 PRVKY CNC STROJŮ	23
5.1 STROJ	23
5.1.1 Koncepce rámu stroje.....	23
5.1.2 Pohony stroje.....	24
5.1.3 Příslušenství stroje	24
5.1.4 Zásobníky nástrojů	25
5.2 ŘÍDICÍ JEDNOTKA - MCU	26
5.2.1 Schéma CNC obráběcího stroje a jeho řízení.....	26
5.2.2 Řídicí panel	27
5.3 STRUKTURA PROGRAMU	28
6 CNC FRÉZOVÁNÍ	31
6.1 CHARAKTERISTIKA VÝROBNÍ METODY	31
6.2 ZPŮSOBY FRÉZOVÁNÍ	31
6.2.1 Nesousledné frézování	31
6.2.2 Sousledné frézování	32
6.2.3 Čelní frézování	33
6.3 PRACOVNÍ PROSTOR CNC STROJE	33
6.4 KOREKCE NÁSTROJŮ	35
7 PROGRAMOVÁNÍ CNC STROJŮ	37

7.1	RUČNÍ PROGRAMOVÁNÍ.....	37
7.2	DÍLENSKÉ PROGRAMOVÁNÍ	38
7.3	CAM PROGRAMOVÁNÍ	38
8	SHRNUTÍ TEORETICKÉ A CÍLE PRAKTICKÉ ČÁTI PRÁCE	40
II.	PRAKTICKÁ ČÁST	41
9	ÚVOD DO PRAKTICKÉ ČÁSTI BAKALÁŘSKÉ PRÁCE	42
10	POPIS POUŽITÝCH PROGRAMŮ PRO VÝROBU SOUČÁSTI.....	43
10.1	AUTODESK INVENTOR	43
10.1.1	Hlavní oblasti použití programu Autodesk Inventor.....	43
10.2	EDGECAM.....	44
10.2.1	Edgecam CAM.....	44
10.2.2	Oblast použití programu Edgecam.....	44
11	NÁVRH A PŘÍPRAVA VÝROBY SOUČÁSTI.....	45
11.1	MODELOVÁNÍ V CAD SYSTÉMU	45
11.2	PROGRAMOVÁNÍ V CAM SYSTÉMU	47
11.2.1	První upnutí.....	47
11.2.2	Druhé upnutí.....	50
11.2.3	Verifikace	53
12	VÝROBA BRZDOVÉ PÁČKY NA CNC FRÉZCE MCFV 1050	54
12.1	TECHNICKÉ PARAMETRY MCFV 1050	54
12.2	POUŽITÉ NÁSTROJE PRO OBRÁBĚNÍ.....	55
12.3	SPECIFIKACE POUŽITÉHO MATERIÁLU	57
12.4	SAMOTNÉ OBRÁBĚNÍ PRAVÉ A LEVÉ BRZDOVÉ PÁČKY.....	58
12.5	SROVNÁNÍ VÝROBNÍCH ČASŮ	65
13	ZÁVĚR.....	66
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	68
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	70
	SEZNAM OBRÁZKŮ	72
	SEZNAM TABULEK.....	74
	SEZNAM PŘÍLOH.....	75

ÚVOD

Rozvoj v oblasti výrobních strojů ve strojírenství je v současnosti z velké části dán využitím výpočetní techniky. Řízení a automatizace strojů při použití počítačů a příslušných softwarů, které zvyšují zásadním způsobem jejich nejen technickou, ale i ekonomickou hodnotu na trhu tím, že provádí rychle, přesně a spolehlivě opakované činnosti, nahrazuje člověka, především zvyšující se produktivitou práce.

První programovatelné stroje, označované jako NC, vykonávaly příkazy pomocí programu, který byl na paměťovém médiu odpovídající úrovni vývoje, tj. na děrném štítku, děrné pásce, poté i na magnetické pásce. V této podobě se prosadily ve výrobě složitějších součástí při odpovídající opakovatelnosti. Vyplňovali tak prostor mezi jednoúčelovými mechanicky řízenými stroji, které se uplatnily pro výrobu jednodušších součástí v hromadné, ale i velkosériové výrobě, a klasickými obráběcími stroji s ručním ovládním, které jsou vhodné pro kusovou a malosériovou výrobou.

Vývoj šel kupředu a NC stroje byly vybavovány počítačem, což vedlo ke zrodu CNC strojů a techniky. Počítač podstatně zjednodušil a urychlil programování, řízení stroje a uchovávání dat pro opětovné použití. Díky tomu stroje zastanou více technologických úkonů najednou, jako je frézování, vrtání, tvorba tvarových a složitých ploch. To znamená, že se nedají použít jen jako jednoúčelové automaty na hromadnou a sériovou výrobu například v automobilovém průmyslu. Ceny CNC strojů a techniky vzhledem k jejich výkonům se snažíme snižovat, ale nároky na kvalitu, přesnost a produktivitu stoupají, tím se staly nezbytností v každé dílně. Dochází i k ekonomickému efektu díky produktivitě práce, nemilé úspoře pracovníků a složitosti výrobních ploch.

Klasické obráběcí stroje se postupně z dílen vytrácejí, ale uplatňují se v kusové výrobě a opravárenství. To klade nové požadavky na kvalifikaci nebo rekvalifikaci pracovníků. Je požadována znalost obsluhy moderních obráběcích strojů, kde je nutné používat výpočetní techniku pro řízení CNC strojů. Nesmíme však zapomínat na znalosti technologické. Pro obsluhu stroje je to především správná strategie obrábění, volba nástrojů a řezných podmínek, bez toho není možné dosáhnout požadovaných výsledků.

Oblast CNC strojů a techniky se rychle rozvíjí, proto je nutné neustále sledovat vývoj a pružně inovovat nejen techniku ve firmách, ale i naše vědomosti.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 OBRÁBĚNÍ POMOCÍ CNC STROJŮ

1.1 Definice

Číslicově řízené výrobní stroje neboli CNC stroje jsou charakteristické převážně tím, že ovládání pracovních pohybů stroje je prováděno řídicím systémem pomocí vytvořeného programu. Informace o požadovaných činnostech jsou zapsány v programu pomocí alfanumerických znaků. Vlastní program je ve stylu oddělených skupin znaků, které se nazývají bloky. Programem se řídí silové prvky stroje a zaručuje, aby proběhla požadovaná výroba součástí.

Pojem CNC je zkratkou z anglického „Computer Numerical Control“ tedy počítačem řízený stroj.

Stroje jsou „pružné“, lze je rychle přizpůsobit jiné výrobě tím, že se ve stroji vymění program za druhý nebo se jen upraví stávající, pokud se jedná jen o změnu na výkrese. CNC stroje pracují v automatizovaném cyklu, který je zajištěn číslicovým řízením. Tyto stroje se uplatňují především ve strojírenské oblasti výroby, jako jsou obráběcí, tvářecí, montážní nebo měřicí. Jejich typickými představiteli jsou soustruhy a frézky, které se využívají pro školení programátorů a obsluhy, ale samozřejmě především pro výrobu.

Informace, které program obsahuje, lze rozdělit na:

- **Geometrické** – Popisují dráhy nástroje, které jsou odvozeny z rozměrů obráběné součásti. K těmto drahám se programově přidají příjezdy a odjezdy jednotlivých nástrojů k obrobku nebo od něj. Jde tedy o popis drah nástroje v kartézských souřadnicích X, Y, Z, a ty získáme z rozměrů součásti na výkrese.
- **Technologické** – Stanovují technologii obrábění z hlediska rezných podmínek, jako jsou otáčky vřetene a nástrojů, rezná rychlost, posuv, přísuv, hloubka třísky.
- **Pomocné** – Jsou to informace nebo povely pro stroj pro určité pomocné funkce, jako jsou zapnutí chlazení, smysl otáčení, zapnutí/vypnutí vřetene, výměna nástroje.

[1]



Obr. 1. Příklad pětiosé CNC frézky [9]

1.2 Řídicí systémy CNC obráběcích strojů

Řídicí systémy CNC obráběcích strojů je možné řídit podle mnoha hledisek:

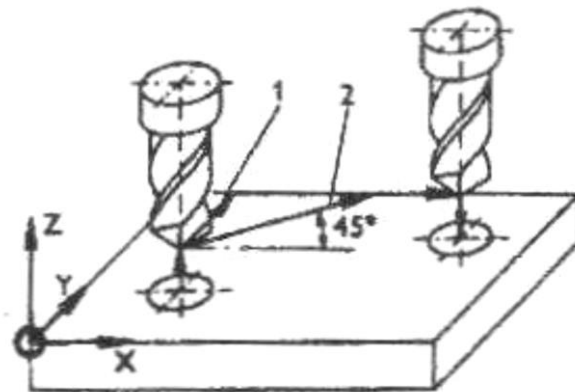
1.2.1 Podle použité zpětné vazby:

- *Bez zpětné vazby* – zadávací signál je převeden na pohyb, ale není zpětná odezva skutečné polohy nebo rychlosti.
- *Se zpětnou vazbou* – zadávací signál je stále kontrolován zpětným signálem.

1.2.2 Podle pohybu v souřadnicích:

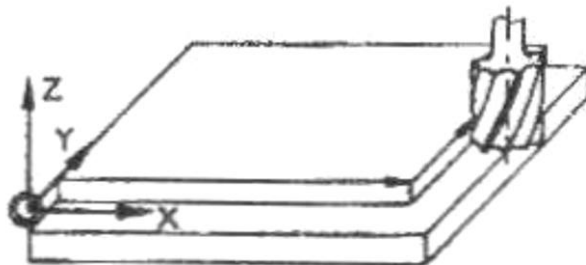
1.2.2.1 Řídicí systémy s přetržitým řízením

- **Systém stavění souřadnic** – jedná se o nejstarší způsob řízení, které nemá mikroprocesor. Při pohybu nezáleží na vykonané dráze, to znamená, že např. nejdříve dojde do koncové polohy jedna osa a potom dojde k pohybu v druhé ose (1). Nebo jedou z počátku obě osy současně pod úhlem 45° tak dlouho, než dosáhne první osa naprogramované hodnoty. Druhá osa jede dál až ke koncovému bodu (2). Poté se provede obrobení v další ose.



Obr. 2. Systém stavění souřadnic [2]

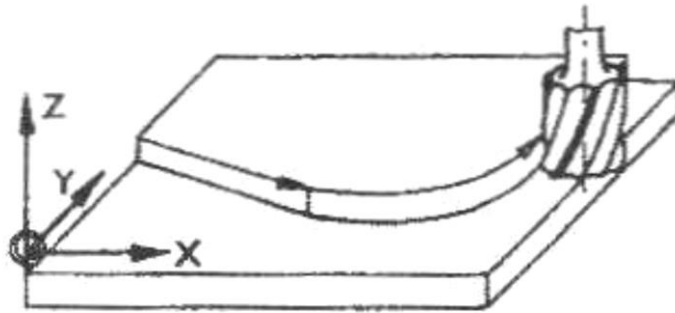
- **Pravouhlé řízení** – hlavním rysem je, že přestavování nástroje je prováděno rovnoběžně se souřadnými osami. Teprve po skončení pohybu v jedné souřadnici může nastat obrábění v druhé souřadnici. Tento systém umožňuje soustružit válcové plochy a frézovat pravouhlé obrobky. S tímto řízením se můžeme setkat především u vrtaček, soustruhů, frézek, apod.



Obr. 3. Systém pravouhlého řízení [2]

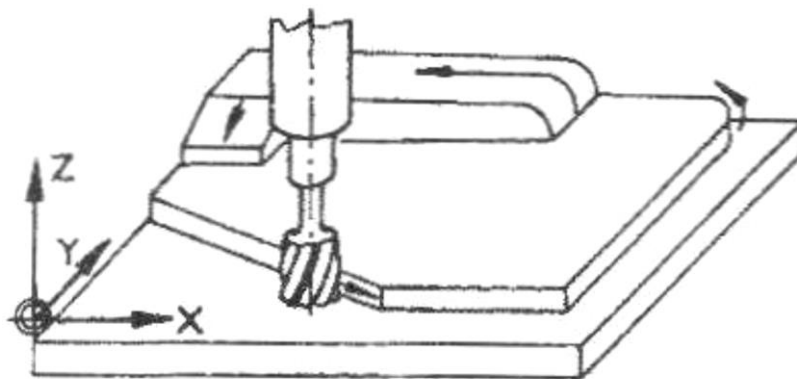
1.2.2.2 Řídicí systémy se souvislým řízením ve dvou až pěti osách

- **Souvislé řízení 2D** – umožňuje pohyb nástroje ve dvou osách současně a můžeme zhotovovat libovolné úhly a kruhové oblouky. U frézek můžeme provádět pohyb volitelně vždy v jedné rovině (např. v rovině $X - Y$, $Z - X$ nebo $Y - Z$).



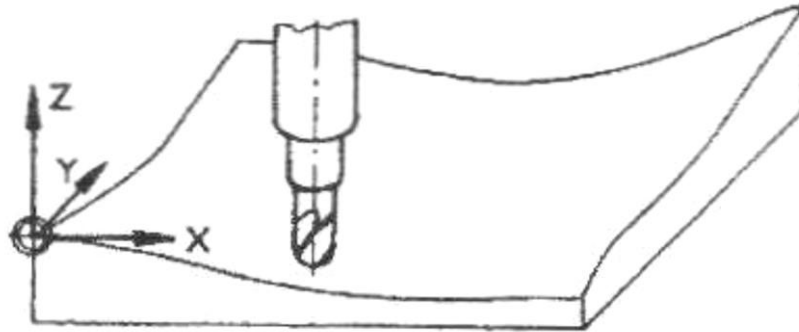
Obr. 4. Souvislé řízení 2D [2]

- **Souvislé řízení 2,5D** – má význam pro frézky a umožňuje lineární interpolaci ve všech osách (X, Y, Z), pro kruhovou interpolaci platí omezení pohybu po šroubovici.
- **Souvislé řízení 3D** – můžeme na frézkách obrábět libovolné obrysy a prostorové plochy. Zde je zapotřebí více výpočetních operací než u řízení 2D, to znamená, že je nutné použít mikroprocesor s vysokým výkonem.



Obr. 5. Souvislé řízení 3D [2]

- **Souvislé řízení 4D případně 5D** – mluvíme o něm, jestliže jsou vedle pohybů v osách X, Y a Z možné ještě další současné pohyby (např. otočný pohyb kolem osy X nebo Y).



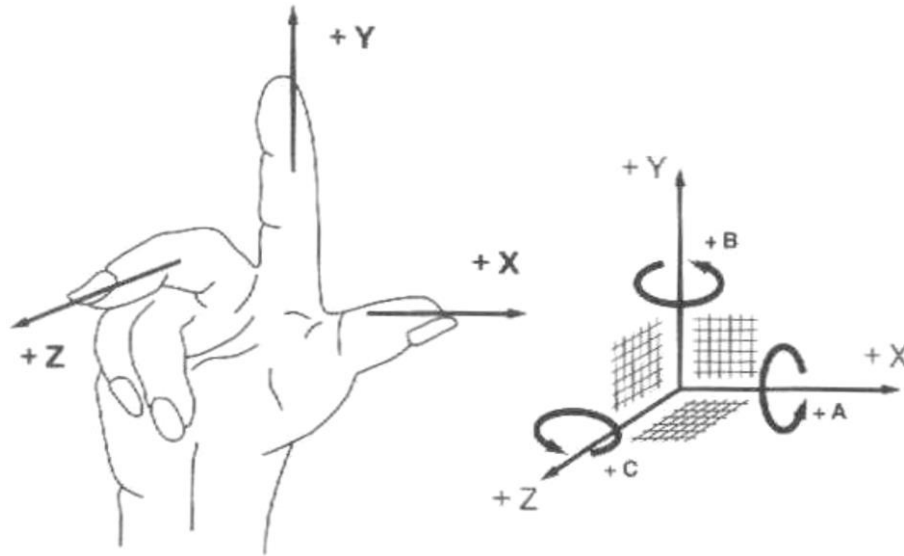
Obr. 6. Souvislé 4D příp. 5D [2]

1.2.3 Podle způsobu programování:

- **Absolutní programování (G90)** – popisuje cílový bod pojezdu nástroje vztahený k předem zvolenému počátku souřadnic. Jedná se tedy o určení souřadnic cílového bodu vůči nějaké základně.
- **Přírůstkové (inkrementální) programování (G91)** – souřadnice všech bodů se udávají v hodnotách měřených vzhledem k předchozímu bodu. Součet všech hodnot souřadnic je nula pokud se nástroj vrací do cílové polohy. [2]

1.3 Souřadnicový systém stroje

Výrobní stroje používají kartézský systém souřadnic. Systém je pravotočivý, pravoúhlý s osami X, Y, Z, otáčivé pohyby jsou rovnoběžné s osami X, Y, Z a označují se jako A, B, C – obrázek 7. Platí, že osa Z je rovnoběžná s osou pracovního vřetene, přičemž kladný smysl probíhá od obrobku k nástroji. Hodnoty mohou být i v záporné oblasti. [1]



Obr. 7. Určení kartézských souřadnic – pravotočivá soustava [1]

1.4 Provozní režimy CNC obráběcích strojů

Při obsluze stroje se můžeme setkat s několika druhy provozních činností stroje nebo pouze jeho řídicího systému. Lze je nastavit na řídicím panelu příslušnými tlačítky.

Obvykle mají řídicí systémy tyto režimy:

- Režim **MANUAL** (ruční provoz) slouží k přestavení nástroje nebo měřicího zařízení do požadované polohy, k výměně nástroje, najetí nástroje apod.
- Režim **AUTO** (automatický – plynulý průběh programu) – stroj po zpracování bloku čte a zpracovává další blok automaticky – plynulý proces obrábění.
- Režim **B-B** (Blok po Bloku) – stroj se po zpracování bloku (řádku) zastaví a po dalším zmáčknutí tlačítka se spustí další blok (řádek). Tento režim slouží jako jeden z možností kontroly, zda byl správně vytvořen program.
- Režim **NASTAVENÍ** – jedná se především o ovlivnění otáček, posuvů a rychloposuvů. Velikost pohybu lze ovlivnit ručně na řídicím panelu, kde lze nastavit rozsah obvykle v rozmezí 5 až 150 % hodnoty nastavené v ručním nebo automatickém režimu. Použití je nutné:
 - a) při ručním řízení stroje například při zjišťování nulového bodu obrobku
 - b) při automatizovaném řízení, při obrábění prvního kusu. Zde je lepší najíždění sníženým rychloposuvem k obrobku kvůli vyloučení možné havárie z

důvodu například chybně uvedeného nulového bodu nebo špatně uvedené korekce.

- c) v automatizovaném provozu, při obrábění může obsluha stroje ručně změnit chybně stanovené řezné podmínky uvedené v programu.
- Režim **TOOL MEMORY** (paměť nástrojových dat) umožňuje uložit a vyvolat data o nástrojích, včetně korekcí. Nástroje, uložené v zásobníku nebo v revolverové hlavě, mají v této „tabulce korekcí“ přiřazené údaje o velikosti korekcí a řídicí systém si je při použití daného nástroje načítá. Tento režim se obvykle nepoužívá u strojů s jedním nástrojem.
 - Režim **TEACH IN** (najatí a uložení) – Obsluha provádí ručně (pomocí klávesnice) požadovanou činnost pro vyrobení dílce. Dochází k automatickému načítání úkonů (programovaných bloků) do editoru. Takto zadané úkony se vykonávají automaticky při následném spuštění CNC programu. Používá se výjimečně.
 - Režim **EDITACE** programu – vlastní program pro obrábění se zejména zapisuje přímo do editoru na stroji nebo je vložen do řídicího systému stroje externě (z počítače, diskety, USB flash disku, ze sítě). V editoru stroje se mohou programy dle potřeby opravovat.
 - Režim **DIAGNOSTIKY** – označuje, lokalizuje, diagnostikuje závadu pro rychlé odstranění. Umožňuje i dálkový servis, především u sofistikovanějších systémů a cenově dražších. [1]

2 ROZDÍL MEZI NC, CNC A DNC STROJI

2.1 NC stroje a řízení

Jejich označení pochází z anglického názvu „Numerical control“ neboli číslicové řízení a je sestaveno z počátečních písmen tohoto názvu.

Každý NC stroj je řízen vlastním řídicím systémem, uloženým ve zvláštní skříni, umístěné vedle obráběcího stroje. Řídicím systémem obsahuje snímač programu (čtečku) a je dále vybaven logickými obvody, které převádí údaje z programu na impulsy potřebné pro řízení jednotlivých částí stroje, případně nástrojů.

Tyto stroje vykonávají příkazy uložené na:

- děrném štítku
- děrné pásce
- magnetické pásce
- tvaru vačky

2.2 CNC stroje a řízení

Tyto stroje jsou vybaveny vlastním počítačem, který řídí výrobní proces. Obrazovka počítače slouží k indikaci programu, klávesnice pro zadávání vstupních dat a pro řízení stroje. Kromě vlastního obrábění umožňuje řídicí počítač také grafickou simulaci, sloužící k vizuální kontrole každého programu před obráběním.

Rozsáhlá paměť počítače umožňuje uložení většího množství NC programů. Další možnost CNC strojů je používání pevných cyklů například, jako je vrtací, závitovací, frézování kapes, zámků a jiných tvarových ploch.

Zadávání programů lze provádět:

- z klávesnice
- z diskety nebo USB flash disku
- přenosem do stroje pomocí sítě

Tyto stroje prošly i řadou vylepšení, oproti NC strojům, např. na pohyb stolů se dnes používají moderní servomotory nebo krokové motory a zároveň s nimi kuličkové šrouby pro minimalizaci vůlí v uložení. Dále mají sofistikovaný chladicí systém s filtrací chladicí

kapaliny. Samozřejmě mají i patřičné krytí proti stříkající kapalině ven ze stroje, jako jsou různé plechy a průhledné materiály z důvodu vnímání průběhu obrábění.

2.3 DNC stroje a řízení

DNC je z anglického „Direct Numerical Control“ neboli přímé číslicové řízení. Jde vlastně o propojení obráběcího stroje s počítačem. Propojení se uskutečňuje běžným rozhraním u PC. Tento systém vykonává správu NC programu (možnosti tvorby, editace, archivování apod.) a podílí se na řízení pohybu obráběcího stroje programem spuštěným z PC. Jeho využití je zejména u CNC systémů s malou operační pamětí, kdy potřebujeme spustit NC program větší než je operační paměť řídicího systému vyčleněná pro správu NC dat.

**DNC, automatické nahrávání CNC programů do technologie,
centrální úložiště CNC programů**



Obr. 8. DNC řízení – Přímé číslicové řízení [5]

➤ Řízení na bázi PC

Předpokládaný směr vývoje řídicích systémů naznačuje jejich generační změnu, která přichází ve formě nástupu nových systémů s otevřenou architekturou a softwarovou kompatibilitou s dialogovými univerzálními operačními systémy (Windows). V podstatě jde o maximální přiblížení celkové soustavy CNC systémů k univerzální struktuře počítače. CNC systémy se rozdělí na téměř samostatné části, softwarově kompatibilní s PC a Windows, které vzájemně komunikují. [1], [2], [3], [5]

3 HISTORIE ČÍSLICOVĚ ŘÍZENÉ TECHNIKY

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 kolem 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 (Patron v USA). Řídicí systémy pracovaly na principu vakuových lamp a začalo se prosazovat i tzv. pravouhlé řízení a systémy a magnetickým záznamem dat.

- V roce 1960 uvedla firma Kearney&Trecker první obráběcí centrum. NC systém byl již tranzistorový a koncem 60. let pak v USA aplikovali integrované obvody s možností parabolických a splineových interpolací. NC stroje se integrovali do prvních výrobních linek.
- V 70. letech se při stavbách strojů aplikovali kuličkové šrouby a hydrostatická vedení. NC systémy byly doplňovány pamětí a umožňovaly editaci programů. Od nich byl jen velmi malý krůček k prvním CNC systémům. Firma Kearney&Trecker přišla jako první s pružným výrobním systémem.
- V 80. letech začaly být stroje vybavovány zásobníky nástrojů obrobků a do konstrukce se aplikovaly senzory pro sledování pohonů a jednotlivých mechanismů. Řídicí systémy byly založeny na bázi CNC s multiprocessorovými mikropočítačovými strukturami. Toto období je velmi důležité, protože došlo k výraznému prosazení frézovacích i soustružnických center do technologií třískového obrábění.
- V 90. letech byly aplikovány velkokapacitní zásobníky s mezioperační dopravou nástrojů i obrobků. Výrazně se zvyšovala přesnost výroby jednotlivých typů součástí na NC neboli CNC strojích, zvyšovala se produktivita výroby a CNC stroje již měly poměrně otevřenou architekturu. Rostoucí variabilita obráběných dílů vedla k většímu uplatňování pružných výrobních systémů.
- V 21. století byl zahájen vývoj nové generace obráběcích center. Jsou vytvářeny především multifunkční stroje a výrazně se mluví a realizuje o sjednocování hardwaru a softwaru. Běžně jsou do CNC strojů integrovány CAD/CAM systémy a dále se posiluje provázanost na externí počítačové sítě. [6]

4 VÝHODY A NEVÝHODY, APLIKACE CNC TECHNIKY

4.1 Výhody CNC strojů

- Maximální pružnost – příprava programu je oddělená od vlastního stroje, minimální výpadky výroby způsobené seřizováním.
- Výroba produktivnější a hospodárnější.
- Vyšší přesnost a kvalita s minimální zmetkovitostí i u složitějších tvarů.
- Výrobní program lze snadno a rychle měnit, stroj je snadno přizpůsobitelný množství kusů.
- Obsluha nemusí být soustředěna, může současně obsluhovat i více strojů.
- Odpadají chyby a nepřesnosti způsobené nepozorností či únavou lidského faktoru.
- Umožňují výrobu součástí, jejichž tvar je určen složitějšími matematickými funkcemi.
- Výrobní čas je přesně stanoven programem, není závislý na prostojích obsluhy.
- Používá se dokonalé nářadí, což se projeví ve zvýšení přesnosti a produktivity.
- Nemusí se skladovat náhradní díly – požadované součásti lze snadno a rychle vyrobit pomocí již připravených programů atd.
- Zaujímají menší plošný obsah než předchozí NC stroje.

4.2 Nevýhody CNC strojů

- Vysoká pořizovací cena nových CNC strojů obzvláště více osých a více vřetenových.
- Vyšší požadavky na kvalifikaci pracovníků zajišťujících seřizování a servis.
- Zvyšující se požadavky na kvalifikaci obsluhy CNC strojů.
- Složitější technologická příprava výroby.
- Ekologická likvidace provozních kapalin strojů.

4.3 Aplikace CNC strojů

Číslicové řízení se používá téměř ve všech strojírenských oblastech.

- obráběcí stroje
- tvářecí stroje
- svařovací stroje
- lakovací technika atd. [8]

5 PRVKY CNC STROJŮ

5.1 Stroj

Konstrukční řešení CNC strojů je odlišné oproti klasickým obráběcím strojům. Mezi základní rozdíly patří:

5.1.1 Koncepce rámu stroje

- **Nosné struktury** – CNC stroje vyžadují podstatně zvýšenou tuhost, kterou především zajišťují tuhé rámy. V dnešní době, v častých případech, litina už nestačí, jak dříve. Nejčastěji to bývají svařence, plněné polymerbetony, kovovými pěny apod.
- **Lože** – Kluzné vedení je postupně nahrazováno valivým, které má své známé výhody, ale také nevýhody, jako jsou nízké hodnoty tlumení rázů, citlivost na nečistoty, řešení mazání, větší setrvačné síly aj. S loži souvisí i jejich krytování chránící před nečistotami.



Obr. 9. Příklad litinového rámu CNC stroje [3]

5.1.2 Pohony stroje

- **Vřeteníky** – Běžné stroje dosahují 6000 až 8000 ot/min, ale také 10000 až 12000 ot/min. Elektrovřetena a vřetena s vlastním pohonem, dosahují až 20000 ot/min. Vysoké otáčky jsou vyžadovány nejen u brousících strojů, ale i pro vrtací a frézovací operace. Vřeteníky vyžadují nové řešení ložisek, jejich mazání a chlazení. Zde jsou nutností snímače teploty a zatížení ložisek, snímače chvění apod.
- **Hlavní pohon vřetena stroje** – Musí zajistit plynulou změnu otáček při zatížení stroje při obrábění, vysoké zrychlení a zpomalení. Pokud je stroj vybaven „osou C“, ta musí zajistit přesné polohování a pootočení vřetene o požadovaný úhel.
- **Pohony posuvů**
 - *Servomotory posuvů a kuličkové šrouby* patří mezi nutné vybavení stroje. Pohyb motoru přenášený pomocí kuličkového šroubu na stoly frézky s obrobkem, dává stroji požadovanou přesnost do tisíců milimetrů. Servomotor je konstrukčně dán počtem inkrementů (impulzů) na otáčku motoru a může být vybaven snímačem zrychlení. Kuličkové šrouby zajišťují rychlý a přesný pohyb bez vůle s minimálním třením. Šroub a matice s kuličkami jsou vzájemně předepjaty, tím je vůle odstraněna. Takto je zaručen plynulý přesný chod stroje. Šrouby mohou být jednochodé nebo vícechodé.
 - *Lineární pohony posuvů* stále více nahrazují krokové motory a kuličkové šrouby, tam kde je požadována vysoká rychlost posuvů. Mají své nevýhody především to, že se zahřívají, tedy vyžadují chlazení. Jsou stále ve vývoji.
- **Odměrování dráhy**
 - *Interferenční způsob vyhodnocování* – když se rozteč rysek na pravítku blíží vlnové délce světla, využívá se ohybu světla.
 - *Interferenční způsob vyhodnocování laserovým paprskem* – je přesnější než předchozí způsob.
 - *Absolutní snímače*
 - *Snímače na magnetickém principu*

5.1.3 Příslušenství stroje

- **Odvod třísek** – Automatické odstraňování třísek od stroje je nutné taky z hlediska zdroje tepla, jinak hrozí tepelná dilatace stroje a obrobku, což ovlivňuje výslednou přesnost výroby. Proto příslušné části bývají konstruovány tak, aby se zamezilo

hromadění třísek v obráběcím prostoru, lože jsou šikmá se skluzu. Dále se třísky dopravují do přepravních zásobníků pomocí šnekových nebo pásových dopravníků.

- **Krytování stroje** – Pracovní prostor stroje je uzavřený z hlediska hygieny a bezpečnosti práce. Stroj nelze spustit, dokud je otevřený kryt.
- **Upínače polotovarů** – jsou používány převážně hydraulické a pneumatické, vyznačují se nízkými časy upínání a upíná se konstantní silou. Takto je na minimum omezeno ruční upínání, při kterém dochází k nerovnoměrné upínací síle a možné deformaci obrobku.
- **Systémy automatické výměny nástrojů:**
 - Systémy s nosnými zásobníky – přenášejí řezné síly (soustruh)
 - Systémy se skladovacími zásobníky – nepřenášejí řezné síly (frézka)
 - Systémy kombinované
- **Chlazení mazání nástrojů** – Trend směřuje k omezení nebo úplnému vyloučení kapaliny z obráběcího procesu z důvodu ekologie. Účinnost chlazení se zvyšuje tím, že se kapalina nebo také silně ochlazený vzduch přivádí do řezu středem nástroje pod tlakem, tím také odplavuje třísku.

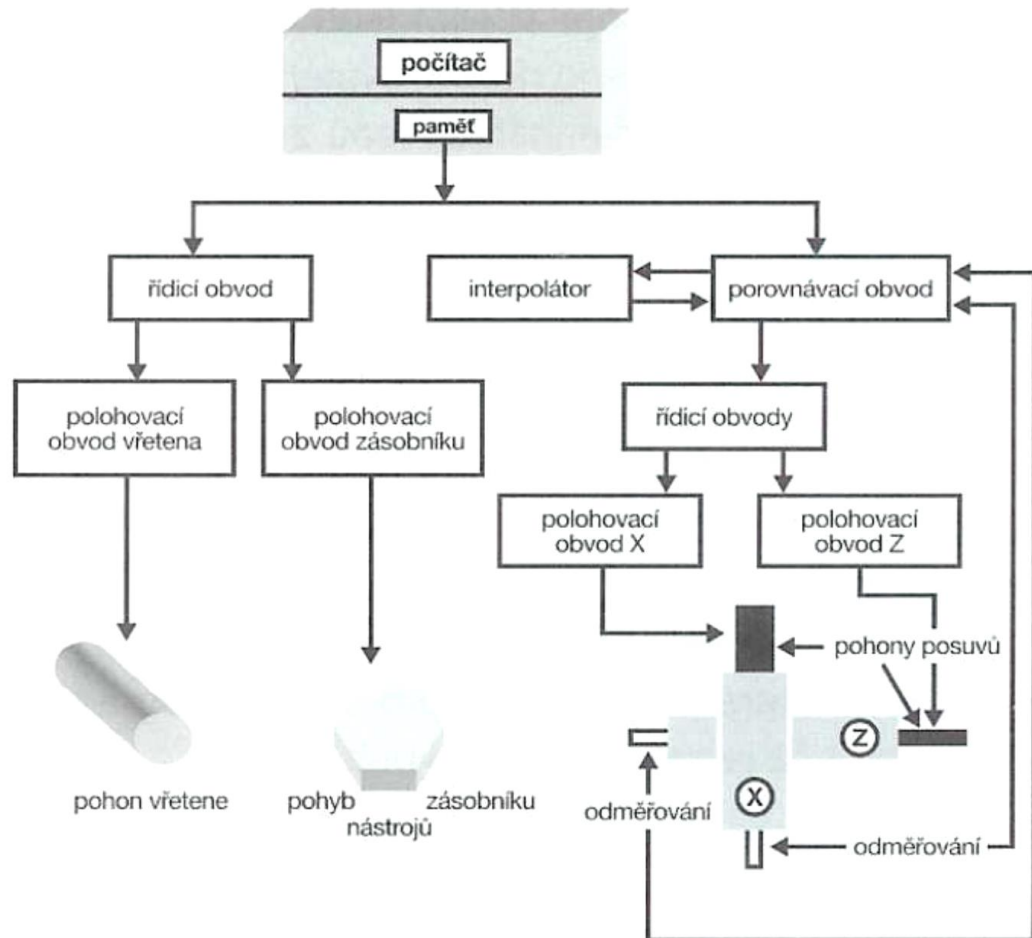
5.1.4 Zásobníky nástrojů

Bývají podle zaměření stroje různě konstruované. Především pro frézky to bývá v závislosti na účelu, za kterým byly konstruovány, mívají různá řešení:

- **Otočné nástrojové hlavy umístěné mimo vřeteno** – Nástroje se obvykle vyměňují z vřetene i zásobníku současně manipulátorem se dvěma rameny.
- **Zásobníky** – magazíny nástrojů bývají v různém provedení jako pásové nebo regálové.
 - *Pásové* – obvykle, natočením pásu s nástroji je již v předstihu přichystán nástroj pro použití na stroji. Manipulátor následně provede výměnu nástroje ve vřeteni.
 - *Regálové* – manipulátor před použitím připraví nástroj do bližší polohy, pro následnou výměnu jiným manipulátorem do vřetene. [1]

5.2 Řídicí jednotka - MCU

5.2.1 Schéma CNC obráběcího stroje a jeho řízení



Obr. 10. Blokové schéma CNC obráběcího stroje [1]

Vysvětlení k obrázku 10

- **Počítač** – Jedná se o průmyslový počítač s nainstalovaným řídicím systémem, který je součástí stroje. Z hlediska obsluhy je dán obrazovkou a ovládacím panelem. Pomocí ovládacího panelu lze provádět potřebné příkazy nutné při ruční obsluze, pro seřizování CNC obráběcího stroje a pro práci v dalších režimech stroje. Též umožňuje pomocí příslušného softwaru řídicího systému vytvářet požadovaný CNC program. Program také můžeme vytvořit mimo stroj a do jeho řídicího systému ho nahrát. Program se ukládá v paměti a pro vlastní práci se vyvolá příkazem.

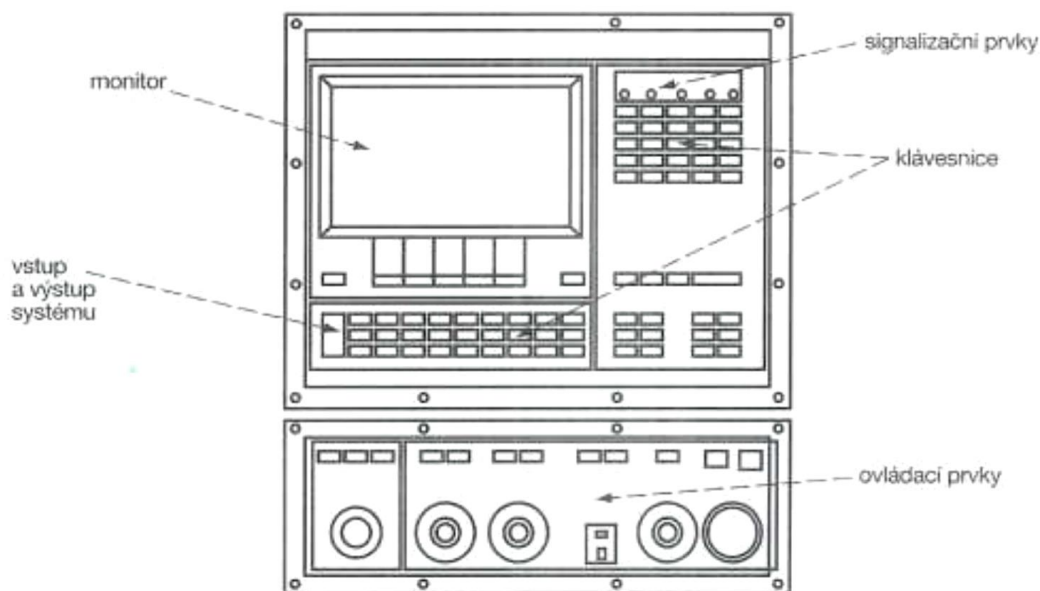
- **Řídicí obvody** – V těchto obvodech se logické signály převádějí na silnoproudé elektrické signály, kterými se přímo ovládají jednotlivé části stroje, jako jsou motor vřetene a posuvů, ventily atd.
Řídí stroj pomocnými funkcemi, na *obrázku 10* znázorněny otáčky vřetene a otáčení zásobníku nástrojů do pracovní polohy pro určený nástroj.
Řídí dráhu nástroje nebo obrobku pohybovými funkcemi, které popisují geometrii pohybu v osách X, Y a Z.
- **Interpolátor** – Řeší dráhu nástroje, která je zadána geometrií, a výpočty délkových a rádiusových korekcí nástroje. Vypočítává tedy ekvidistantu pohybu bodu výměny nástroje, která je vzdálená o vypočítané korekce od požadovaného geometrického obrysu. Zaručuje geometrickou přesnost výrobku.
- **Porovnávací obvod** – Stroj musí být vybaven zpětnou vazbou (až na výjimky u jednoduchých CNC strojů určených většinou pro základní výcvik obsluhy), která přenáší informace o dosažených geometrických hodnotách suportů v souřadných osách, v jednotlivých bodech dráhy pohybu. Tyto souřadnice se porovnávají s hodnotami, které jsou zdány programem (a upraveny v interpolátoru). Pokud je zjištěn rozdíl, pohony posuvů dostanou povel k dosažení požadovaných hodnot souřadnic. Stroj musí být vybaven odměřováním.

5.2.2 Řídicí panel

Řídicí panel se dělí na několik částí, lišících se svým významem může být řešen jako na *obrázku 11*:

- **Vstup dat** – část alfanumerická, pomocí níž se ručně zapisuje např. program, data o nástrojích, o seřízení stroje, strojní konstanty atd.
- **Ovládání stroje** – speciální část, pomocí které se pohybuje nástrojem nebo obrobkem, spouští se otáčky vřetene, ovlivňuje se ručně velikost posuvů, otáček apod.
- **Volba režimu práce** – lze volit ruční režim, automatický režim, dílenské programování atd.
- **Aktivace paměti** – vyvolání jednotlivých druhů paměti.
- **Aktivace testů** – vyvolání testů programů a testů stroje, simulací programů.
- **Obrazovka** – slouží ke kontrole prováděných činností.
- **Přenosný panel** – (je spojen kabelem s řídicím panelem) slouží k ovládání základních pohybových funkcí stroje tak, jako základní část klávesnice. Umožňuje při se-

řizování a ovládání stroje přejít obsluze do míst, která poskytují dokonalejší možnost vizuální kontroly. [1]



Obr. 11. Řídicí panel CNC stroje – ukázka jednoho z mnoha provedení [1]

5.3 Struktura programu

Jednotný způsob uspořádání řídicích programů pro CNC stroje se nazývá struktura a určuje ji mezinárodní norma ISO 1058.

Hlavní výhody dodržování programové struktury:

- Dodržení tvaru a posloupnosti instrukcí a dodržení pravidel syntaxe umožňuje kontrolnímu systému nalézt a oznámit případnou formální chybu.
- Přehledná struktura programu umožňuje snadnější orientaci v programu.
- Přehledná struktura programu usnadňuje lepší provedení změn.

Program pro CNC stroje se skládá z bloků (vět), které jsou sestaveny z jednotlivých příkazů (slov).

Každé slovo se skládá ze dvou částí:

1. Adresy (písmeno) – určuje, kam bude instrukce směřována.
2. Významové části (číslíce) – udává konkrétní hodnotu.

I když doporučené pořadí adres jednotlivých slov ve větě je N G X Y Z F S T M, moderní řídicí systémy CNC strojů nemají přesně stanovené pořadí slov ve větě. Příkazy jsou zpracovány podle logických souvislostí, tj. nezávisle na jejich pořadí ve větě (přesto je lépe pořadí slov ve větě dodržovat pro přehlednost a jednotnost programu).

- **N – číslování vět** – každá věta musí začínat číslem, aby ji bylo možno vyvolat z paměti řídicího systému. Číslo věty je umístěno na začátku každého bloku programu a skládá se z adresy N a z čísla, které odpovídá poloze věty v programu. Je výhodné tyto věty číslovat s dostatečným odstupem pro vložení dalších bloků (vět), kdyby se zapomnělo např. po desítkách.
- **G – přípravné funkce** – jsou to instrukce ke zpracování geometrických informací pod adresou G a dvoumístným kódovým číslem.
- **X, Y, Z – rozměrové funkce** – určují polohu cílového bodu pohybu.
- **F – posuvová funkce** – číselný údaj mívá rozsah 4 až 6 desítkových míst. Má význam rychlosti pracovního posuvu. Může udávat posuv v mm/min nebo v mm/otáčku.
- **S – otáčková funkce** – číselný údaj mívá 4 až 6 desítkových míst. Obvykle přímo určuje otáčky vřetene v otáčkách za minutu.
- **T – funkce nástroje** – číselný údaj určuje nástroj, kterým má být obráběno. Obvykle určuje číslo a polohu nástrojové hlavy, pozici zásobníku nástrojů, nebo přímo identifikační kód nástroje.
- **M – pomocné funkce** – zadávají se jimi technologické příkazy pod adresou M a dvoumístným nebo jednomístným kódovým číslem. To záleží na daném výrobcí řídicího systému (softwaru).

Norma ČSN ISO 6983 rozlišuje funkce v řadě G00 a M00 až M99 na závazné a neobsazené. Neobsazené funkce v těchto řadách využívají výrobci řídicích systémů z hlediska svých specifických požadavků (může se stát, že jedna a táž neobsazená funkce má u různých řídicích systémů jiný význam). Funkce uvedené v následující tabulce jsou závazné – stejné u všech typů řídicích systémů. [2]

Tab. 1. Výběr nejčastějších přípravných (G) a pomocných (M) funkcí [2]

Označení funkce	Význam funkce
G00	rychlé lineární polohování (rychloposuv)
G01	lineární interpolace (obrábění pracovními posuvy po přímce)
G02	kruhová interpolace ve směru hodinových ručiček (zhotovení zaoblení)
G03	kruhová interpolace proti směru hodinových ručiček (zhotovení zaoblení)
G04	časová prodleva (např. upínání obrobku robotem)
G17	základní pracovní rovina XY (využití u frézek)
G18	základní pracovní rovina ZX (využití u frézek)
G19	základní pracovní rovina YZ (využití u frézek)
G33	řezání závitu
G40	zrušení korekce dráhy nástroje
G41	korekce dráhy nástroje vlevo od obrysu obrobku
G42	korekce dráhy nástroje vpravo od obrysu obrobku
G54 až G59	přesuny nulového bodu
G90	absolutní programování
G91	přírůstkové (inkrementální) programování
M00	programovatelný stop programu
M03	otáčky vřetene ve směru hodinových ručiček
M04	otáčky vřetene proti směru hodinových ručiček
M05	zastavení vřetene - vřeteno stop
M06	výměna nástroje
M07	zapnutí mazání
M08	zapnutí chlazení
M09	vypnutí chlazení
M30	konec programu

6 CNC FRÉZOVÁNÍ

6.1 Charakteristika výrobní metody

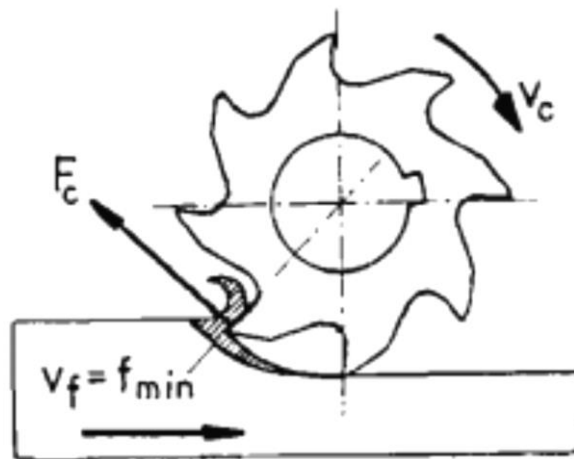
Frézováním se obrábějí rovinné i tvarové plochy otáčejícím se vícebřitým nástrojem tzv. frézou. Hlavní řezný pohyb je rotační a vykonává ho nástroj. Tento pohyb je dán řeznou rychlostí, která závisí jak na materiálu obrobku, tak i na materiálu nástroje. Vedlejší řezný pohyb koná obvykle obrobek a může být přímočarý nebo kruhový. Z technologického hlediska rozlišujeme válcové a čelní frézování. Od těchto základních způsobů se odvozují další pohyby, jako je okružní nebo planetové frézování, které se uplatňují u CNC frézování.

6.2 Způsoby frézování

- **Frézování válcové (obvodem)** – Obrábí se obvodem válcové nebo tvarové frézy. Osa rotace nástroje je rovnoběžná s obrobem plochou.
- **Frézování čelní** – U tohoto způsobu se obrábí jak čelem, tak i obvodem čelní frézy nebo frézovací hlavy. Osa nástroje je kolmá na obráběnou plochu. Frézování čelní, zejména pomocí frézovacích hlav s VBD, je obecně produktivnější než frézování válcové.

6.2.1 Nesousledné frézování

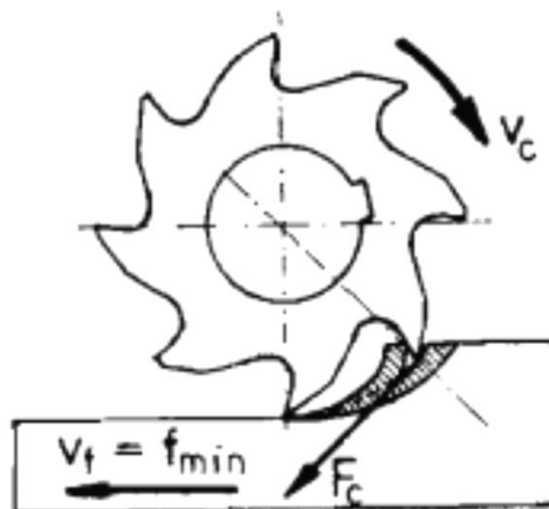
Fréza se otáčí proti směru posuvu, průřez třísky se postupně zvětšuje od nuly do maximální hodnoty. Výsledná řezná síla směřuje ven z obrobku, to má za následek vyšší nároky na upínání obrobků, protože je tendence vytrhávání obrobku ze stolu. Při záběru třísky od nuly se břit nástroje odpruží, neboli sklouzne po obráběné ploše, což má za následek horší drsnost povrchu.



Obr. 12. Nesousledné frézování [11]

6.2.2 Sousedné frézování

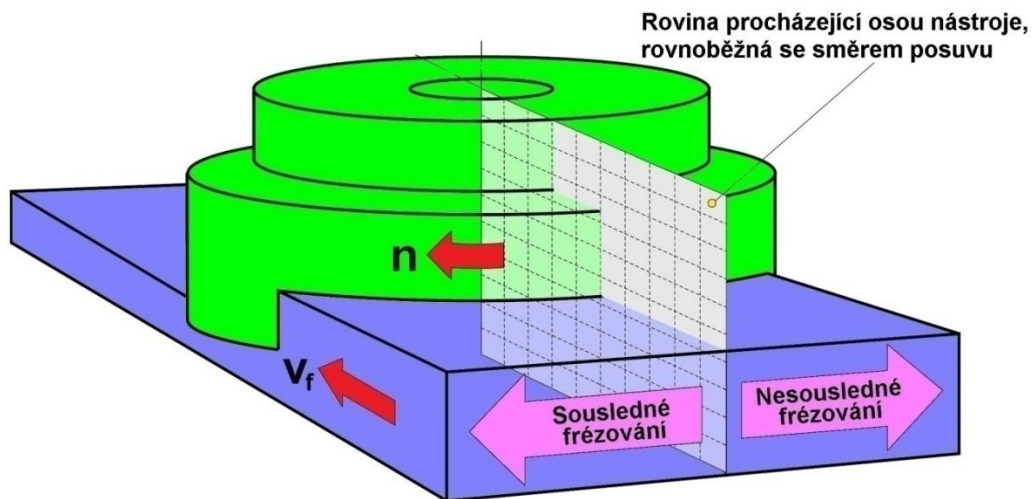
Fréza se otáčí ve směru posuvu, průřez třísky se mění od maximální hodnoty do nuly. Při tomto způsobu obrábění dosáhneme mnohem lepší drsnosti povrchu. Výsledná řezná síla směřuje do obrobku, to umožňuje menší nároky na upnutí. Výkon tohoto způsobu je o 30 až 50 procent vyšší než u nesousledného frézování při stejné trvanlivosti nástroje. Nevýhodou sousledného frézování jsou rázy, které vznikají při záběru každého zubu do materiálu. To můžeme odstranit použitím fréz se zuby do šroubovice. Frézky musí mít zařízení pro vymezení vůlí mezi posuvovým šroubem stolu a jeho maticí nebo u CNC frézek je to řešeno pomocí kuličkových šroubů tzv. bezvůlové uložení.



Obr. 13. Sousedné frézování [11]

6.2.3 Čelní frézování

Osa frézy je kolmá k obráběné ploše. Materiál je odřezáván nejen břity na obvodu, ale i břity na čele frézy. Tloušťka třísky se mění od minima do maxima podle velikosti průměru frézy a šířky obráběné plochy. Tento způsob je výkonnější, protože při něm zabírá více zubů najednou, tím pádem můžeme volit větší posuv stolu. [10]



Obr. 14. Čelní frézování [11]

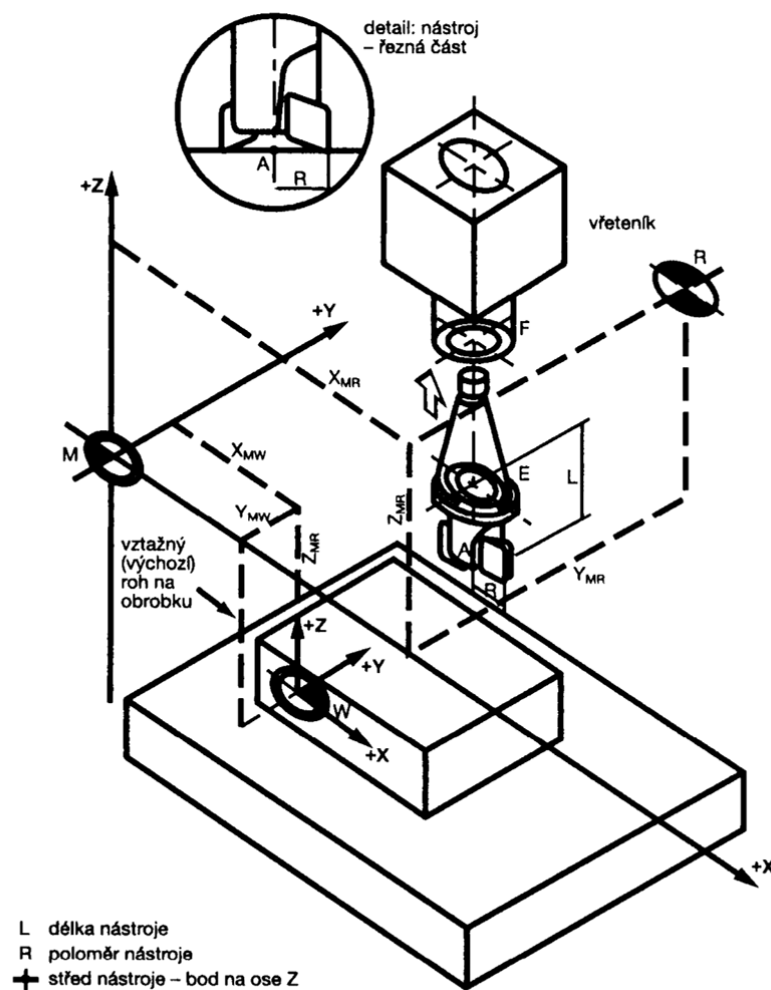
6.3 Pracovní prostor CNC stroje

V pracovním prostoru CNC stroje jsou určeny některé základní body, jejichž znalost je důležitá i pro vlastní programování. Řídicí systém CNC stroje po zapnutí aktivuje souřadnicový systém ve vlastním stroji. Souřadnicový systém má svůj počátek tzv. nulový bod, který musí být přesně stanoven. Podle použití mají nulové body své názvy a jsou to zejména:

- **M – Nulový bod stroje:** Je stanoven výrobcem. Je výchozím bodem pro všechny další souřadnicové systémy a vztažné body na stroji. U frézky, v místě krajní polohy stolu frézky v obou osách. Ve většině případů výrobci řídicích systémů používají variantu, kdy spojnice nulového bodu M a referenčního bodu R je úhlopříčkou pracovního prostoru stroje. To je přesně odměřeno výrobcem a vloženo do paměti řídicího systému jako strojní konstanty.
- **R – Referenční bod stroje:** Je přesně stanoven výrobcem a jeho aktivací k sjednocení mechanické a výpočetní části stroje. Slouží k přesnému nastavení odměřovacího systému po zapnutí stroje a zařazení bodu do CNC programu také vede k od-

stranění chyb. Je realizován mechanickým způsobem, tj. pomocí koncových spínačů.

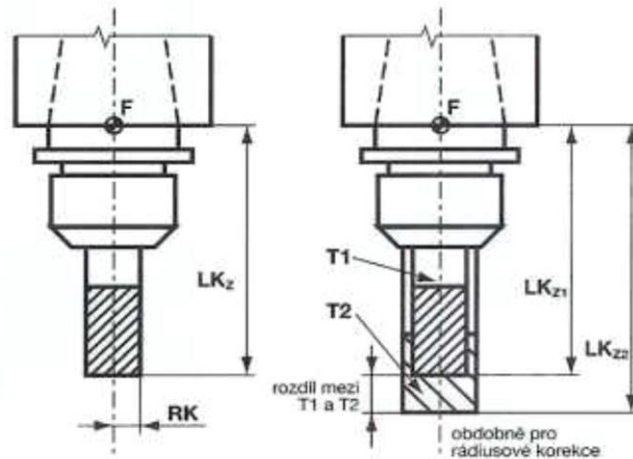
- **W – Nulový bod obrobku:** Lze nastavit pomocí speciálních funkcí řídicích systémů v libovolném místě pracovního prostoru stroje to znamená, že si jeho polohu určuje programátor sám. Tento nulový bod se s výhodou umísťuje tak, aby se co nejvíce zjednodušil výpočet přechodových míst jednotlivých konstrukčně technologických prvků, a do těch míst na obrobku, od kterých např. začíná kótování na výkrese, a tím je umožněno zjednodušení práce programátora tzn., že nemusí dopočítávat kóty a rozměry obrobku.
- **F – Vztažný bod suportu nebo vřeteně:** Bod výměny u frézky je umístěn na čele a v ose její rotace. K tomuto bodu se vztahuje délková korekce nástroje.
- **E – Bod nastavení nástroje:** Bod na držáku nástroje, který se při upnutí ztotožní s bodem F. To je nutné k zjištění korekcí nástroje ne přístroje mimo stroj. [1], [2]



Obr. 15. Souřadnicový systém frézky a nulové body [1]

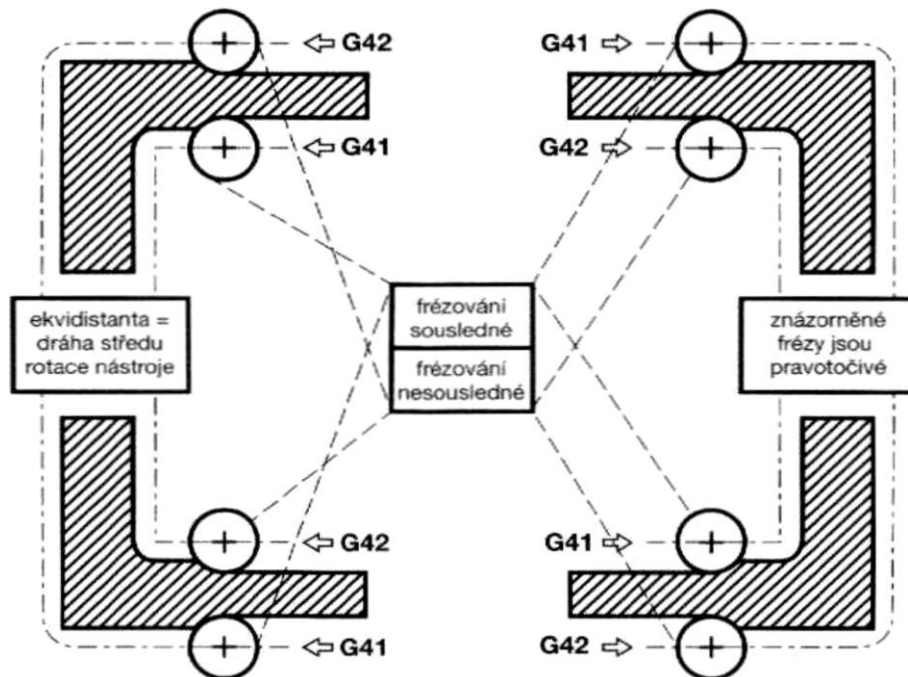
6.4 Korekce nástrojů

1. **Korekce délkové** – Rotační nástroje se měří v ose Z od vztažného bodu na čele vřetené frézky, k čelu (fréza), špici (vrták), vrh polokoule (kulová fréza) rotačního nástroje. Zjištěné délky jednotlivých souřadnic musí znát řídicí systém, jelikož podle těchto údajů koriguje dráhy nástroje zapsané programátorem v jednotlivých blocích CNC programu.



Obr. 16. Měření délkových korekcí frézy [1]

2. **Korekce rádiusové** – Tyto korekce se v současnosti zjišťují u všech nástrojů, jelikož se samozřejmě očekává přesnost rozměrů a geometrie výrobku. Fréza má svým průměrem danou velikost rádiusu, to platí i u kulových fréz a dalších obdobných nástrojů. Pokud nebudeme počítat s touto korekcí, např. při frézování kontury, nebo tento fakt nepotřebujeme brát v úvahu (frézování drážky na pero), budeme programovat, tedy i obrábět osou rotace nástroje. Průměry fréz, tedy i jejich poloměry, jsou dány konstrukcí nástroje a lze je přeměřit, pokud dochází ke změnám - broušení. Korekce se poté zadávají do tabulky na CNC stroji.



Obr. 17. Pravotočivá fréza obrábí konturu v různých polohách [1]

Obrázek 17 ukazuje použití rádiusových korekcí při frézování. Rádusy frézy jsou podstatně větší než u soustružnických nožů, což vede k větším chybám. Při frézování pro technologie – programátora zde navíc vzniká problém správné volby způsobu frézování, a to sousledného nebo nesousledného. Zde je znázorněno, jaké jsou možnosti strategie obrábění z hlediska požadavků technologie, při různých pozicích nástroje ke kontuře a směru obrábění. Pokud se vyskytnou frézy s opačným směrem zubů, levotočivé mění se i způsob frézování, který lze pomocí obrázku snadno určit.

3. **Korekce výsledná** – Je super pozicí obou korekcí, která vytváří ekvidistantu kontury obrobku, po níž se pohybuje bod výměny nástroje F při obrábění. Přístroje, určené k zjišťování korekcí nástrojů, udávají délky nástroje v osách souřadnicové soustavy, velikost rádiusu a teoretickou špičku nástroje. [1]

7 PROGRAMOVÁNÍ CNC STROJŮ

7.1 Ruční programování

Často se mluví o ručním či manuálním programování. Tento způsob si vyžaduje, aby tvůrce NC programu byl obeznámen programovacím jazykem číslicového obráběcího stroje. To znamená, že musí znát formu zápisu, syntax a význam jednotlivých slov NC programu. V této oblasti v současnosti máme několik následujících možností:

- a) psaním přímo do řídicího systému číslicově řízeného stroje,
- b) příprava NC programu mimo řídicí systém číslicově řízeného stroje na PC v běžném textovém editoru.
- c) příprava NC programu mimo řídicí systém číslicově řízeného stroje na PC ve speciálním softwaru umožňující nejen psaní a editaci NC programu, ale i jeho jednoduchou simulaci a ověření. Mohou to být vlastní softwary – vytvořené uživatelem nebo komerční softwary – nejčastěji od dodavatele řídicího systému. V obou posledních případech je potřebné takto vytvořené NC programy přenést do řídicího systému číslicově řízeného obráběcího stroje.

Příklad zápisu bloku (věty) pro ruční programování:

```
N20 G1 G17 X200 Y100 F500 S1600 T1 M3
```

N20 – označuje číslo bloku (věty) v pořadí, zde je to 20,

G1 – lineární pracovní posuv,

G17 – určení roviny XY pro potřeby korekci,

X200 – nastavení souřadnice X koncového bodu na hodnotu 200 mm,

Y100 – nastavení souřadnice Y koncového bodu na hodnotu 100 mm,

F500 – nastavení rychlosti posuvu na hodnotu 500 mm/min,

S1600 – nastavení otáček vřetena na hodnotu 1600 1/min,

T1 – použití technologických parametrů pro nástroj číslo 1,

M3 – pravotočivé otáčky vřetene. [12]

7.2 Dílenské programování

Postupem doby a vývojem techniky, především výkonnější hardware přímo na stroji, se v některých případech přenáší programování do dílny. Kvalifikovaná obsluha v překrytém čase, kdy koná pasivní dozor u CNC stroje, který obrábí, využívá čas a připravuje si program pro další vyráběnou součást. Obsluha může programovat na svém pracovišti, pokud má k dispozici počítač s příslušným editorem nebo přímo na stroji během obrábění pokud to řídicí systém stroje umožňuje. Zde je jednodušnost programování v dílně. Programuje se interaktivně, při využití grafické podpory tak, že lze přímo na simulátoru v editoru vidět simulaci obrábění dynamicky po jednotlivě napsaných blocích. Programuje se ve smyslu zde popsaných způsobů. Toto programování má své výhody, jako je úleva programátorům ve smyslu nezdržování programátorů jednoduchými dílci, které by mohla obsluha efektivněji naprogramovat sama v obráběcím čase stroje za účelem zrychlit výrobu a ušetřit tak výrobní časy, a nevýhody např. pokud kontrola zjistí chybu tak veškerá zodpovědnost padá na obsluhu stroje a ne na programátora, tudíž nedochází ke vzájemné kontrole mezi programátorem a obsluhou. [1]

7.3 CAM programování

Na počítačovou podporu výroby označovanou jako CAM – Computer Aided Manufacturing je možné nahlížet v užším slova smyslu jen jako na technologický proces nebo v komplexnějším pojetí jako na technologický, manipulační, řídicí, transportní proces apod. Podle toho je:

- CAM jako komplexní počítačová podpora výroby představuje automatizované operativní řízení výroby na dílenské úrovni, číselně řízené výrobní systémy, automatické dopravníky a automatizované sklady.
- CAM jako systém představuje software související s tvorbou řídicích programů pro CNC stroje. Tyto systémy využívají především geometrické a jiné data, které byly získané v bodě počítačového návrhu součástky prostřednictvím CAD systému. Součástí CAM softwaru jsou ve většině případů i postprocesory, které zabezpečují převod geometrických dat definujících dráhy nástrojů do formy akceptovatelné řídicím systémem příslušného CNC výrobního stroje. Součástí knihoven jsou i hotové postprocesory pro nejpoužívanější řídicí systémy.

- CAM jako koncept automatizace a počítačové podpory výrobního procesu je dost široký. Zahrnuje všechny činnosti spojené bezprostředně s výrobním procesem, přičemž k nejdůležitějším činnostem patří:
 - rozvrhování výroby
 - DNC, CNC a NC řízení
 - roboty a manipulátory
 - monitorování průběhu výroby
 - sběr výrobních údajů

CAM systémy jsou nejvíc propracované pro oblast frézování. Je možné jich využít i pro:

- soustružení
- vrtání
- drátové řezání
- elektroerozivní obrábění
- obrábění laserem nebo vodním paprskem

CAM systémy jsou buď specializované a mají zabudovanou podporu jen některou z metod obrábění nebo existuje podpora pro všechny způsoby obrábění.

Jako další vlastnost, na základě které je možné CAM systémy začlenit do určitých skupin, se jeví jejich komplexnost a provázanost na další systémy. Podle toho se rozdělují do dvou skupin:

- CAM systémy integrované v rámci komplexních CAD/CAM systémů.
- Samostatné CAM systémy. [13]

8 SHRNU TÍ TEORETICKÉ A CÍLE PRAKTICKÉ ČÁTI PRÁCE

Teoretická část bakalářské práce se zabývala, co je to CNC stroj, jeho definici a rozdělení podle možností obrábění v jednotlivých osách. Dále se podívala na rozdíl mezi NC, CNC a DNC řízením i na historii, aplikaci, ale i na výhody a nevýhody CNC obrábění a strojů. Poté následují prvky, ze kterých se CNC stroj skládá. Ke konci se zabývá frézováním především na CNC strojích, korekcemi a pracovním prostorem stroje. Závěr tvoří způsoby programování CNC strojů.

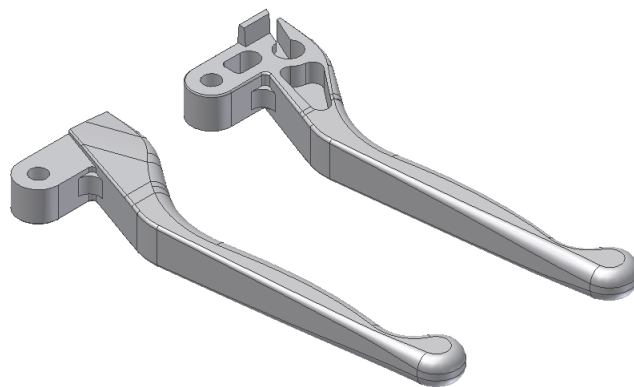
Cílem praktické části bakalářské práce bude vytvoření 3D modelu v CAD softwaru, následného převedení do CAM softwaru pro vytvoření NC programu, který je nutný pro výrobu na CNC stroji a na závěr výroba zadané součásti.

II. PRAKTICKÁ ČÁST

9 ÚVOD DO PRAKTICKÉ ČÁSTI BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Praktická část bakalářské práce se bude snažit přiblížit problematiku, jak převést virtuální model součásti, která byla zhotovena v CAD softwaru na počítači, do reálné fyzické podoby pro daný účel používání, ke kterému byla zhotovena z příslušného materiálu. Pomocí jak počítačového nástroje, což je CAM software, tak i výrobního CNC stroje. Pro názornou ukázkou byla vybrána, jako tvarově složitá součást, brzdová páčka na motorku.

Důvodem pro výrobu těchto brzdových páček bylo to, že původní páčky byly z nekvalitního plastového materiálu a při nárazu o překážku praskaly, proto byly vyrobeny z kvalitní slitiny hliníku.



Obr. 18. Virtuální model součásti



Obr. 19. Reálná součást včetně povrchové úpravy

10 POPIS POUŽITÝCH PROGRAMŮ PRO VÝROBU SOUČÁSTI

Praktická část bakalářské práce popisuje jednotlivé programy, které byly použity pro tvorbu součástí. Nejdříve se věnuje CAD programu Autodesk Inventor, který sloužil především pro návrh a tvorbu 3D modelu. Pro generování řezných drah, simulace a NC programu byl využit CAM program Edgecam.

10.1 Autodesk Inventor

Obecně Autodesk Inventor je světově nejprodávanější parametrický, adaptivní 3D modelář především v oblasti strojírenských CAD softwarů. Dále umožňuje tvorbu 2D výkresové dokumentace, prezentace, realistické animace a v neposlední řadě správu dokumentů a konstrukčních dat.

Základ konstruování v Inventoru tvoří součásti, jejichž geometrie vychází od parametrických 2D náčrtů. Tyto součásti pak mohou být kombinovány a vázány různými typy vazeb do celku, který se nazývá sestava. Při změně kóty, parametru nebo geometrie se automaticky přegeneruje a aktualizuje celá 3D sestava, včetně výkresové dokumentace, jako jsou jednotlivé pohledy, řezy, detaily a kusovník. Vedle standardních nástrojů pro tvorbu objemových a povrchových 3D modelů obsahuje Inventor rovněž funkce pro modelování plechových součástí, svařenců a ocelových konstrukcí. Mimo jiné Inventor má vestavěnou databázi normalizovaných součástí různých norem, jako je například ISO, které se používají při skládání sestav, a nazývá se Obsahové centrum.

Pro tvorbu výkresové dokumentace nabízí Inventor 2D funkce podobné programu AutoCAD. V Inventoru lze ukládat modely i v univerzálních formátech jako je STEP nebo IGES, což bylo využito i v této práci pro přechod do CAM softwaru.

Obecná verze Autodesku Inventor není vhodná pro všechny obory, proto vychází i nástavbové moduly pro konkrétní použití vdaném oboru. Model pro generování drah, NC programů a výrobu byl vytvořen v modulu Professional 10. [14]

10.1.1 Hlavní oblasti použití programu Autodesk Inventor

- Strojírenský průmysl
- Architektura
- Automobilový průmysl
- Elektrotechnický průmysl [14]

10.2 Edgecam

10.2.1 Edgecam CAM

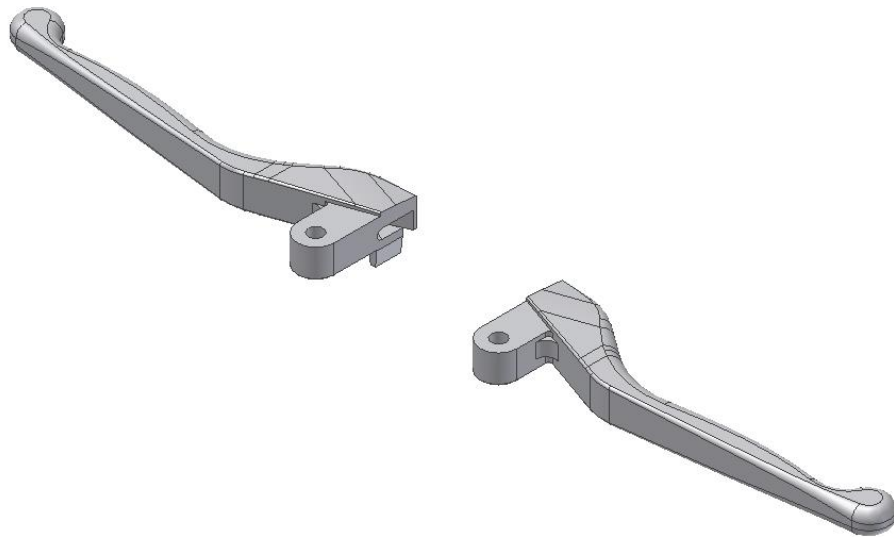
Edgecam je přední CAM systém, umožňující programování frézovacích, soustružnických a soustružnicko-frézovacích strojů. Pracuje i s drátovou geometrií a kombinuje uživatelsky příjemné prostředí a intuitivní ovládání, se sofistikovanou tvorbou drah nástrojů.

Edgecam je kompletní softwarové CAM řešení jak pro produkční obrábění, tak i pro výrobu tvarových forem a zápusťek. S kompletním rozsahem dvou až pěti osých frézovacích operací, s podporou pro soustružení a soustružnicko-frézovací centra, v kombinaci s CAD integrací a důmyslnými automatickými nástroji. [15]

Tento program je dostupný ve firmě Geniczech-M ve verzi Edgecam 2010R1.

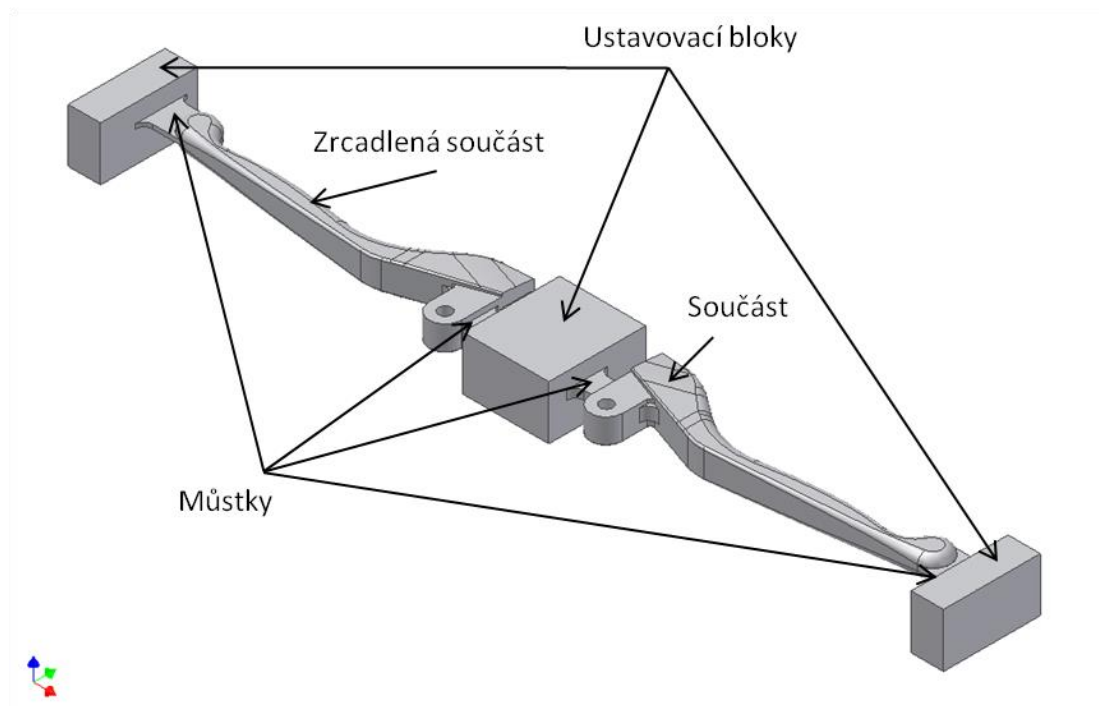
10.2.2 Oblast použití programu Edgecam

- Petrochemický průmysl
- Lékařský průmysl
- Motor sport
- Zakázková výroba
- Výroba forem
- Letecký průmysl [15]



Obr. 21. Konečný model pravé a levé brzdové páčky

Nakonec se model musel ještě poupravit tak, aby bylo možné jeho upnutí na obráběcím CNC stroji, viz obr. 22.



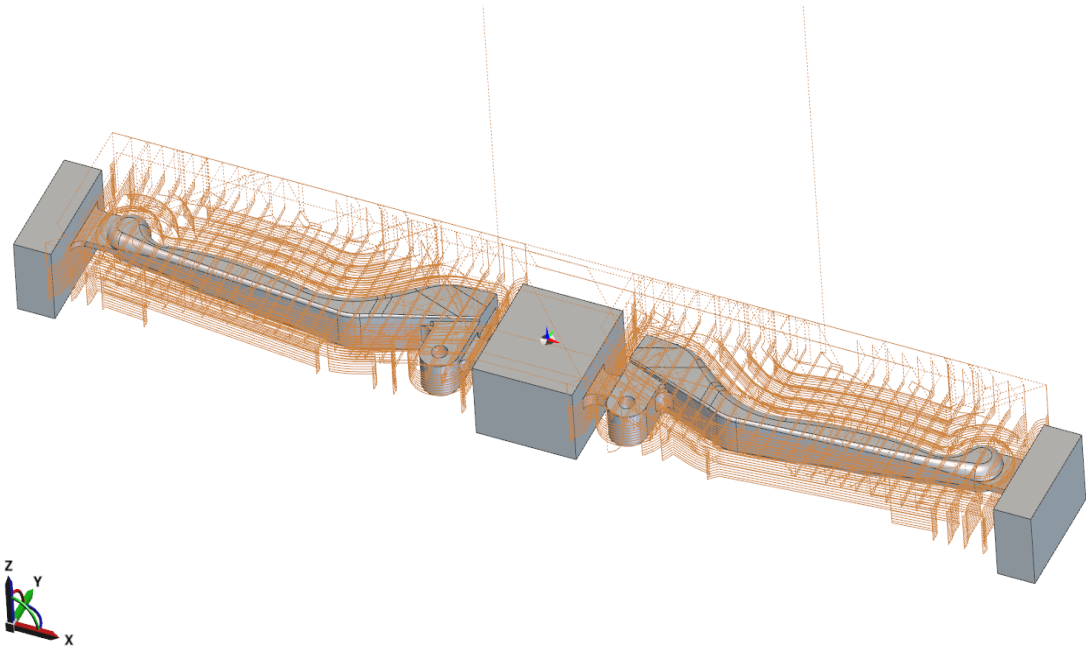
Obr. 22. Poupravený model pro upnutí na CNC stroji

11.2 Programování v CAM systému

Pro programování řezných drah nástrojů a tvorbu řezné strategie se zvolil a spustil program Edgecam, který je popsán v kapitole 10.2. Nejprve v něm byl otevřen poupravený model umožňující upnutí na stroji. Dále se vytvořil výchozí polotovar a souřadnicový systém určující nulový bod obrobku ležící uprostřed horní plochy polotovaru. Následovalo vybrání nástrojů z knihovny, pro hrubování to byla čelní válcová fréza průměru 8 mm, pro dohrubování a tvorbu odlehčení včetně otvorů čelní válcová fréza průměru 3 mm a pro dokončení kulová fréza průměru 4 mm.

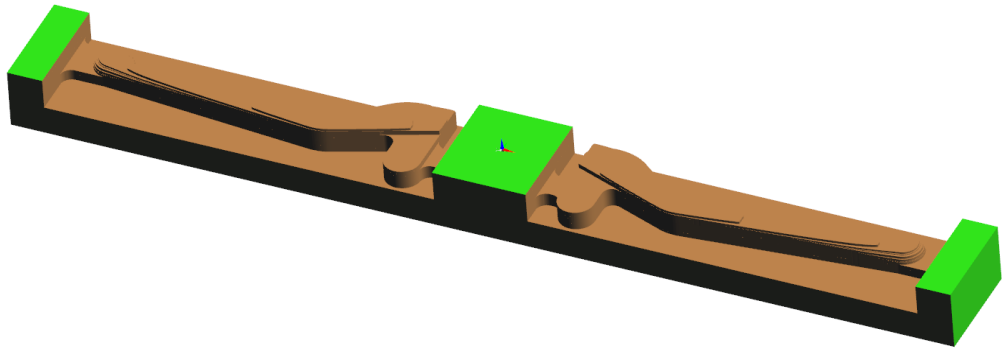
11.2.1 První upnutí

Po nutném nastavení a nezbytných úkonech se přistoupilo k samotné tvorbě programu pro první upnutí ve formě obrobení horní poloviny brzdových páček. Na první operaci byl použit příkaz „hrubování“ spolu s čelní válcovou frézou o průměru 8 mm, což je zobrazeno na obr. 23.



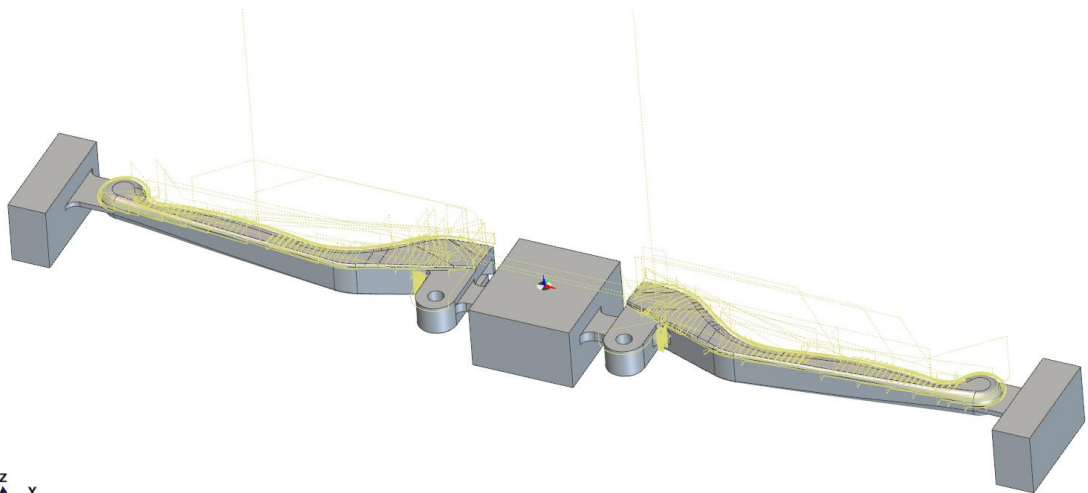
Obr. 23. Dráhy nástroje příkazu „hrubování“ v prvním upnutí

Tímto příkazem se hlavně odstranila podstatná část materiálu, viz obr. 24.



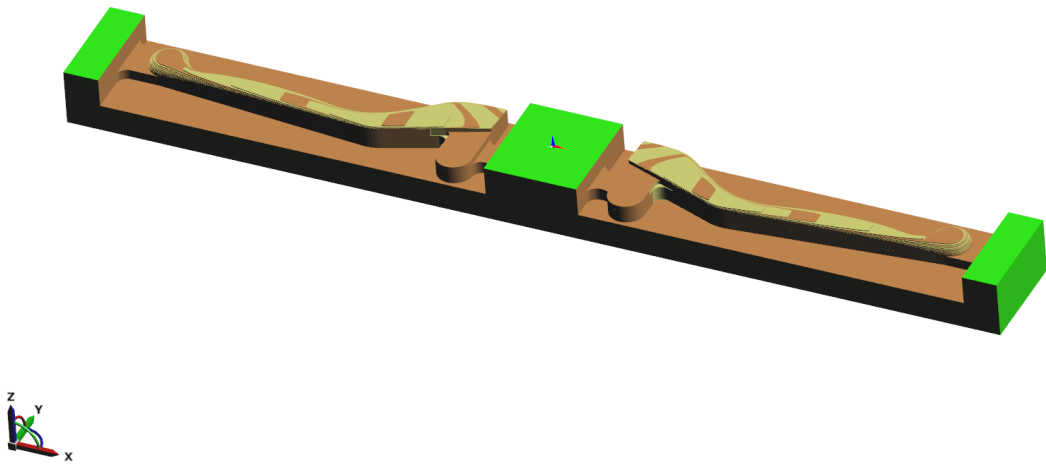
Obr. 24. Brzdové páčky po hrubování v prvním upnutí

Poté se nástroj poslal do výměny a nahradil se čelní válcovou frézou o průměru 3 mm, která se použila na dohrubování tvaru brzdových páček. Pro tuto operaci byl použit příkaz „ořezání zbytků“, což je na obr. 25.



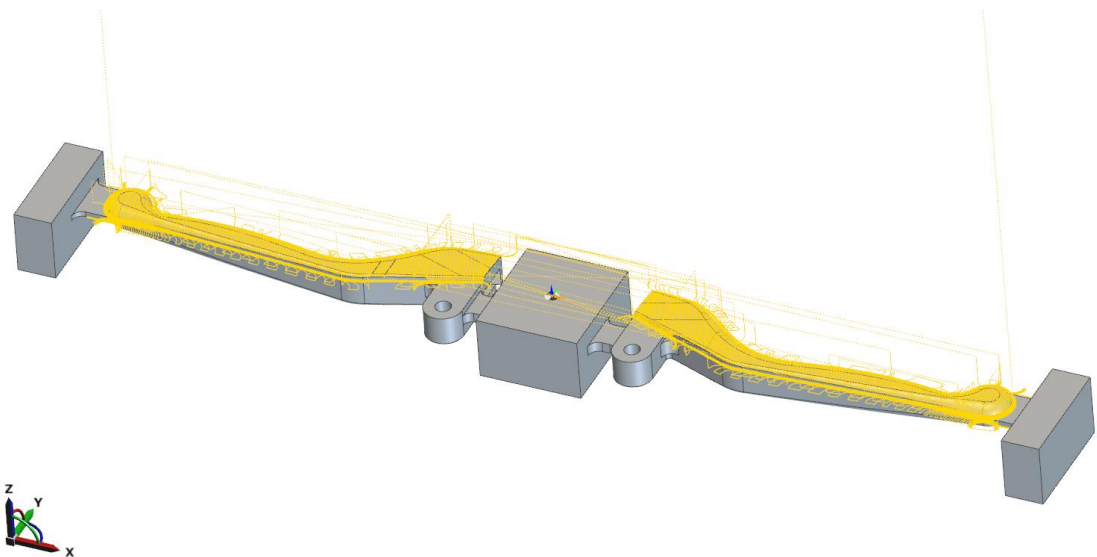
Obr. 25. Dráhy nástroje příkazu „ořezání zbytků“ v prvním upnutí

Tímto příkazem se zpřesnil tvar a odebral materiál z míst, do kterých se předchozí nástroj nevešel. Obrobené plochy jsou zobrazeny na obr. 26 jinou barvou.



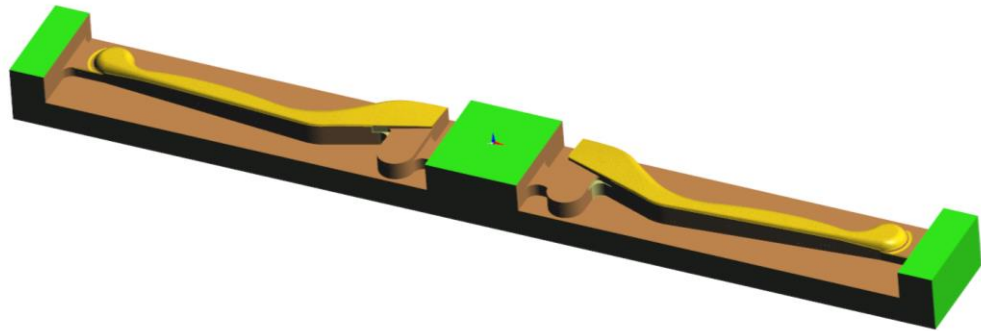
Obr. 26. Brzdové páčky po dohrubování v prvním upnutí

Opět se nástroj poslal do výměny a nahradil se kulovou frézou průměru 4 mm, která se použila pro dokončení profilu horní poloviny brzdových páček. K tomu byl využit příkaz „řádkování“, který je zobrazen na obr. 27.



Obr. 27. Dráhy nástroje příkazu „řádkování“ v prvním upnutí

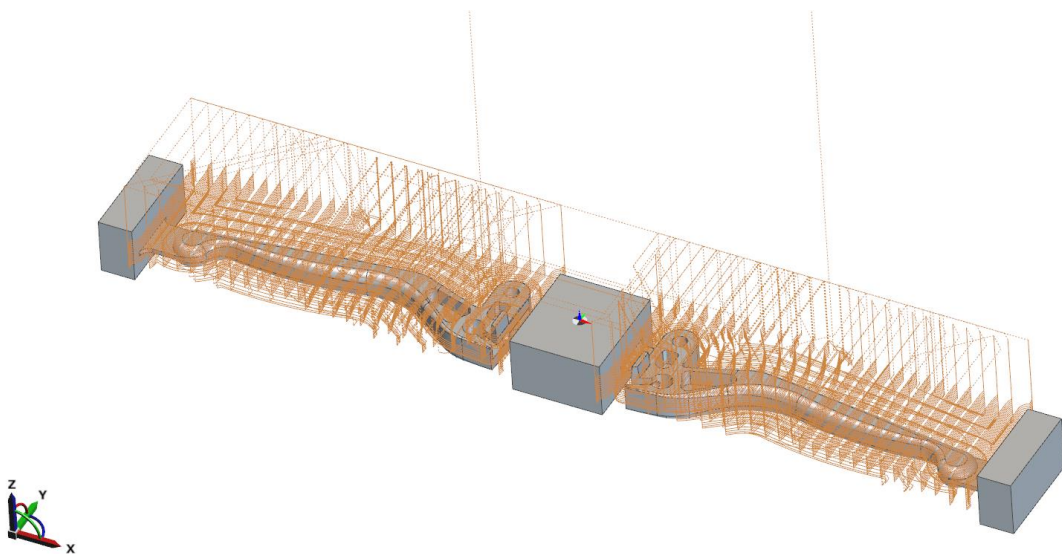
Tímto příkazem se dokončil tvarový profil povrchu páček na obr. 28. Poté bylo první upnutí hotové.



Obr. 28. Hotové Brzdové páčky po prvním upnutí

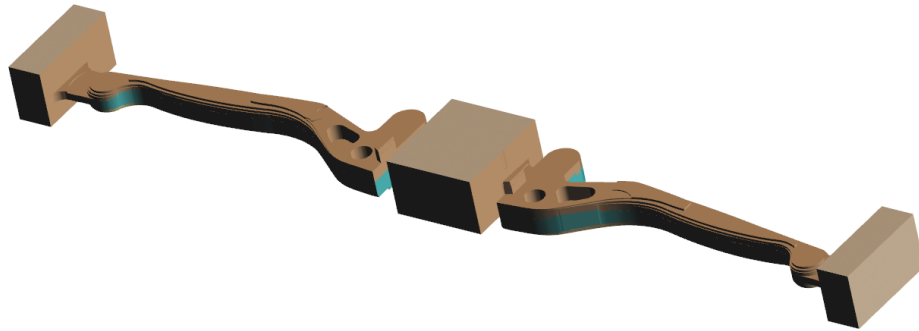
11.2.2 Druhé upnutí

Po hotovém prvním upnutí se přistoupilo na programování druhého upnutí ve formě obrobení spodní poloviny brzdových páček. Jako první se opět použil příkaz „hrubování“ společně s čelní válcovou frézou průměru 8 mm, viz obr. 29.



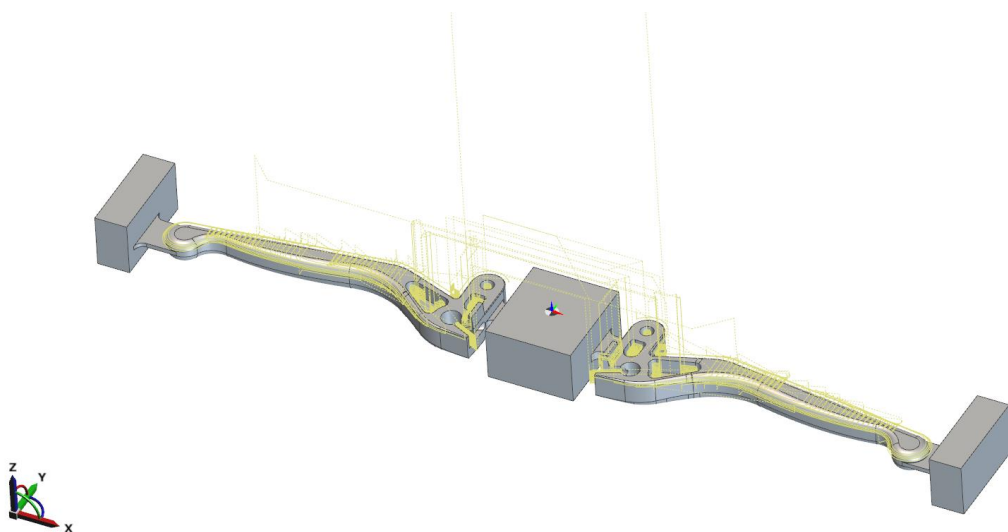
Obr. 29. Dráhy nástroje příkazu „hrubování“ ve druhém upnutí

Opět se docílilo odstranění podstatné části materiálu na obr. 30.



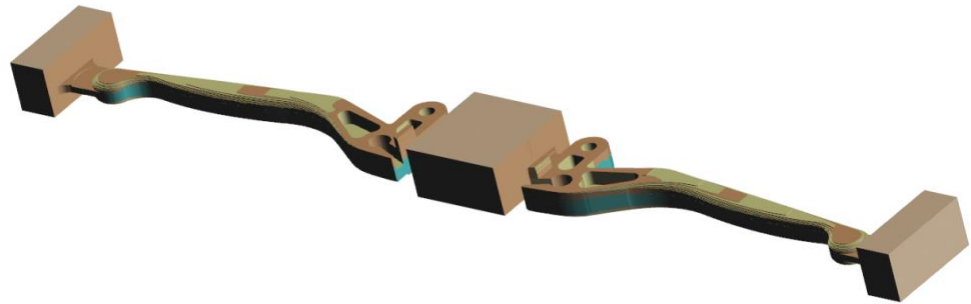
Obr. 30. Brzdové páčky po hrubování ve druhém upnutí

Následně se nástroj poslal do výměny a nahradil se čelní válcovou frézou o průměru 3 mm, která se použila na dohrubování tvaru brzdových páček a na dofrézování odlehčení, drážek a otvorů. Pro tyto operace se opět použil příkaz „ořezání zbytků“, což je na obr. 31.



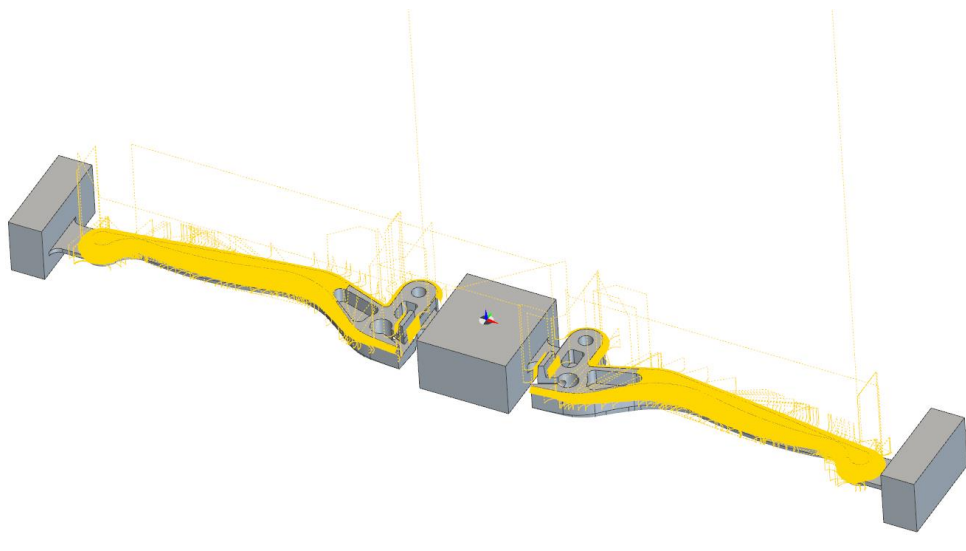
Obr. 31. Dráhy nástroje příkazu „ořezání zbytků“ ve druhém upnutí

Tím se opět zpřesnil tvar a odebral materiál z míst, do kterých se předchozí nástroj nevešel. Obrobené plochy jsou zobrazeny na obr. 32 jinou barvou.



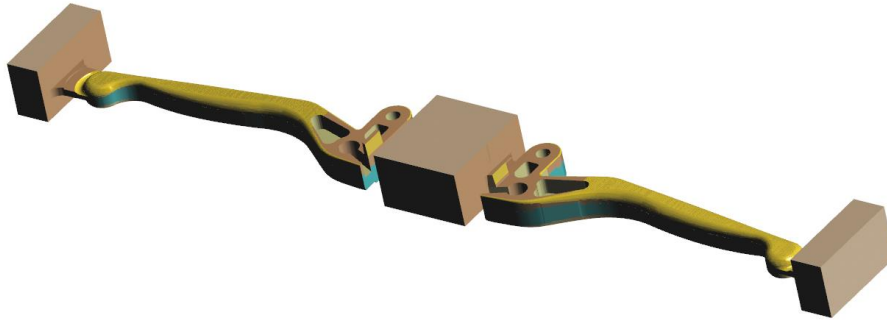
Obr. 32. Brzdové páčky po dohrubování a frézování odlehčení, drážek a otvorů

Opět se nástroj poslal do výměny a nahradil se kulovou frézou průměru 4 mm, která se použila pro dokončení profilu spodní poloviny brzdových páček. K tomu se opět využil příkaz „řádkování“, který je zobrazen na obr. 33.



Obr. 33. Dráhy nástroje příkazu „řádkování“ ve druhém upnutí

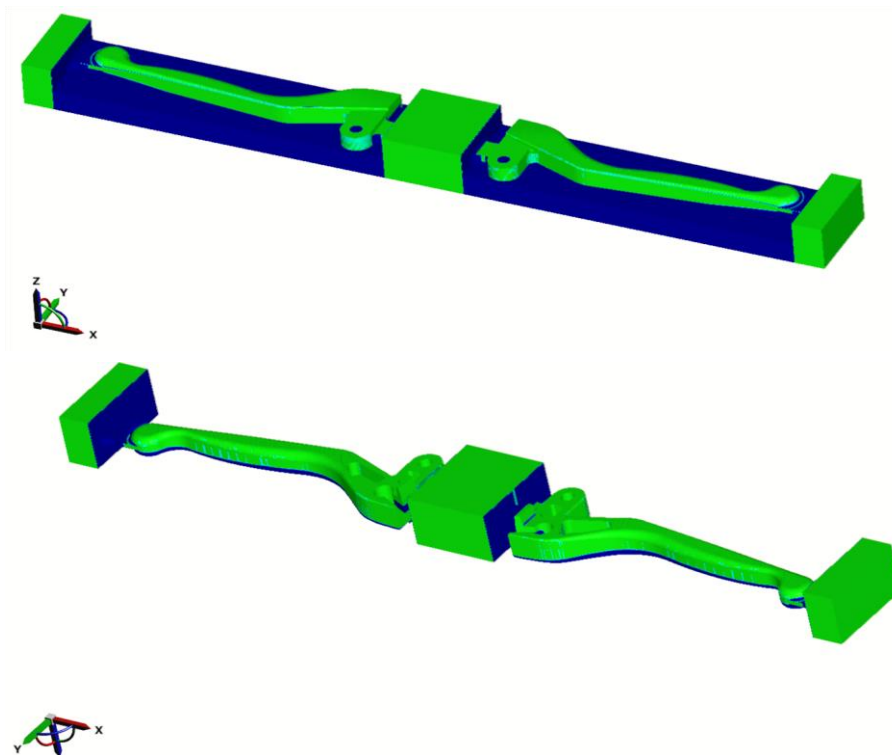
Tím se dokončil tvarový profil povrchu páček na obr. 34. Poté bylo i druhé upnutí hotové.



Obr. 34. Hotové Brzdové páčky po druhém upnutí

11.2.3 Verifikace

Neboli kontrola obrobené plochy zda se nástroje dostaly všude tam, kde se dostat měly a nezůstává někde přebytečný materiál, kde by zůstat neměl. Zároveň kontrola řezných parametrů jako je rozteč drah nástrojů a zda je strategie obrábění správná. Na obr. 35 zelená barva znázorňuje, že postup programování byl správný a modrá znázorňuje přebytečný a neobrobený materiál.



Obr. 35. Verifikace prvního a druhého upnutí brzdových páček

12 VÝROBA BRZDOVÉ PÁČKY NA CNC FRÉZCE MCFV 1050

12.1 Technické parametry MCFV 1050

Tato CNC frézka MCFV 1050, viz obr. 36, je plnohodnotné vertikální obráběcí centrum vhodné pro obrábění všech dostupných materiálů, které lze obrábět. Vyznačuje se dobrou tuhostí rámu stroje, což umožňuje vyrábět přesné výrobky. Samozřejmostí je řídicí panel, který pomocí NC programu řídí dráhy nástroje. Stroj má čisticí zařízení pro řeznou kapalinu, dopravník pro odvod třísek ze stroje a automatickou výměnu nástrojů.

Tab. 2. Technické parametry CNC frézky MCFV 1050 [16]

Pojezdy	
Osa X	1020 mm
Osa Y	510 mm
Osa Z	525 mm
Rychloposuv	25 m/min
Maximální pracovní posuv	8 m/min
Zrychlení	5 m/s ²
Stůl	
Pracovní plocha	1200 x 510 mm
Maximální zatížení	700 kg
Vzdálenost pracovní plochy od podlahy	850 mm
Vřeteno	
Upínací kužel	ISO 40
Maximální otáčky	10 000 1/min
Vzdálenost čela vřetena od stolu	200 - 725 mm
Výkon na vřeteni	17 kW
Typ převodu	řemenový
Zásobník nástrojů	
Počet míst v zásobníku	20
Maximální délka nástroje	300 mm
Maximální hmotnost nástroje	8 kg
Max. Ø nástroje - bez sousedních nástrojů	160 mm
Max. Ø nástroje - plně obsazený zásobník	90 mm
Přívody energie	
Síťové napětí	3 x 400 V/50 Hz
Tlak vzduchu	0,6 - 0,8 MPa
Stroj	
Půdorys bez dopravníku	2810 x 1895 mm
Maximální pracovní výška	2940 mm
Hmotnost	4800 kg
Řídicí systém	HEIDENHAIN iTNC 530

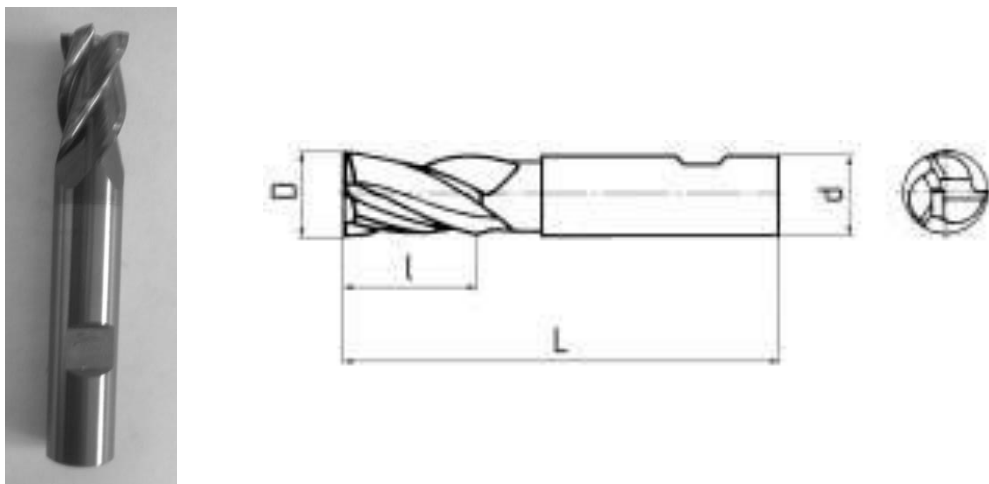


Obr. 36. Obráběcí centrum TAJMAC – ZPS MCFV 1050 BASIC

12.2 Použité nástroje pro obrábění

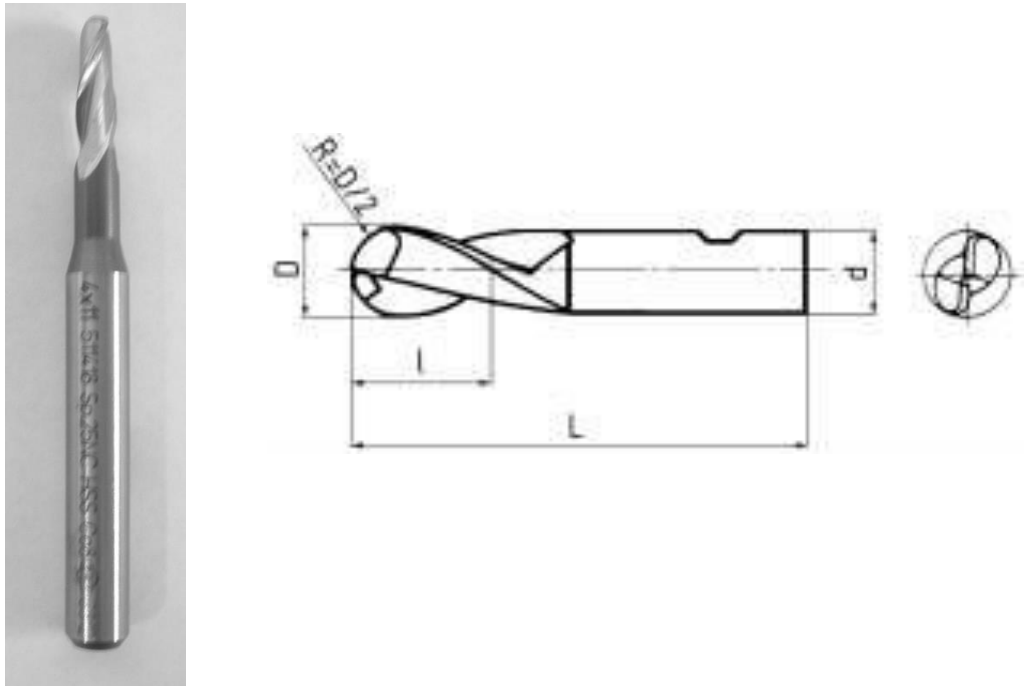
Pro výrobu pravé a levé brzdové páčky, včetně prvního a druhého upnutí, byly použity tyto tři nástroje:

- T1 – čelní válcová fréza ze slinutého karbidu pro hrubování tvaru



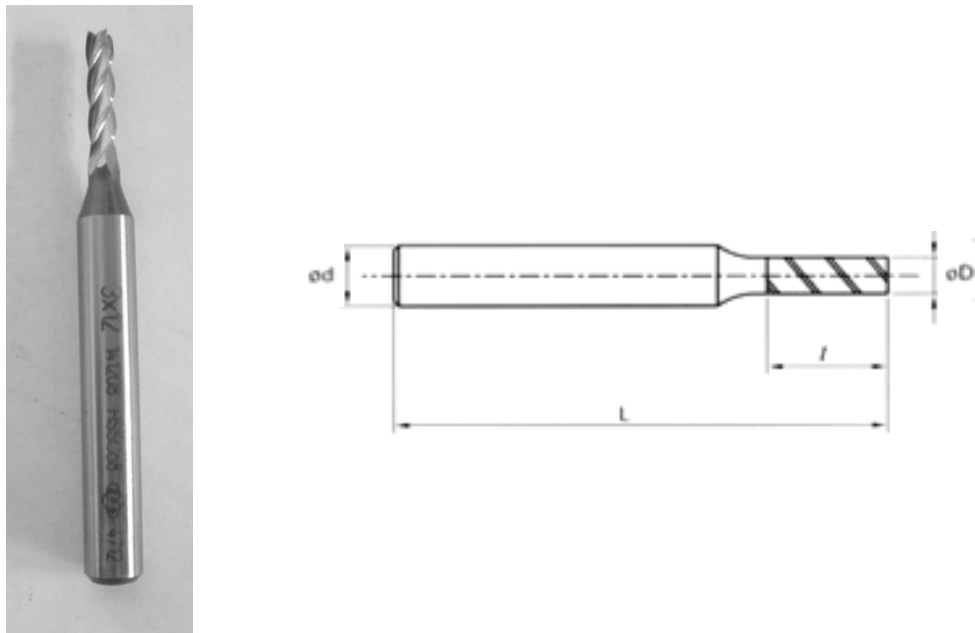
Obr. 37. Čelní válcová fréza ze slinutého karbidu firmy ZPS

- T2 – Kulová fréza z rychlořezné oceli pro dokončení tvaru



Obr. 38. Kulová fréza z rychlořezné oceli od firmy ZPS

- T3 – Čelní válcová fréza z rychlořezné oceli pro obrábění otvorů a odlehčení



Obr. 39. Čelní válcová fréza z rychlořezné oceli od firmy ZPS

Tab. 3. Parametry použitých frézovacích nástrojů pro výrobu

Nástroj	D [mm]	d [mm]	l [mm]	L [mm]	Z	Materiál
T1	8	8	20	50	3	SK
T2	4	6	11	63	2	HSS
T3	3	6	12	63	3	HSS

Tab. 4. Řezné podmínky použitých frézovacích nástrojů pro výrobu

Nástroj	Otáčky [1/min]	Posuvová rychlost [mm/min]	Šířka záběru [mm]	Hloubka řezu [mm]
T1	4000	400	5	1
T2	7000	1500	0,5	0,5
T3	7000	400	1	1

Legenda:

D — průměr upínací části frézy

d — průměr řezné části frézy

l — délka řezné části frézy

L — délka frézy

Z — počet zubů (břitů) frézy

12.3 Specifikace použitého materiálu

Pro výrobu pravé a levé brzdové páčky byl vybrán materiál z hliníkové slitiny s označením AlMgSi 1, což je v podstatě materiál používaný v leteckém průmyslu. Tento materiál je dobře zpracovatelný technologií obrábění. Před opracováním má matně hliníkovou barvu a po obrobení krásně leskle hliníkovou barvu. Bývá většinou zpracován do polotovarů ve tvaru tažených profilů, litých desek nebo tvářených profilů pro zakázkovou nebo hromadnou výrobu. Materiál byl vybrán z důvodu, že originální díl byl vyroben z plastu, který nevyhovoval běžnému použití.

Tab. 5. Vlastnosti materiálu AlMgSi 1 [17], [18]

Materiál	Modul pružnosti v tahu [MPa]	Mez kluzu [MPa]	Mez pevnosti [MPa]	Hustota [Kg/m³]	Tažnost [%]	Tvrdost HB
AlMgSi 1 (ČSN 42 4400)	63 740 - 70 610	260	310	2700	10	80 - 85

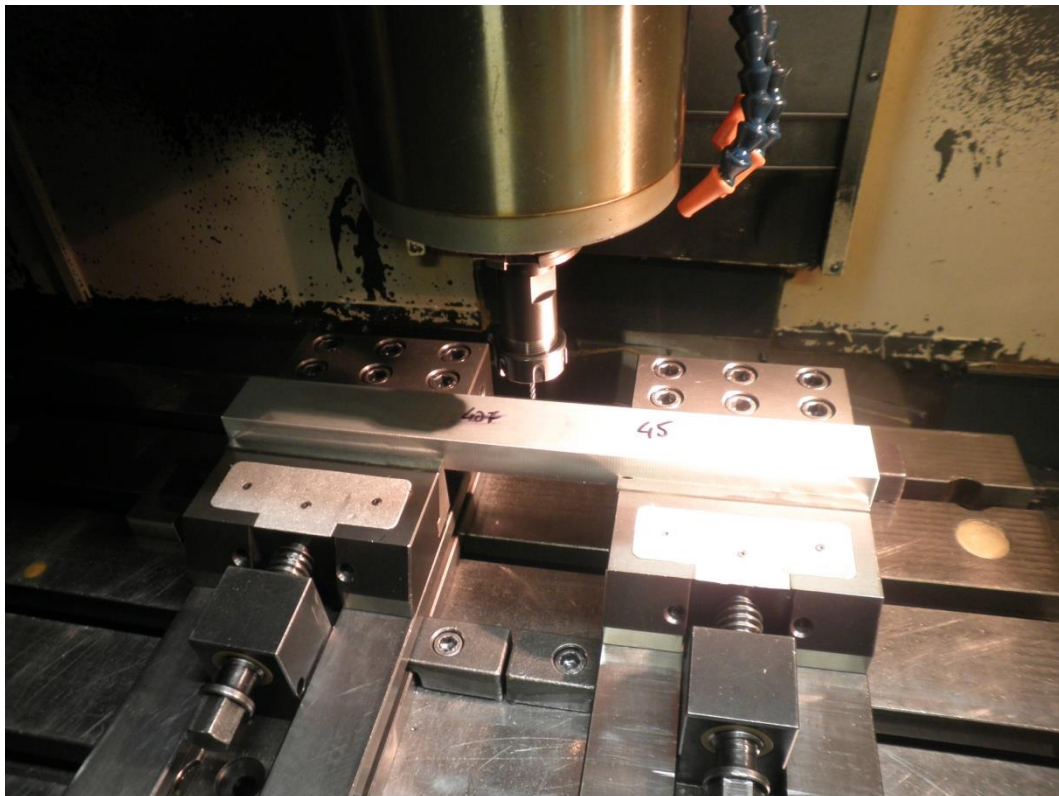
12.4 Samotné obrábění pravé a levé brzdové páčky

V první řadě se ve firmě Geniczech – M vychystal a dělil materiál pro přípravu polotovaru. Dále se polotovar upravoval klasickým frézováním, na konvenční frézce, na požadované rozměry pro upnutí a výrobu na CNC frézce MCFV 1050.

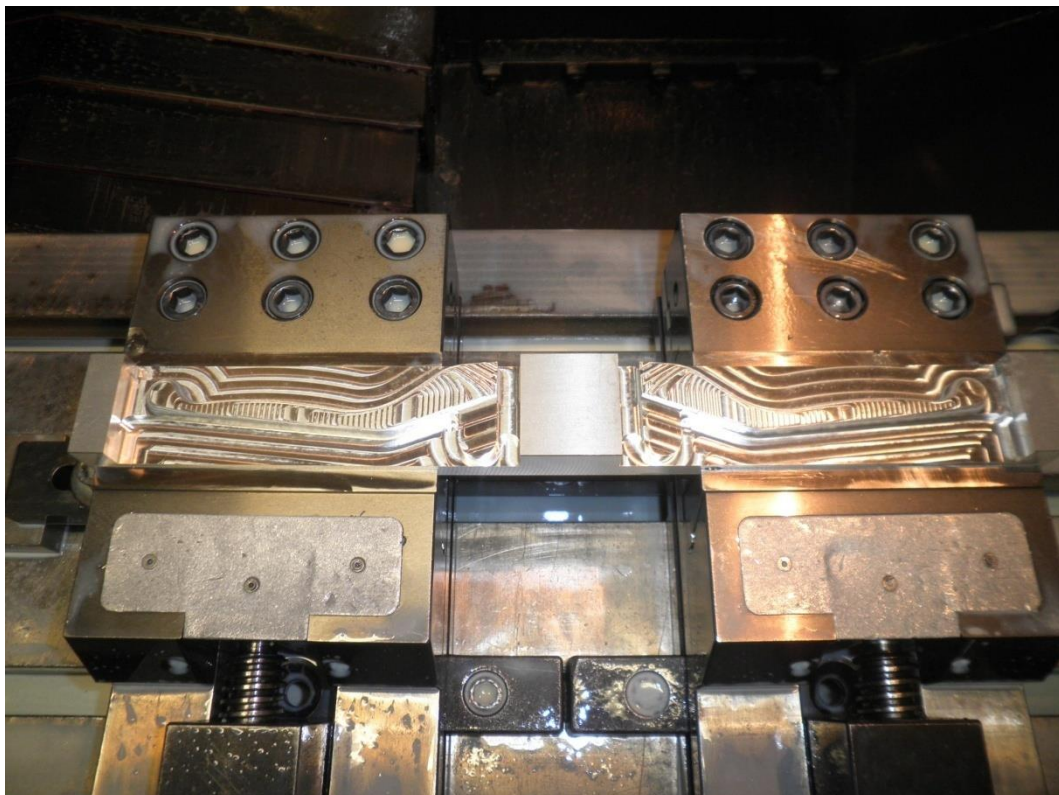
- Polotovar měl tvar kvádrů o rozměrech: **45 mm x 25 mm x 407 mm**.

Po vytvoření polotovaru se šlo obrábět na CNC frézku MCFV 1050, která je součástí strojního parku firmy Geniczech – M. Nejprve se přichystaly nástroje s upínači pro tento stroj, pak se vzali a vložili místo předešlých nástrojů do zásobníku stroje spolu s příslušnými korekcemi, které se upravily v řídicím systému stroje. Dále se nahrál NC program pro první upnutí i pro druhé na společný síťový disk. Otevřel se NC program pro první upnutí a zkontroloval se pomocí simulace ve stroji. Následně se připravilo upnutí polotovaru a najetí nulového bodu na obrobku. Poté se spustil stroj a průběh výroby až po finální podobu pravé a levé brzdové páčky je znázorněn na následujících obrázcích:

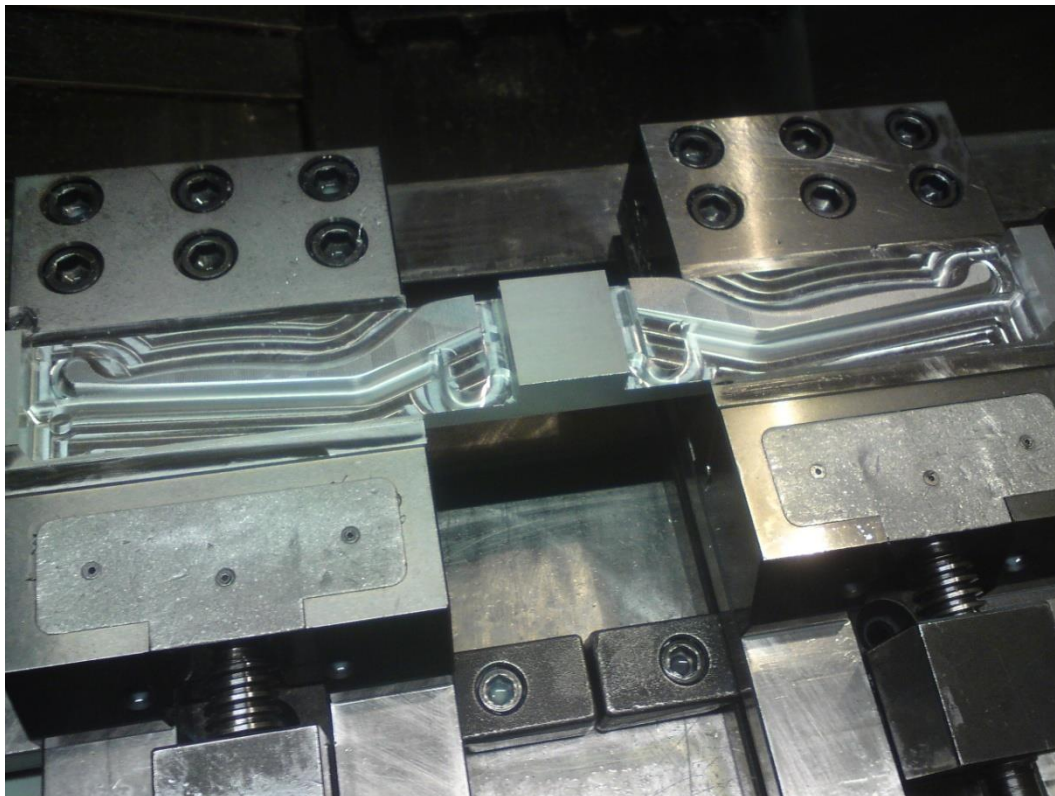
- I. Upnutí polotovaru bylo ve dvou svěracích, které byly upevněny ke stolu pomocí upínek. Stačily dva, protože polotovar byl dostatečně tuhý.



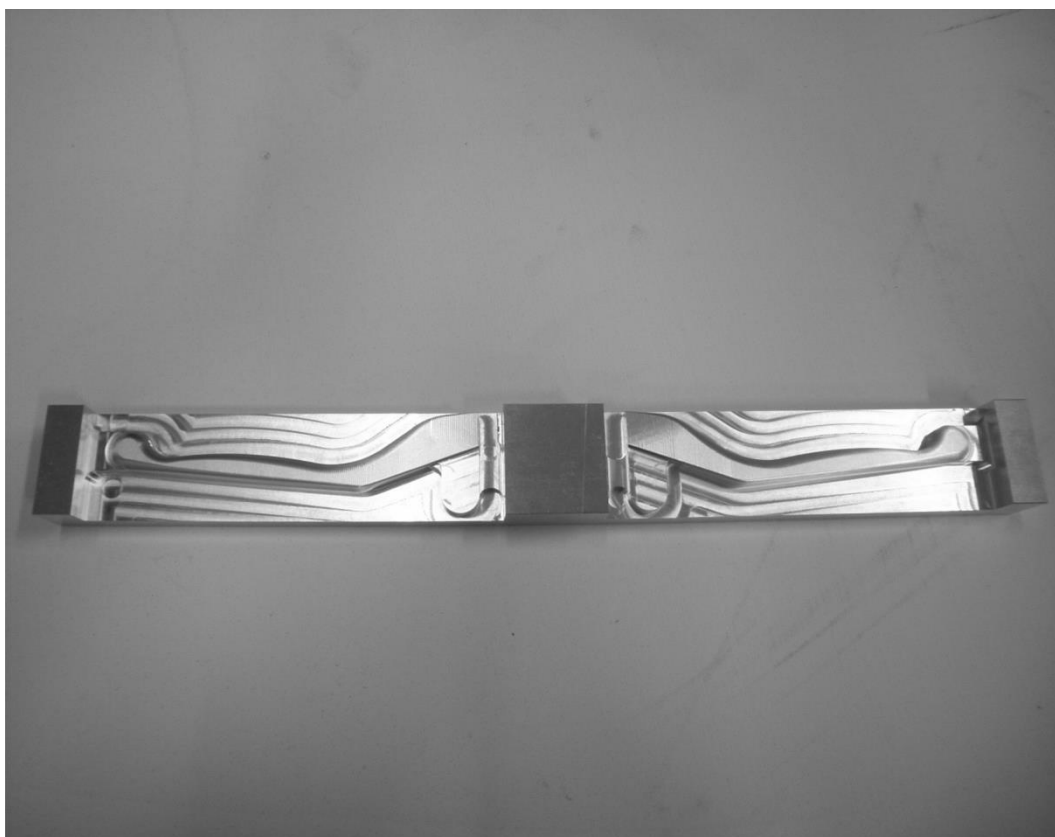
Obr. 40. Upnutý polotovar, připraven pro obrábění v prvním upnutí



Obr. 41. Obrobek po hrubování a dohrubování v prvním upnutí



Obr. 42. Obrobek po příkazu „řádkování“ v prvním upnutí



Obr. 43. Hotový obrobek po prvním upnutí

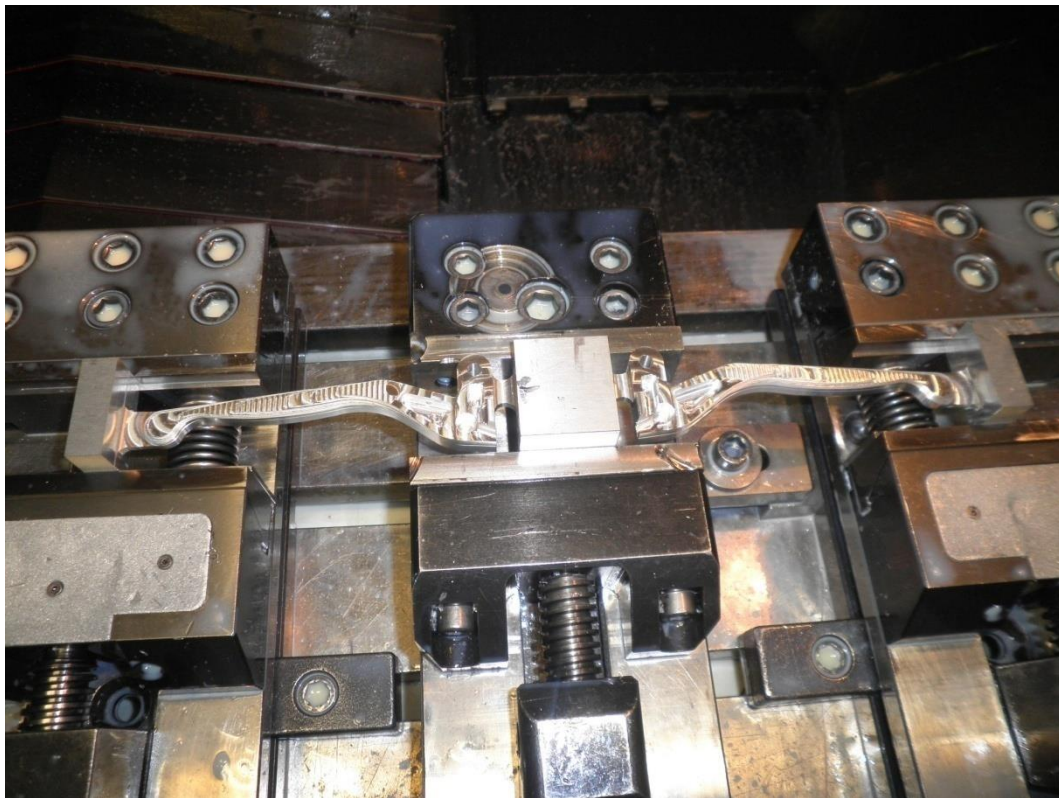
- II. Upnutí obrobku bylo ve třech svěracích, které byly upevněny ke stolu pomocí upínek. Museli být tři, protože polotovár nemusel být dostatečně tuhý ke konci procesu obrábění.



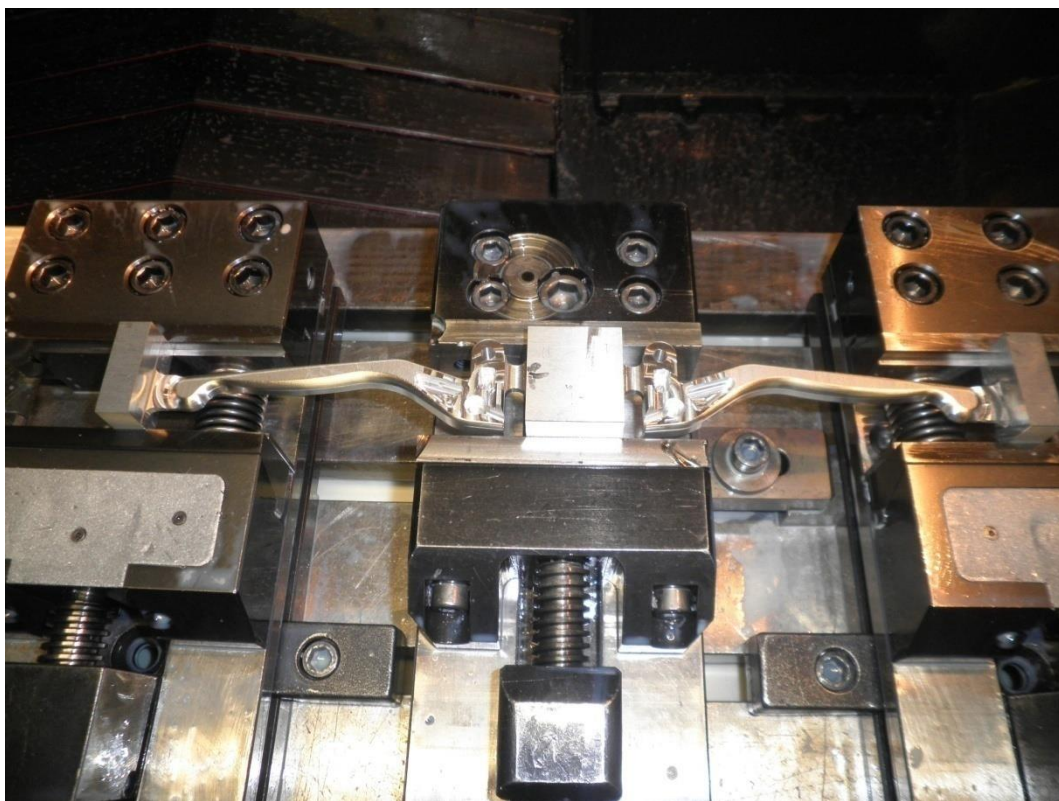
Obr. 44. Upnutý obrobek, připraven pro obrábění ve druhém upnutí



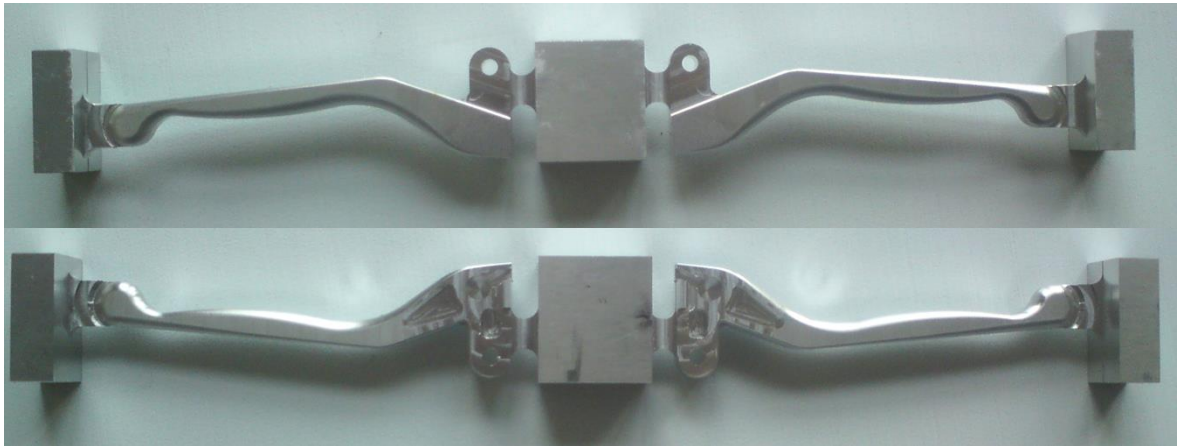
Obr. 45. Obrobek po hrubování ve druhém upnutí



Obr. 46. Obrobek po dohrubování a frézování otvorů, odlehčení a drážek

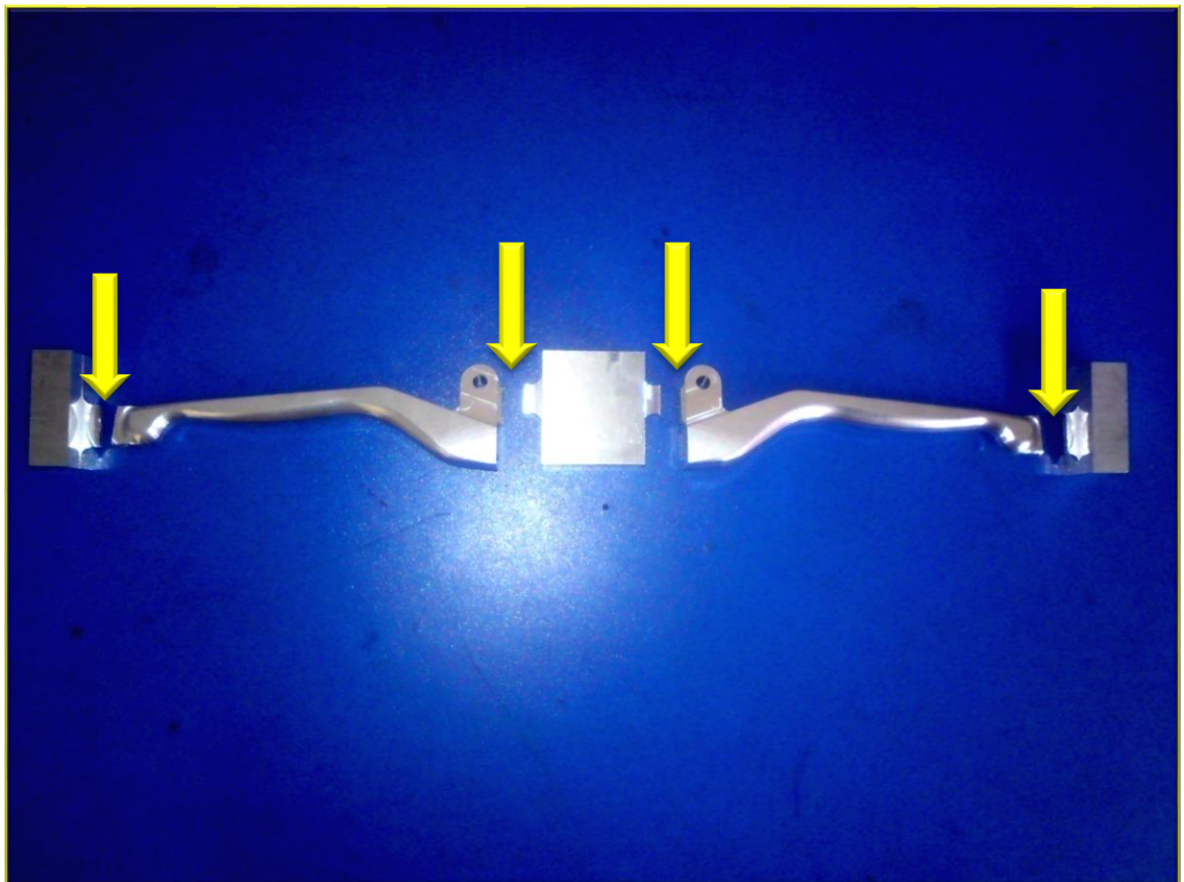


Obr. 47. Obrobek po příkazu „řádkování“ ve druhém upnutí



Obr. 48. Hotový obrobek po prvním a druhém upnutí

Po obrobení, odepnutí obrobku ze stroje a úklidu, byly páčky odděleny pomocí pilky na železo od zbytků původního polotovaru, který zbyl po obrábění a sloužil pro upnutí v dílenském svěráku. Přebytečný materiál se vrátil do skladu.



Obr. 49. Oddělené páčky od polotovaru

Následně na to, se na páčkách zapilovaly a zaleštily stopy po oddělení od polotovaru a nechaly se dofrézovat, na konvenční frézce, drážky pro lanko, které se v této drážce volně pohybuje, aby nedošlo k jeho sevření nebo vzpříčení během plnění funkce. Po dofrézování drážek byly páčky zbaveny všech ostrých hran a leštěny z estetických důvodů, protože byly viditelné stopy po kulové fréze a stopy po nepřesnostech upnutí.

Nakonec byly páčky zabaleny, aby se nepoškodily, a poslány na eloxování, což spočívá ve vytvoření ochranné vrstvy oxidu hlinitého na obrobeném a leštěném povrchu páček pomocí elektrolýzy. Vrstva již dále neoxiduje a zároveň chrání před oxidací samotnou hliníkovou slitinu. Tato povrchová úprava zvyšuje mechanickou odolnost, ořezuvzdornost, životnost a výrazně snižuje tepelnou i elektrickou vodivost. Většinou se uplatňuje u obráběných výrobků, protože zacelí mikrotrhliny v obrobeném povrchu součásti. Tato operace slouží i ke zlepšení estetické stránky výrobku v podobě různého zbarvení. Pro páčky byl zvolen černý elox viz obr. 50, tak aby ladily k motorce. Hned poté byly páčky namontovány, viz obr. 51.



Obr. 50. Konečná podoba pravé a levé brzdové páčky včetně povrchové úpravy



Obr. 51. Namontovaná páčka

12.5 Srovnání výrobních časů

Srovnání výrobních časů v programu Edgecam a na stroji MCFV 1050 pro první, druhé upnutí včetně celkového času obrábění.

Tab. 6. Srovnání výrobních časů

První upnutí				Rozdíl [%]
Edgecam	2:00:33	Stroj	2:11:09	9
Hrubování	1:48:46	Hrubování	1:55:56	7
Řádkování	0:11:47	Řádkování	0:15:11	29
Druhé upnutí				
Edgecam	2:46:09	Stroj	3:15:47	18
Hrubování	1:25:15	Hrubování	1:38:25	15
Otvory a odlehčení	0:55:08	Otvory a odlehčení	1:06:44	21
Řádkování	0:25:46	Řádkování	0:31:38	23
Celkový čas				
Edgecam	4:46:42	Stroj	5:26:56	14

13 ZÁVĚR

V praktické části bakalářské práce byla vysvětlena a popsána problematika včetně cesty, jak model brzdové páčky převést na skutečnou součást pomocí technologie obrábění. Model byl vytvořen CAD programem Autodesk Inventor Professional 10. Dále pak byla vytvořena obráběcí strategie a dráhy nástrojů v CAM programu Edgecam 2010R1. Nakonec byla popsána samotná výroba dílu na vertikální CNC frézce TAJMAC – ZPS MCFV 1050 BASIC.

Nejprve se musel vytvořit model, podle poškozené plastové brzdové páčky. Následovala tvorba náčrtu, který se převedl na objemový model a pak se model poupravil, tak aby bylo možné jej upnout na stroji. Dále byl tento model převeden do softwaru pro tvorbu a simulaci řezných drah a strategie obrábění. Následně se vygenerovaly NC kódy nutné pro výrobu na CNC frézce. Ty jsou společně s modelem, poupraveným modelem a strategií obrábění v přílohách na CD.

Samotná výroba pravé a levé brzdové páčky začala přípravou stroje a nástrojů pro obrábění. Brzdové páčky se vyráběly z materiálu, který je vhodný ke zpracování technologií obrábění. Díky tomu během výroby téměř nedocházelo k otřepům na hranách, tudíž byly ostré a nepoškozené. Mimo jiné tomu také výrazně přispěly kvalitní, ostré a relativně nové nástroje, které vydržely celý proces obrábění. Dále upnutí na stroji bylo vymyšleno tak, aby bylo jednoduché a efektivní. Zprvu se uvažovalo o upnutí pomocí upínek, ale to by bylo zdlouhavé a náročné na vyrovnání polotovaru ve stroji, proto se přistoupilo k upnutí pomocí dvou a poté tří svěráků. Tyto svěráky byly vyrovnány před začátkem výroby. Z důvodu, že se součást vyráběla na dvě upnutí, kde dělicí rovina byla v polovině dílce osy Z, došlo k tomu, že jednotlivé poloviny na sebe v některých místech nenavazovali, tudíž vznikl přechod mezi horní a dolní polovinou dílce. To mohlo být způsobeno tím, že nástroj se odtlačoval od obrobku v souvislosti se špatnými řeznými podmínkami anebo odchylka způsobena přepnutím polotovaru mez prvním a druhým upnutím.

Nakonec se dofrézovaly drážky pro lanko. Následně poté byly páčky leštěny a zbaveny ostrých hran a přechodů. Pro lepší mechanické a estetické vlastnosti se páčky nechali naeloxovat a následně se namontovali na motorku.

Ke konci se práce věnuje výrobním časům, které byly srovnávány mezi simulací a skutečností. Toto porovnání lze brát jen jako orientační z důvodu manipulace rychlostí

posuvů při obrábění dle potřeby, přípravy na obrábění, prodlevy mezi upnutími a času výměny nástroje.

Závěrem se dá zhodnotit, samotná výroba proběhla v pořádku, bez problémů a kolizí. To svědčí o tom, že zvolený postup byl správný a vytvořená součást odpovídá vytvořenému modelu.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] ŠTULPA, M. *CNC obráběcí stroje a jejich programování*. 1. vydání. Praha: BEN – technická literatura, 2006. 126 s. ISBN 978-80-7300-207-7.
- [2] NEDBAL, R. *Programování CNC strojů*. Zlín, 66 s.
- [3] MAREK, J. *Konstrukce CNC obráběcích strojů*. Praha: MM Publishing, 2010. 420 s. ISBN 978-80-254-7980-3.
- [4] JANDEČKA, K. *Postprocesory a programování NC strojů*. Ústí nad Labem, 2007. 244 s. ISBN 978-80-7044-870-0.
- [5] KRAJČA, M. *Pharis – Výrobní informační systém*. [online]. 3. prosince 2007 [cit. 13. listopadu 2013]. Dostupný z WWW: <<http://www.pharis.cz/cs/MES-pro-kovoobrabeni-a-nastrojarny>>
- [6] POLZER, A. *Akademie CNC obrábění*. Technický týdeník – Průmyslový portál. [online]. 15. ledna 2009 [cit. 13. listopadu 2013]. Dostupný z WWW: <http://www.technickytydenik.cz/rubriky/serialy/akademie-cnc-obrabeni/akademie-cnc-obrabeni-1_8536.html>
- [7] KOČMAN, K. *Technologické procesy obrábění*. Brno: CERM, 2011. 330 s. ISBN 978-80-7204-722-2.
- [8] POLÁŠEK, J. *Číslicově řízené stroje – Elektronická učebnice*. [online]. 1. ledna 2007 [cit. 13. listopadu 2013]. Dostupný z WWW: <http://moodle2.voskop.eu/download/teu/U31_Cislicove_rizene_stroje.pdf>
- [9] *Stolfig*. [online]. 2006. [cit. 13. listopadu 2013]. Dostupný z WWW: <<http://www.stolfig.cz/cz/section/strojni+vybaveni/>>
- [10] NEDBAL, R. *Strojírenská technologie*. Zlín, 104 s.
- [11] MÁDL, J.; BARCAL, J. *Základy technologie II*. [online]. Praha: ČVUT, 2005. [cit. 13. listopadu 2013]. 55 s. Dostupné z WWW: <http://www.strojar.com/upload/skripta/1rocnik/zaklady_technologie_2.pdf>
- [12] PETERKA, J.; JANÁČ, A.; GÖRÖG, A. *Programovanie NC strojov I*. Bratislava: STU, 2002. 75 s. ISBN 80-227-1686-3.
- [13] PETERKA, J.; JANÁČ, A. *CAD/CAM SYSTÉMY*. Bratislava: STU, 2002. 63 s. ISBN 80-227-1685-5.

- [14] *cadstudio*. [online]. 2014. [cit. 20. dubna 2014]. Dostupný z WWW: <<http://www.cadstudio.cz/inventor>>
- [15] *Nexnet*. [online]. 2014. [cit. 20. dubna 2014]. Dostupný z WWW: <<http://www.edgecamcz.cz/edgecam-uvod/>>
- [16] *Zako Turčín*. [online]. 2013. [cit. 20. dubna 2014]. Dostupný z WWW: <http://www.zakoturcin.cz/download/mcfv1050_cz.pdf>
- [17] *ČSNMT*. [online]. 2010. [cit. 20. dubna 2014]. Dostupný z WWW: <<http://csnmt.fme.vutbr.cz/asc.cs/informace/nezelezo/At38.htm>>
- [18] *IMC Slovakia s.r.o.* [online]. 2012. [cit. 20. dubna 2014]. Dostupný z WWW: <<http://www.imcslovakia.sk/pdf/linde.pdf>>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

NC	Numerical Control	Číslicové řízení
CNC	Computer Numerical Control	Počítačem číslicové řízení
DNC	Direct Numerical Control	Přímé číslicové řízení
CAD	Computer Aided Design	Počítačová podpora konstrukce
CAM	Computer Aided Manufacturing	Počítačová podpora výroby
PC	Personal Computer	Osobní počítač
USA	United States of America	Spojené státy americké
MCU	Machine Control Unit	Řídicí jednotka stroje
ISO	International Organization of Standardization	Mezinárodní organizace pro normalizaci
X, Y, Z	Základní osy	
A, B, C	Rotační osy	
2D	Dvou rozměrné obrábění	
3D	Tří rozměrné obrábění	
4D	Čtyř rozměrné obrábění	
5D	Pěti rozměrné obrábění	
VBD	Výměnná Břítová Destička	
N	Číslo bloku v programu	
G	Přípravná funkce v programu	
F	Posuv v programu	
S	Otáčky vřetene v programu	
T	Nástroj v programu	
M	Smysl otáčení v programu	
v_c	Řezná rychlost	m/min
v_f	Posuvová rychlost	mm/min

F_c	Řezná síla	N
f_{min}	Minimální posuv	mm
n	Otáčky vřetene	1/min

SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obr. 1. Příklad pětiosé CNC frézky [9]</i>	13
<i>Obr. 2. Systém stavění souřadnic [2]</i>	14
<i>Obr. 3. Systém pravoúhlého řízení [2]</i>	14
<i>Obr. 4. Souvislé řízení 2D [2].....</i>	15
<i>Obr. 5. Souvislé řízení 3D [2].....</i>	15
<i>Obr. 6. Souvislé 4D příp. 5D [2]</i>	16
<i>Obr. 7. Určení kartézských souřadnic – pravotočivá soustava [1]</i>	17
<i>Obr. 8. DNC řízení – Přímé číslíkové řízení [5].....</i>	20
<i>Obr. 9. Příklad litinového rámu CNC stroje [3]</i>	23
<i>Obr. 10. Blokové schéma CNC obráběcího stroje [1].....</i>	26
<i>Obr. 11. Řídicí panel CNC stroje – ukázka jednoho z mnoha provedení [1]</i>	28
<i>Obr. 12. Nesousledné frézování [11].....</i>	32
<i>Obr. 13. Sousledné frézování [11].....</i>	32
<i>Obr. 14. Čelní frézování [11]</i>	33
<i>Obr. 15. Souřadnicový systém frézky a nulové body [1]</i>	34
<i>Obr. 16. Měření délkových korekcí frézy [1].....</i>	35
<i>Obr. 17. Pravotočivá fréza obrábí konturu v různých polohách [1]</i>	36
<i>Obr. 18. Virtuální model součásti.....</i>	42
<i>Obr. 19. Reálná součást včetně povrchové úpravy.....</i>	42
<i>Obr. 20. Výchozí náčrt brzdové páčky</i>	45
<i>Obr. 21. Konečný model pravé a levé brzdové páčky.....</i>	46
<i>Obr. 22. Poupravený model pro upnutí na CNC stroji.....</i>	46
<i>Obr. 23. Dráhy nástroje příkazu „hrubování“ v prvním upnutí</i>	47
<i>Obr. 24. Brzdové páčky po hrubování v prvním upnutí.....</i>	48
<i>Obr. 25. Dráhy nástroje příkazu „ořezání zbytků“ v prvním upnutí</i>	48
<i>Obr. 26. Brzdové páčky po dohrubování v prvním upnutí.....</i>	49
<i>Obr. 27. Dráhy nástroje příkazu „řádkování“ v prvním upnutí</i>	49
<i>Obr. 28. Hotové Brzdové páčky po prvním upnutí</i>	50
<i>Obr. 29. Dráhy nástroje příkazu „hrubování“ ve druhém upnutí.....</i>	50
<i>Obr. 30. Brzdové páčky po hrubování ve druhém upnutí</i>	51
<i>Obr. 31. Dráhy nástroje příkazu „ořezání zbytků“ ve druhém upnutí.....</i>	51
<i>Obr. 32. Brzdové páčky po dohrubování a frézování odlehčení, drážek a otvorů.....</i>	52

<i>Obr. 33. Dráhy nástroje příkazu „řádkování“ ve druhém upnutí.....</i>	<i>52</i>
<i>Obr. 34. Hotové Brzdové páčky po druhém upnutí.....</i>	<i>53</i>
<i>Obr. 35. Verifikace prvního a druhého upnutí brzdových páček.....</i>	<i>53</i>
<i>Obr. 36. Obráběcí centrum TAJMAC – ZPS MCFV 1050 BASIC</i>	<i>55</i>
<i>Obr. 37. Čelní válcová fréza ze slinutého karbidu firmy ZPS</i>	<i>55</i>
<i>Obr. 38. Kulová fréza zrychlořezné oceli od firmy ZPS.....</i>	<i>56</i>
<i>Obr. 39. Čelní válcová fréza zrychlořezné oceli od firmy ZPS.....</i>	<i>56</i>
<i>Obr. 40. Upnutý polotovar, připraven pro obrábění v prvním upnutí.....</i>	<i>59</i>
<i>Obr. 41. Obrobek po hrubování a dohrubování v prvním upnutí.....</i>	<i>59</i>
<i>Obr. 42. Obrobek po příkazu „řádkování“ v prvním upnutí.....</i>	<i>60</i>
<i>Obr. 43. Hotový obrobek po prvním upnutí.....</i>	<i>60</i>
<i>Obr. 44. Upnutý obrobek, připraven pro obrábění ve druhém upnutí</i>	<i>61</i>
<i>Obr. 45. Obrobek po hrubování ve druhém upnutí.....</i>	<i>61</i>
<i>Obr. 46. Obrobek po dohrubování a frézování otvorů, odlehčení a drážek</i>	<i>62</i>
<i>Obr. 47. Obrobek po příkazu „řádkování“ ve druhém upnutí</i>	<i>62</i>
<i>Obr. 48. Hotový obrobek po prvním a druhém upnutí.....</i>	<i>63</i>
<i>Obr. 49. Oddělené páčky od polotovaru</i>	<i>63</i>
<i>Obr. 50. Konečná podoba pravé a levé brzdové páčky včetně povrchové úpravy</i>	<i>64</i>
<i>Obr. 51. Namontovaná páčka</i>	<i>65</i>

SEZNAM TABULEK

<i>Tab. 1. Výběr nejpodstatnějších přípravných (G) a pomocných (M) funkcí [2]</i>	<i>30</i>
<i>Tab. 2. Technické parametry CNC frézky MCFV 1050 [16]</i>	<i>54</i>
<i>Tab. 3. Parametry použitých frézovacích nástrojů pro výrobu</i>	<i>57</i>
<i>Tab. 4. Řezné podmínky použitých frézovacích nástrojů pro výrobu</i>	<i>57</i>
<i>Tab. 5. Vlastnosti materiálu AlMgSi 1 [17], [18]</i>	<i>58</i>
<i>Tab. 6. Srovnání výrobních časů</i>	<i>65</i>

SEZNAM PŘÍLOH

CD disk obsahující:

- bakalářskou práci
- model brzdových páček
- poupravený model brzdových páček pro upnutí na stroji
- řezné dráhy nástrojů a strategii obrábění pro první a druhé upnutí
- NC kódy prvního a druhého upnutí pro obrábění na CNC frézce MCFV 1050
- Výkres brzdové páčky a modelu pro upnutí