

# Vývoj laboratorního zařízení na obrábění plastů

Tomáš Petružela

---

Bakalářská práce  
2009

 Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta technologická

---

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav výrobního inženýrství

akademický rok: 2008/2009

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Tomáš PETRUŽELA**

Studijní program: **B 3909 Procesní inženýrství**

Studijní obor: **Technologická zařízení**

Téma práce: **Vývoj laboratorního zařízení na obrábění plastů**

Zásady pro vypracování:

1. Vypracujte rešerši na dané téma.
2. Navrhněte laboratorní zařízení na opracování plastových dílců do maximálních rozměrů 280 x 150 x 40 mm.
3. Ověřte funkčnost navrženého zařízení na zkušebních vzorcích.
4. Zhodnoťte výhody a nevýhody navrženého zařízení.

Rozsah práce:

Rozsah příloh:

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

Seznam odborné literatury:

**Dle pokynů vedoucího bakalářské práce.**

Vedoucí bakalářské práce:

**Ing. David Sámek, Ph.D.**

Ústav výrobního inženýrství

Datum zadání bakalářské práce:

**20. února 2009**

Termín odevzdání bakalářské práce:

**3. června 2009**

Ve Zlíně dne 16. února 2009



doc. Ing. Petr Hlaváček, CSc.  
*děkan*



doc. Ing. Miroslav Maňas, CSc.  
*vedoucí katedry*

## **ABSTRAKT**

Cílem této práce je vývoj laboratorního zařízení na obrábění plastů. Vývoj zahrnuje návrh konstrukčního řešení frézky, řídicí elektroniky a výběr vhodného CAD/CAM softwaru a softwaru zprostředkávajícího komunikaci mezi PC a řídicí elektronikou frézky.

Klíčová slova:

CNC Frézka, CAM, řídicí jednotka

## **ABSTRACT**

The object of this study is to design a laboratory machine for plastic material machining. It includes the machine design concept, control electronic, suitable CAD/CAM software and software to mediate a communication between PC and control milling cutter electronic system selection.

Keywords:

CNC Milling machine, CAM, control unit

Chtěl bych poděkovat vedoucímu své bakalářské panu Ing. Davidu Sámkovi, Ph.D. za odborné vedení, cenné rady a připomínky, které mi poskytoval v průběhu vypracování bakalářské práce.

Dále bych chtěl poděkovat panu doc. Dr. Ing. Vladimíru Patovi za pomoc při zpracování naměřených dat, panu Ing. Josefu Hrdinovi za přístup k měřicím zařízením a panu Ing. Jiřímu Šálkovi za poskytnutí zázemí a prostředků v laboratoři.

Prohlašuji, že jsem na bakalářské práci pracoval samostatně a použitou literaturu jsem citoval. V případě publikace výsledků, je-li to uvedeno na základě licenční smlouvy, budu uveden jako spoluautor.

Ve Zlíně, 25.5.2009

.....

Podpis

# OBSAH

<b>ÚVOD .....</b>	<b>8</b>
<b>I TEORETICKÁ ČÁST .....</b>	<b>9</b>
<b>1 OBRÁBĚNÍ PLASTŮ .....</b>	<b>10</b>
1.1 PLASTY JAKO MATERIÁL.....	10
1.2 NÁSTROJE.....	11
1.2.1 Nástroje na obrábění reaktoplastů .....	11
1.2.2 Nástroje na obrábění termoplastů .....	13
1.2.3 Nástroje na obrábění vyztužených a vrstvených plastů .....	15
1.3 ŘEZNÉ PODMÍNKY .....	17
1.4 ZÁSADY BEZPEČNOSTI PRÁCE PŘI OBRÁBĚNÍ PLASTŮ .....	19
<b>2 ČÍSLICOVĚ ŘÍZENÉ OBRÁBĚCÍ STROJE .....</b>	<b>20</b>
2.1 ZÁKLADNÍ POJMY.....	20
2.2 ČÍSLICOVÉ ŘÍZENÍ.....	24
2.3 POPIS A PROGRAMOVÁNÍ POHYBŮ STROJE .....	27
<b>3 FRÉZOVÁNÍ.....</b>	<b>31</b>
3.1 PODSTATA METODY.....	31
3.2 NÁSTROJE.....	34
3.3 NÁSTROJOVÉ MATERIÁLY .....	37
3.4 TRENDY VE VÝVOJI FRÉZ.....	37
3.5 STROJE .....	38
<b>4 KROKOVÉ MOTORY.....</b>	<b>44</b>
4.1 PRINCIP KROKOVÉHO MOTORU .....	44
4.2 METODY ŘÍZENÍ KROKOVÝCH MOTORŮ .....	45
<b>II PRAKTICKÁ ČÁST .....</b>	<b>47</b>
<b>5 KONSTRUKCE FRÉZKY .....</b>	<b>48</b>
5.1 ZÁKLADNÍ DESKA.....	48
5.2 Osa X.....	49
5.3 Osa Y.....	51
5.4 Osa Z.....	54
5.5 VŘETENO.....	56
5.6 STŮL FRÉZKY .....	58
<b>6 ŘÍDÍCÍ ELEKTRONIKA.....</b>	<b>59</b>

6.1	DESKA ŘÍZENÍ KROKOVÝCH MOTORŮ S OBVODEM TOSHIBA TA8435H .....	60
6.2	VSTUPNÍ DESKA Z PC S OPTICKÝM ODDĚLENÍM PORTU LPT .....	62
6.3	DESKA SPÍNÁNÍ POHONU VŘETENE A DALŠÍCH OBVODŮ .....	63
6.4	NAPÁJECÍ ZDROJ .....	64
<b>7</b>	<b>VÝROBA DESEK PLOŠNÝCH SPOJŮ .....</b>	<b>65</b>
<b>8</b>	<b>MACH3 CNC CONTROLLER.....</b>	<b>67</b>
8.1	NASTAVENÍ MACHU3 .....	68
<b>9</b>	<b>ZPROVOZNĚNÍ A LADĚNÍ.....</b>	<b>72</b>
<b>10</b>	<b>OVĚŘENÍ FUNKČNOSTI NAVRŽENÉHO ZAŘÍZENÍ .....</b>	<b>73</b>
10.1	NAMĚŘENÉ HODNOTY .....	75
<b>11</b>	<b>PARAMETRY NAVRŽENÉHO/ZKONSTRUOVANÉHO ZAŘÍZENÍ.....</b>	<b>82</b>
<b>12</b>	<b>DISKUZE .....</b>	<b>84</b>
	<b>ZÁVĚR .....</b>	<b>86</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....</b>	<b>88</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....</b>	<b>90</b>
	<b>SEZNAM OBRÁZKŮ.....</b>	<b>94</b>
	<b>SEZNAM TABULEK .....</b>	<b>98</b>
	<b>SEZNAM PŘÍLOH .....</b>	<b>99</b>

## ÚVOD

V dnešní době jsou již plasty nedílnou součástí našeho života a jen těžko si bez nich dovedeme představit moderní svět, jelikož plní svou nezastupitelnou úlohu ve všech odvětvích průmyslu. S rozvojem a průnikem plastů do veřejné sféry bylo zapotřebí nalézt technologie, jež by byly vhodné pro zpracování těchto materiálů. Vedle specializovaných technologií, jako vstřikování, vyfukování, vytlačování, apod., zůstává třískové obrábění plastů i v současnosti nezastupitelnou technologickou metodou zpracování. Přichází v úvahu především u kusové a malosériové výroby, kde by jiné technologie byly neekonomické, u výroby velko- rozměrových dílů, přesahujících kapacitu zpracovatelských strojů, a při použití plastů, jejichž chemická struktura neumožňuje použít obvyklé zpracovatelské postupy.

V bakalářské práci se zabývám vývojem zařízení na obrábění plastů. Z důvodu dostupnosti stavebních dílů, konstrukčních a univerzálnosti, jsem se rozhodl navrhnout a sestavit CNC (*Computer Numerical Control*) frézku, přičemž k její kompletní funkci bylo zapotřebí nejen zkonstruovat samostatný stroj, ale i řídicí elektroniku ve spojení s PC (*Personal Computer*). Jelikož obráběné součásti mají složité tvary a manuální tvorba NC (*Numerical control*) programů by tak byla zdlouhavá, zvolil jsem k realizaci těchto programů CAD/CAM (*Computer Aided Design/Computer Aided Manufacturing*) software.



## **I. TEORETICKÁ ČÁST**

# 1 OBRÁBĚNÍ PLASTŮ

Při obrábění plastů se používají především operace frézování, řezání, soustružení, vrtání, řezání závitů a broušení. Druhy nástrojů a obráběcí stroje jsou stejné jako při obrábění kovů nebo dřeva.

Při volbě geometrie břitu nástroje a řezných podmínek je nutné vzít v úvahu specifické vlastnosti plastů a podle toho volit zejména úhel čela, úhel sklonu ostří, úhel hřbetu, řeznou rychlost, posuv a hloubka řezu.

## 1.1 Plasty jako materiál

Zde jsou uvedeny speciální vlastnosti plastů s ohledem na operace obrábění.

Oproti obrábění kovů se jedná o tyto odlišnosti:

- větší tepelná roztažnost plastů způsobuje změnu rozměrů obráběné součásti při obrábění;
- malá tepelná vodivost způsobuje větší tepelné zatížení břitu nástroje, a tím i jeho intenzivnější opotřebení (možnost vzniku lavinovitého opotřebení)
- některé plasty mají velkou adhezi (přilnavost) k materiálu břitu nástroje, proto při optimálních řezných podmínkách dochází k opotřebení břitu nástroje především adhezním otěrem;
- při obrábění vyztužených plastů dochází k opotřebení břitu nástroje především abrazivním otěrem;
- menší hodnoty měrných řezných odporů plastů umožňují volit větší úhel čela a větší úhel hřbetu;
- u vyztužených plastů je měrný řezný odpor shodný s hodnotami udávanými u ocelí střední pevnosti ( $R_m = 600$  až  $700$  MPa);
- tvoření třísky je ovlivněno strukturou materiálu;
- u nevyztužených plastů se třísky tvoří principem plastické deformace, tedy obdobným způsobem jako u ocelí,

- u vyztužených plastů dochází k tvoření třísky křehkým lomem nebo štěpením, tj. obdobně jako u litiny;

tvoření třísky ovlivňuje volbu optimálních řezných podmínek, geometrie břitu a pracovního prostředí (chlazení);

- anizotropní plasty jsou v některých směrech špatně obrobitelné a dochází k vyštipování materiálu, zejména na hranách obrobku;
- různé druhy plastů se při vyšších teplotách chovají různě: termoplasty měknou, reaktoplasty uhelnatí;
- ve styku s chladicími kapalinami může u některých druhů plastů dojít k bobtnání nebo k chemickému narušení povrchu součásti;
- pro zajištění vysoké řezivosti musí být všechny řezné nástroje dokonale naostřeny, příp. je nutné čelo a hřbet břitu nástroje lapovat. [1]

## 1.2 Nástroje

### 1.2.1 Nástroje na obrábění reaktoplastů

Pro hospodárné obrábění je nutné používat především dokonale ostré nástroje s břity ze slinutých karbidů nebo z polykrystalického diamantu. V kusové výrobě je možné použít také nástroje s břity z rychlořezných ocelí. Dokonalé naostření břitu nástroje je nutné proto, aby břit třísku odřezával, neboť opotřebený břit třísku v místě řezu pouze drtí a vytrhává částičky z povrchu obrobku a obrobený povrch má velmi špatnou kvalitu.

**Soustružnické nože** pro obrábění reaktoplastů mají stejnou konstrukci jako nože pro obrábění kovů. Pro představu uvedme geometrické parametry břitu ze slinutého karbidu K20:

reaktoplasty s buničitým a textilním pojivem:

$$\text{úhel čela } \gamma_o = 16^\circ,$$

$$\text{úhel hřbetu } \alpha_o = 10^\circ,$$

reaktoplasty s azbestovým plnivem nebo dřevěnou moučkou:

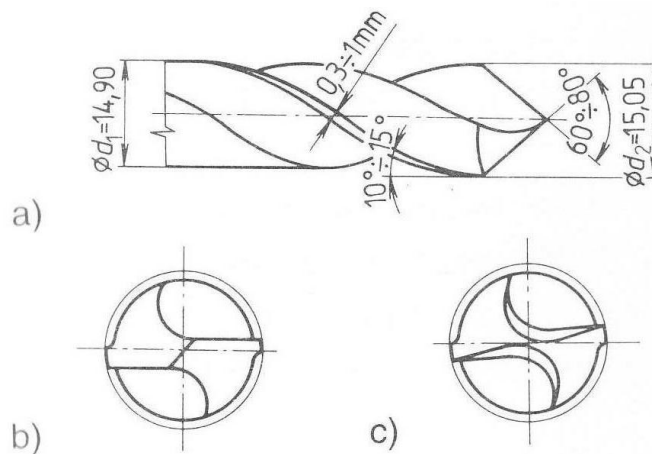
$$\gamma_o = 10^\circ,$$

$$\alpha_o = 10^\circ.$$

**Frézovací nástroje** – používají se hrubozrné nástroje se stejnou geometrií břitu, jaká se používá pro obrábění ocelí a litiny. Materiálem břitu frézy může být rychlořezná ocel nebo slinutý karbid K20.

**Vrtáky** – používají se především šroubovitě vrtáky z rychlořezných ocelí nebo vrtáky s břity ze slinutých karbidů. Příklad provedení vrtáku o průměru 15 mm z rychlořezné oceli (Obr. 1). Vrtáky s břity ze slinutých karbidů mají tuto geometrii břitu:

úhel špičky  $\epsilon_r = 60$  až  $70^\circ$ , úhel hřbetu  $\alpha_o = 12^\circ$ , úhel sklonu šroubovice  $\lambda = 12^\circ$ .



Obr. 1. Vrták na vrtání reaktoplastů [1]

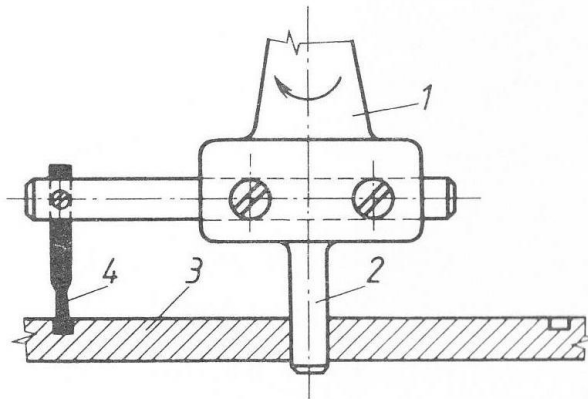
a) geometrie vrtáku, b) špička vrtáku pro vrtání kovů

c) špička vrtáku pro vrtání reaktoplastů

Pro vrtání děr větších průměrů lze použít pilový děrovač (Obr. 2) nebo stavitelný vykrýžovací nástroj (Obr. 3).



Obr. 2. Pilový děrovač [2]



Obr. 3. Stavitelný vykružovací nástroj [1]

- 1 – upínací stopka, 2 – vodící čep,  
3 – obrobek, 4 – vypichovací nůž

Pro řezání závitů lze použít závitníky s přímými drážkami obdobné konstrukce, jako se používají pro řezání do kovových materiálů. Při výrobě součástí z reaktoplastů se řezání závitů používá výjimečně, neboť závit řezaný závitníkem má podstatně menší pevnost než závit zhotovený přímo při výrobě součásti lisováním nebo stříkáním. Je-li nutné spojit dvě různé součásti vyrobené z plastů, je vhodné použít závitořezné šrouby.

Pro řezání reaktoplastů se používají pásové nebo kotoučové pily stejné jako pro řezání kovových materiálů. Použití pil na řezání dřeva není vhodné.

Broušení reaktoplastů se provádí brousicími kotouči o velké zrnitosti. Je nutné použít vydatné chlazení. Chladičí kapalina brání rozšiřování vznikajícího prachu do okolí a zajišťuje jeho opláchnutí z obrobku. [1]

### 1.2.2 Nástroje na obrábění termoplastů

Obrábění termoplastů je možné provádět všemi nástroji, je však nutné dbát na dobrý odvod tepla z místa řezu (zejména při obrábění PVC (*Polyvinilchlorid*)). Nástroje musí mít ostré a hladké břity, aby nedocházelo k nalepování materiálu obrobku na břit nástroje.

Pro soustružení termoplastů se používají soustružnické nože stejné konstrukce jako pro soustružení kovů. Nože mohou mít břit zhotoven z rychlořezné oceli, ze slinutého karbidu nebo ze syntetického diamantu. Geometrie břitu soustružnického nože s břitem ze slinutého karbidu K20 pro obrábění

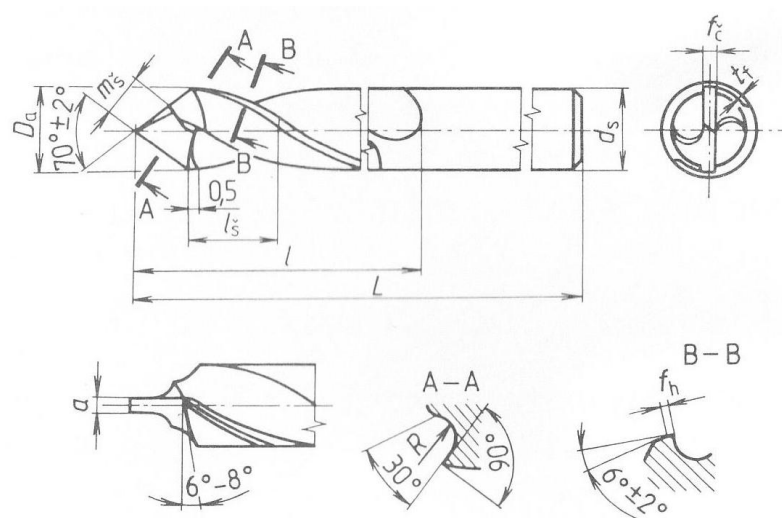
polyvinylchloridu (PVC):      úhel čela  $\gamma_o = 25^\circ$ ,                      úhel hřbetu  $\alpha_o = 10^\circ$ ,

polymetylmakrylátu:	$\gamma_o = 0$ až $10^\circ$ ,	$\alpha_o = 6^\circ$ ,
polyamidu:	$\gamma_o = 0$ až $5^\circ$ ,	$\alpha_o = 10^\circ$ .

Pro frézování se používají frézy s velkou roztečí zubů (tzv. hrubozubé) s břity z rychlořezné oceli, slinutého karbidu nebo ze syntetického diamantu. Geometrie břitu frézy s břity ze slinutého karbidu K20:

úhel čela  $\gamma_o = 10$  až  $20^\circ$ , úhel hřbetu  $\alpha_o = 20^\circ$ , úhel sklonu šroubovice zubů  $\lambda = 45^\circ$ .

Pro vrtání termoplastů se používají především vrtáky z rychlořezné oceli a vrtáky s břity ze slinutých karbidů. Příklad vrtáku z rychlořezné oceli je na obrázku (Obr. 4). Vrtáky s břity ze slinutého karbidu K20 mají tuto geometrii břitu:



Obr. 4. Vrták na vrtání termoplastů [1]

Úhel špičky	Úhel hřbetu	Úhel sklonu šroubovice
-------------	-------------	------------------------

Vrtání polyvinylchloridu a polyamidu:

$\epsilon_r = 90^\circ$ ,	$\alpha_o = 15^\circ$ ,	$\lambda = 25^\circ$ ,
---------------------------	-------------------------	------------------------

Vrtání polymetylmakrylátu:

$\epsilon_r = 118$ až $135^\circ$ ,	$\alpha_o = 15^\circ$ ,	$\lambda = 25^\circ$ .
-------------------------------------	-------------------------	------------------------

Pro vrtání děr větších průměrů lze použít pilový děrovač (Obr. 2) nebo stavitelný vykrýžovací nástroj (Obr. 3).

Pro řezání závitů do neprůchozích děr se používají strojní závitníky s drážkou ve šroubovici. Pro řezání závitů do průchozích děr se používají strojní závitníky s neprůběžnou

drážkou. Závitníky mají stejnou konstrukci jako závitníky pro řezání závitů do kovových materiálů.

Pro řezání termoplastů se používají kotoučové pily s malou roztečí zubů (tzv. jemnozubé). Pro vyřezávání (ale i pro řezání) se používají pilové pásy rovněž s malou roztečí zubů.

Broušení termoplastů se provádí brousicími kotouči o velké zrnitosti na bruskách určených pro broušení dřeva nebo na bruskách určených pro broušení kovů. [1]

### 1.2.3 Nástroje na obrábění vyztužených a vrstvených plastů

Pro obrábění vyztužených nebo vrstvených plastů (laminátů) jsou nejvhodnější nástroje s břity ze slinutých karbidů nebo ze syntetického diamantu. Lze použít i nástroje s břity z rychlořezných ocelí, které však musí být dokonale naostřeny.

Velikost přípustného opotřebení břitu nástroje se zde volí podstatně menší než u nástrojů pro obrábění kovů, neboť opotřeбенý břit vyvolává značné navýšení teploty v místě obrábění, což vede k přehřátí a zhnědnutí obrobeného povrchu.

Řezné síly nesmí působit ve směru kolmém na jednotlivé vrstvy, ze kterých je materiál složen. Pokud je např. nutné vrtat díru kolmo na vrstvy, je nutné podstatně snížit posuv.

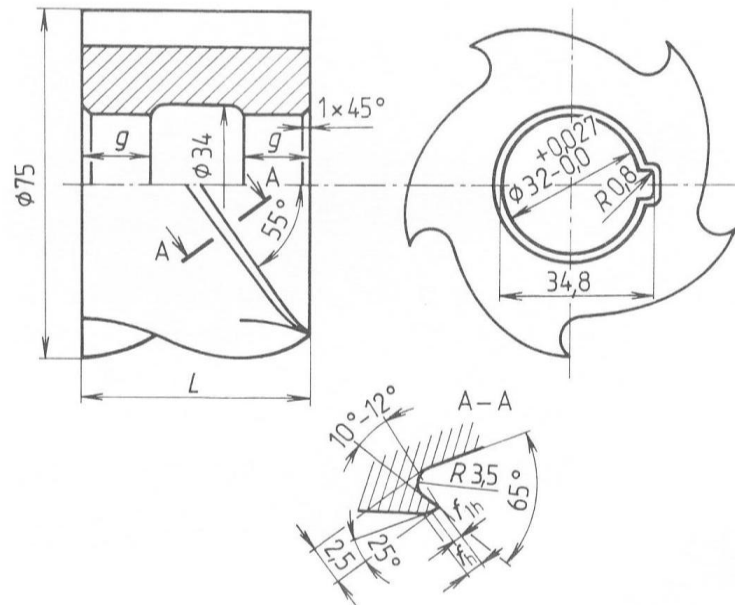
Pro soustružení vyztužených nebo vrstvených plastů se používají soustružnické nože, které mají stejnou konstrukci jako nože pro soustružení kovových materiálů. Geometrie břitu soustružnického nože s břity ze slinutého karbidu K20:

úhel čela  $\gamma_0 = 10^\circ$ , úhel hřbetu  $\alpha_0 = 8^\circ$ , úhel nastavení hlavního ostří  $\kappa_r = 60^\circ$ , úhel sklonu ostří  $\lambda = -4^\circ$ .

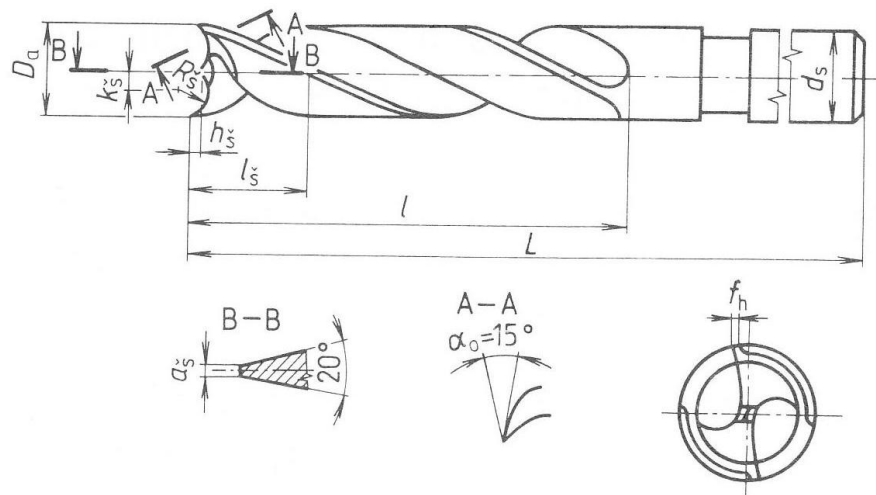
Pro frézování vyztužených nebo vrstvených plastů se používají frézy s velkou roztečí zubů, které mají stejnou geometrii břitu jako frézy určené pro frézování ocelí nebo litin. Příklad válcové frézy vyrobené z rychlořezné oceli je na obrázku (Obr. 5).

Pro vrtání se používají šroubovitě vrtáky z rychlořezné oceli, vrtáky s břity ze slinutých karbidů nebo ze syntetického diamantu. Příklad vrtáku z rychlořezné oceli je na obrázku (Obr. 6). Geometrie špičky vrtáku s břity ze slinutého karbidu K20:

úhel špičky  $\epsilon_r = 90$  až  $130^\circ$ , úhel hřbetu  $\alpha_0 = 12^\circ$ , úhel sklonu šroubovice  $\lambda = 12^\circ$ .



Obr. 5. Válcová fréza pro frézování vyztužených a vrstvených plastů [1]



Obr. 6. Vrták na vrtání vyztužených a vrstvených plastů [1]

Pro řezání se používají pilové kotouče, pro vyřezávání (příp. řezání) se používají pilové pásy. Oba druhy nástrojů mají mít zuby o malé rozteči (tzv. jemnozubé).

Broušení vyztužených a vrstvených plastů se provádí pomocí brousících kotoučů nebo pásů o velké zrnitosti. [1]



### 1.3 Řezné podmínky

- **Řezné podmínky pro obrábění reaktoplastů**

Tab. 1. Řezné podmínky pro obrábění reaktoplastů [1]

Operace	Nástroj	Řezná rychlost	Posuv
Soustružení	RO	100 až 120 m.min <sup>-1</sup>	max. 0,6 mm na ot.
Soustružení	SK	160 až 200 m.min <sup>-1</sup>	max. 0,3 mm na ot.
Frézování	RO	50 až 160 m.min <sup>-1</sup>	0,2 až 0,5 mm na zub
Frézování	SK	200 až 800 m.min <sup>-1</sup>	0,04 až 0,6 mm na zub
Vrtání	RO	40 až 60 m.min <sup>-1</sup>	max. 0,5 mm na ot.
Vrtání	SK	80 až 140 m.min <sup>-1</sup>	max. 0,5 mm na ot.
Řezání	Kotoučová pila	250 až 350 m.min <sup>-1</sup>	
Řezání	Pásová pila	150 až 180 m.min <sup>-1</sup>	
Broušení	Bez chlazení	10 až 18 m.s <sup>-1</sup>	
Broušení	S chlazením	14 až 22 m.s <sup>-1</sup>	

RO – nástroj s břity z rychlořezné oceli

SK – nástroj s břity ze slinitých karbidů

Při obrábění reaktoplastů se používá chlazení tlakovým vzduchem, výjimečně emulzí. Při obrábění aminoplastů je chlazení nezbytně nutné, aby teplem vznikajícím při obrábění nenastal rozklad pryskyřice.

- **Řezné podmínky pro obrábění termoplastů**

Tab. 2. Řezné podmínky pro obrábění termoplastů [1]

Operace	Nástroj	Řezná rychlost	Posuv
Soustružení	RO	max. 300 m.min <sup>-1</sup>	max. 0,3 mm na ot.
Soustružení	SK	max. 800 m.min <sup>-1</sup>	max. 0,3 mm na ot.
Frézování	RO	120 až 200 m.min <sup>-1</sup>	0,3 až 1 mm na ot.
Frézování	SK	160 až 270 m.min <sup>-1</sup>	0,2 až 0,8 mm na ot.
Vrtání	RO	15 m.min <sup>-1</sup>	0,3 mm na ot.
Vrtání	SK	220 m.min <sup>-1</sup>	0,3 mm na ot.

RO – nástroj s břity z rychlořezné oceli

SK – nástroj s břity ze slinitých karbidů

Pro operace soustružení, frézování a vrtání se používá jako chladicí kapalina mýdlový roztok, vzduch, terpentýn, strojní olej nebo líc.

Pro získání přesných rozměrů s úzkými tolerancemi je vhodné nejprve opracovat obrobek s malým přírůstkem, vložit ho na 24 až 48 hodin do vody o teplotě 20°C, stejnou dobu ho sušit při teplotě cca 70°C a pak teprve obrábět načisto.

Při řezání závitů do termoplastů se používá stejná řezná rychlost jako při řezání závitů do kovových materiálů.

Při broušení na pásové brusce je řezná rychlost 200 m.min<sup>-1</sup>.

Při broušení broušícími kotouči je řezná rychlost 20 až 30 m.s<sup>-1</sup>, posuv 0,2 až 0,4 mm na otáčku.

Broušení probíhá bez chlazení, ale je nutné zajistit dokonalé odsávání vzniklých prachových částic.

- **Řezné podmínky pro obrábění vyztužených a vrstvených plastů**

Tab. 3. Řezné podmínky pro obrábění vyztužených a vrstvených plastů [1]

Operace	Nástroj	Řezná rychlost	Posuv
Soustružení	RO	450 m.min <sup>-1</sup>	0,1 až 1 mm na ot.
Soustružení	SK	700 m.min <sup>-1</sup>	0,2 až 0,7 mm na ot.
Frézování <sup>1)</sup>	RO	max. 200 m.min <sup>-1</sup>	max .0,03 mm na zub
Frézování <sup>2)</sup>	RO	300 až 350 m.min <sup>-1</sup>	0,1 až 0,2 mm na ot.
Frézování <sup>1)</sup>	SK	250 až 300 m.min <sup>-1</sup>	0,2 až 0,5 mm na ot.
Frézování <sup>2)</sup>	SK	400 až 450 m.min <sup>-1</sup>	0,1 až 0,2 mm na ot.
Vrtání	RO	20 až 60 m.min <sup>-1</sup>	0,07 až 0,2 mm na ot.
Vrtání	SK	100 až 140 m.min <sup>-1</sup>	0,2 až 0,3 mm na ot.
Řezání	Pásová pila	25 až 28 m.min <sup>-1</sup>	
Řezání	Kotoučová pila	10 až 12 m.min <sup>-1</sup>	0,2 až 1 mm na ot.
Broušení <sup>3)</sup>	Broušící kotouče	26 až 30 m.s <sup>-1</sup>	0,4 až 0,6 mm na ot.
Broušení	Broušící pás	200 až 300 m.min <sup>-1</sup>	

<sup>1)</sup> souhlasně s vrstvami,

<sup>2)</sup> kolmo na vrstvy,

<sup>3)</sup> bez chlazení, hloubka řezu 0,1 až 0,15 mm.

Při obrábění vyztužených nebo vrstvených plastů se pro chlazení používá tlakový vzduch. Je vhodné ještě vzniklé třísky z místa řezu odsávat. [1]

## 1.4 Zásady bezpečnosti práce při obrábění plastů

Z hlediska bezpečnosti práce jsou důležité tyto zásady:

- při obrábění fluoroplastů (např. teflonu, teflexu) nesmí třísky ani obráběný polotovar přijít do styku s teplotou vyšší než 400°C, třísky se nesmí směšovat s ocelovým odpadem;
- při obrábění musí být třísky nebo vzniklý prach odsávány nebo odstraňovány chladícím médiem, aby se zabránilo vzniku požáru; na pracovišti, kde se obrábí plasty, je zakázáno kouřit;
- při broušení materiálů obsahujících sklo je nutné, aby obsluha používala ochrannou masku s filtrem, který zachytí i nejjemnější částičky prachu. Obsluha si musí chránit pokožku mastí určenou pro použití v prašném prostředí.

[1]

## 2 ČÍSLICOVĚ ŘÍZENÉ OBRÁBĚCÍ STROJE

Číslicově řízené obráběcí stroje jsou stroje, které opracovávají součásti některou z technologií obrábění (např. soustružení, vrtání, frézování, řezání závitů atd.) a jejich činnosti jsou řízeny automaticky zadáváním povelů v číselné (hodnotové) podobě z počítačového programu.

Každé obrábění na číslicově řízeném obráběcím stroji (Obr. 7) má obdobný sled činností jako při obrábění na konvenčním, tj. univerzálním stroji. Např. se součást musí ustavit do vhodné polohy, pevně upnout, do vřeten se musí upnout příslušný nástroj, spustí se hlavní řezný pohyb umožňující odebrání třísky a pohybuje se součástí či vřetenem stroje tak, aby v příslušné interakci nástroje se součástí bylo uskutečněno opracování požadovaných ploch (na předepsaný rozměr a tvar). Tento cyklus se automaticky opakuje v různých obměnách nástrojů, řezných podmínek, poloh obrobků apod. [3]



Obr. 7. Číslicově řízená fréza [4]

### 2.1 Základní pojmy

Pro číslicově řízenou obráběcí techniku a příslušnou technologii se využívají normativní pojmy a symboly, které jsou dále v abecedním pořadí stručně charakterizovány.

*Absolutní programování*

Programování používající slov pro vyjádření absolutních rozměrů.

*AC (Adaptive Control)*

Řídicí systém, který upravuje odezvy podle podmínek zjištěných během práce.

*CAD (Computer Aided Design)*

Programy (a pracovní stanice) používané při navrhování nástrojových, architektonických a vědeckých modelů od jednoduchých nástrojů až po složité celky, např. letadla. Různé aplikace CAD vytváří dvou – až třírozměrné objekty, přičemž výsledkem mohou být "kostry" objektů složené z čar (wire frame), náročnější modely se stínovanými částmi, nebo skutečné zobrazení objektů. Některé programy taktéž umožňují rotaci objektů nebo změnu jejich velikosti, poskytují pohled zevnitř, vytvářejí seznamy materiálu potřebných ke konstrukci a provádějí jiné příbuzné funkce.

*CAD/CAM (projektování pomocí počítače/výroba pomocí počítače)*

Použití počítačů při projektování a výrobě produktů. Metoda CAD/CAM spočívá v tom, že výrobek, jako např. část stroje se navrhne v CAD programu a konečný tvar se přeloží do soustavy instrukcí, jež lze přenést jako vzor do zpravidla číslicově řízených obráběcích strojů, které podle ní příslušný výrobek vyrobí.

*CAM (Computer Aided Manufacturing)*

Aplikace počítačů v automatizaci výroby, technologické přípravě výroby a kontrole výrobků. Uplatňuje se jak při kusové výrobě, tak i při výrobě hromadné, za použití robotů a automatizovaných linek.

*CNC (Computer Numerical Control)*

Systém, jehož zvlášť k tomu určený počítač s programem uloženým v paměti je používán k provádění některých nebo všech základních funkcí číslicového řízení.

*Formát bloku*

Uspořádání slov, znaků a dat v bloku.

*Interpolace*

Určování mezilehlých bodů mezi známými body na požadované dráze nebo obrysu o průběhu souhlasném s danou matematickou funkcí, např. přímkou, kružnicí nebo funkcí vyššího řádu.

#### *Korekce nástroje*

Relativní posunutí části programu nebo celého programu v jedné ose stroje, které způsobuje přemístění nástroje v této ose jen ve smyslu určeném znaménkem hodnoty korekce.

#### *NC (Numerical Control) obráběcí stroj*

Číslicově řízený obráběcí stroj, u něhož průběh pracovního procesu je řízen číslicově vyjádřenými informacemi o dráze, směru a smyslu pohybu pracovních elementů, řezných podmínkách a pomocných funkcích, které jsou postupně předávány stroji nositelem informací.

#### *Part program*

Řídicí program pro zhotovení daného dílce nebo určité operace, v němž jsou vyjádřeny informace určující každý detail v sekvenci pracovních pohybů stroje v číslicové formě.

#### *Podprogram*

Část strojního programu, která může být vyvolána příslušným povelům řízení stroje.

#### *Postprocesor*

Počítačový program, který upravuje výstup procesoru na strojní program pro zhotovení obrobku na konkrétní kombinaci obráběcího stroje a řídicího systému.

#### *Pravoúhlý řídicí systém*

Každý číslicově řízený pohyb je vykonáván podle instrukcí, které určují jak následující žádanou polohu, tak žádanou velikost posuvu této polohy. Pohyby v jednotlivých osách nejsou navzájem koordinovány, probíhají jen rovnoběžně s přímkovým, kruhovým nebo jiným vedením stroje.

#### *Processor*

Počítačový program, který provádí výpočty podle programu obrobku a připravuje souřadnice nástroje pro konkrétní obrobek bez ohledu na stroj, na kterém by mohl být obroben.

### *Programování počítačem*

Příprava programu obrobku k získání strojního programu při použití počítače, příslušného procesoru a postprocesoru.

### *Přesnost*

Kvalita hodnocení bezchybnosti nebo stupně shody s požadovanou hodnotou. Vysoké hodnocení odpovídá malé chybě.

### *Přírůstkové programování*

Programování používající slov pro vyjádření přírůstkových rozměrů.

### *Řádka*

Část strojního programu nebo podprogramu, která odpovídá jednomu bloku číslicových dat (NC). Řádky jsou odděleny kódem NEW LINE. Pořadová čísla obsažená v NC datech nemusí odpovídat číslům řádek. Stanovení čísel řádek v daném případě závisí na způsobu řízení.

### *Řídicí program*

V počítačově orientovaných číslicově řídicích systémech je to posloupnost instrukcí, kterými se nastavují operační schopnosti systému.

### *Souvislý řídicí systém*

V tomto systému dva nebo více číslicově řízených pohybů je vykonáváno podle instrukcí, které určují žádanou následující velikost posuvu do této polohy. Tyto velikosti posuvů jsou vzájemně měněny tak, že je vytvořen požadovaný obrys.

### *Strojní program*

Uspořádaný soubor instrukcí v jazyce a formátu automatického řízení, zaznamenaný na příslušné médium, které je dostatečně úplný k tomu, aby provedl přímé řízení automatickým řídicím systémem.

### *Stupeň integrace*

Vztahuje se k úrovni integrace řídicích systémů. SSI je stupeň malé integrace, je vyjádřen číslem 12; MSI je stupeň střední integrace, je vyjádřen číslem 100.

### *Systém DNC (Direct Numerical Control)*

Systém přímého řízení skupiny NC strojů počítačem v reálném čase. Program stroje má číslicovou formu, avšak místo děrné pásky je nositelem informací paměť PC, a tak je vyloučená děrná páska, čtečka a vstupní obvody řídicího systému, které jsou vestavěny do periferních jednotek malého počítače. Systém přímého řízení vylučuje náklady na přepravu a udržování DP (*Děrná Páska*), redukuje náklady na údržbu a opravy řídicího systému. Nejde však o přímou náhradu NC systému, i když počítač DNC systému může řadu funkcí převzít. Hlavním úkolem DNC je uchovávat v paměti programy podřízených NC strojů a ve vhodnou dobu je jim předat buď celé – pro systémy vybavené vlastní paměti (CNC, MNC), nebo jednotlivě po blocích. Systémy DNC mohou přejímat i úkoly ekonomické. [5]

## **2.2 Číslicové řízení**

Současné počítačem číslicově řízené (CNC) obráběcí stroje jsou natolik automatizované, že většina činností, které u konvenčního stroje vykonává obsluha, je řízena automaticky počítačovým programem. Příkazem z programu jsou řízeny pohyby součásti či nástroje, změna řezných podmínek, výměna nástroje aj.

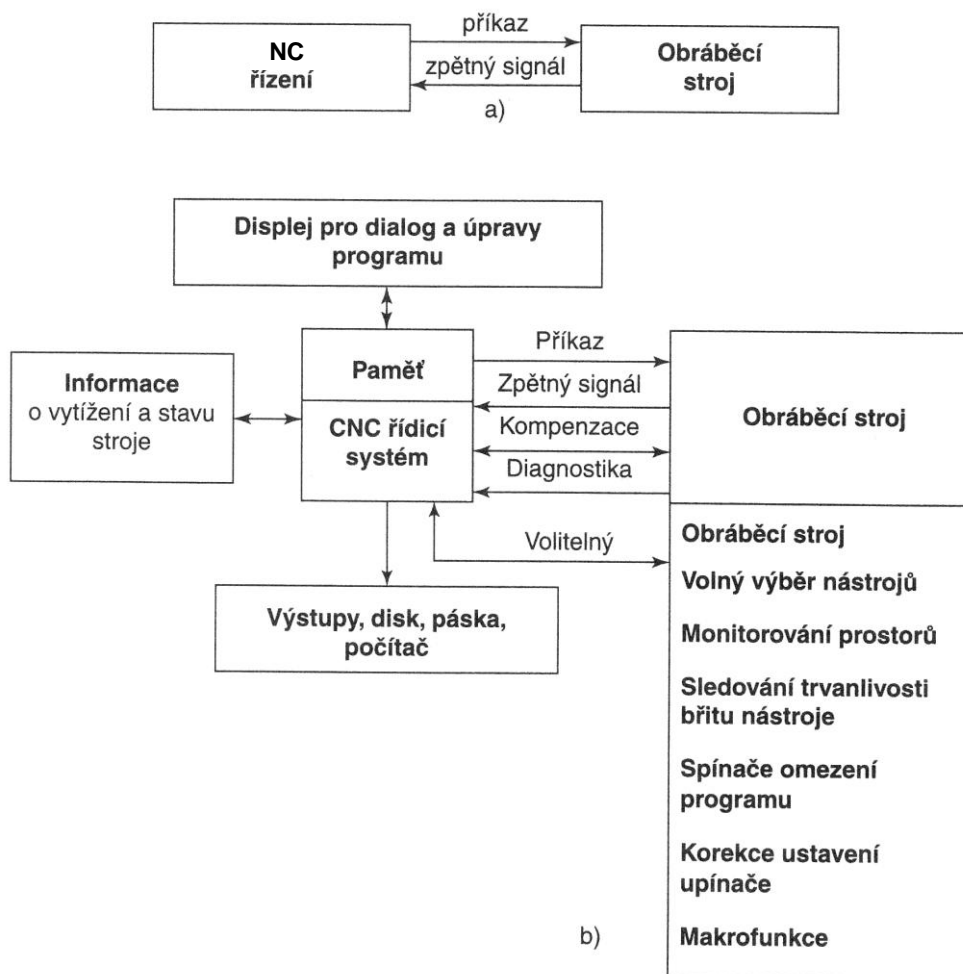
Použití CNC obráběcích strojů přináší tyto výhody:

- automatizaci, tzn. minimální vliv obsluhy na výrobní proces (většina operací nebo celý výrobní cyklus může probíhat bez zásahu obsluhy), což přináší snížení počtu chyb, stálost pracovního cyklu (zkrácení času na výrobu) a možnost obsluhy pouze zaškoleným pracovníkem;
- je zaručena přesnost každého výrobku (opakovatelná přesnost operací se měří na mikrometry), vše závisí na kvalitě příslušného programu;
- pružnost – změna výrobního sortimentu (přizpůsobitelnost novému výrobku) je snadná, spočívá ve změně programu a vybavení vhodnými nástroji a upínači.

Základem CNC obráběcích strojů je řídicí program, který zpracovává informace o pohybech nástrojů a obrobků, o jejich rychlosti, o spuštění či zastavení pomocných funkcí apod. pohyby břitů nástroje podle geometrie obráběného povrchu součásti musí být automatické, přesné a návazné.



Rozdíl mezi dříve užívanými NC a dnešními CNC systémy je znázorněn na obrázku (Obr. 8). Zatímco NC řízení vykonávalo pouze povely zadané na kódovaném médiu (např. na děrné pásce), CNC řídicí systém je pružnější a umožňuje okamžité opravy, úpravy a zásahy v programu i v průběhu jeho používání. Vlastní obráběcí stroj má pro oba systémy obdobnou konstrukci. Rozdíl je především v pohonech pohyblivých částí (lze je řídit povely CNC systému) a v řešení upínání nástrojů a obrobků (automatická výměna nástrojů).

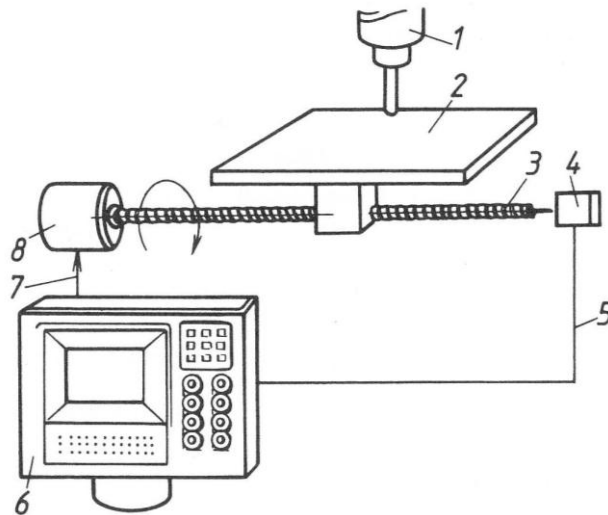


Obr. 8. Porovnání NC a CNC systémů [3]

a) jednoduché NC řízení, b) CNC řízení

NC systémy vyžadovaly čtecí zařízení pro dekódování programů – nosičem byla většinou děrná páska – a změna v programu znamenala opravu na tomto nosiči informace. S rozvojem mikroprocesorů a výpočetní techniky se změnilы podmínky zpracování informací: propojení v reálném čase, přímá možnost oprav, simulace pohybů, možnost výběru režných podmínek apod.

Pohybové mechanismy všech typů CNC strojů mohou konat jeden nebo více pohybů v různých směrech – osách. Pohyby mohou být lineární (přímé) nebo otáčivé (kruhové). Pohon jednotlivých pohybových mechanismů je zajišťován řízeným servopohonem, umožňujícím pohyb po určité dráze, určitou rychlostí, do přesné polohy. Zjednodušené uspořádání servopohonu upínacího stolu (Obr. 9), kde je uvedeno obvyklé uspořádání pohonu stolu kuličkovým šroubem a maticí.



Obr. 9. Schéma servopohonu upínacího stolu (pohyb v jedné ose) [3]

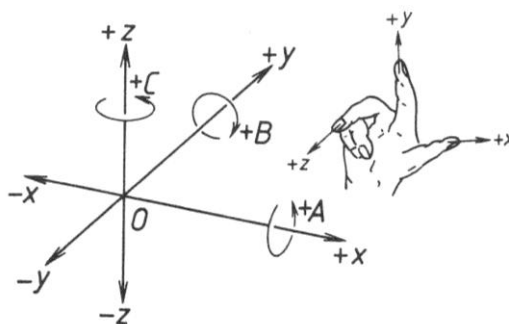
1 – vřeteno stroje, 2 – pracovní stůl, 3 – posuvový šroub, 4 – systém odměřování polohy stolu (senzor), 6 – řídicí jednotka, 7 – signál řízení servomotoru, 8 – servomotor

Systém práce servopohonu je v uvedeném případě tento: signál (či číselná informace) je zpracován řídicí jednotkou, ta dá příkaz servomotoru, aby otáčel šroubem tolikrát, až docílí odpovídající délky posuvu, a to rychlostí odpovídající požadované rychlosti posuvu. Kontrola vykonání této instrukce je prováděna systémem odměřování polohy měřicím členem (senzorem), který zpětně ovlivňuje (koriguje) výkonnou jednotku (servomotor) nebo potvrdí vykonání povelu a umožní vykonání další instrukce. [3]

### 2.3 Popis a programování pohybů stroje

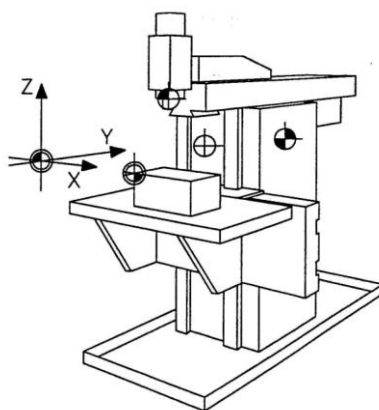
Popis pohybů stroje (v rovině nebo v prostoru) se definuje v určitém systému souřadnic, a to podle konstrukce stroje. Nejčastěji se užívá kartézský (pravoúhlý) systém souřadnic ( $0, x, y, z$ ), lze použít i cylindrický systém ( $r, z$ ), či polární systém souřadnic ( $r, \varphi$ ). Při označování směru os se řídíme tzv. pravidlem pravé ruky (Obr. 10). Kladný směr otáčení je (v pohledu kladného směru osy) ve směru otáčení hodinových ručiček.

Systém souřadnic zvolený u jednotlivých obráběcích strojů závisí na jejich konstrukčním uspořádání i složitosti a prakticky se stroj od stroje může lišit. Společnou charakteristikou je, že osa vřetene je vždy osou  $z$  s kladným směrem od obrobku a osa  $x$  je vždy vodorovnou osou (Obr. 11).



Obr. 10. Pravidlo pravé ruky [3]

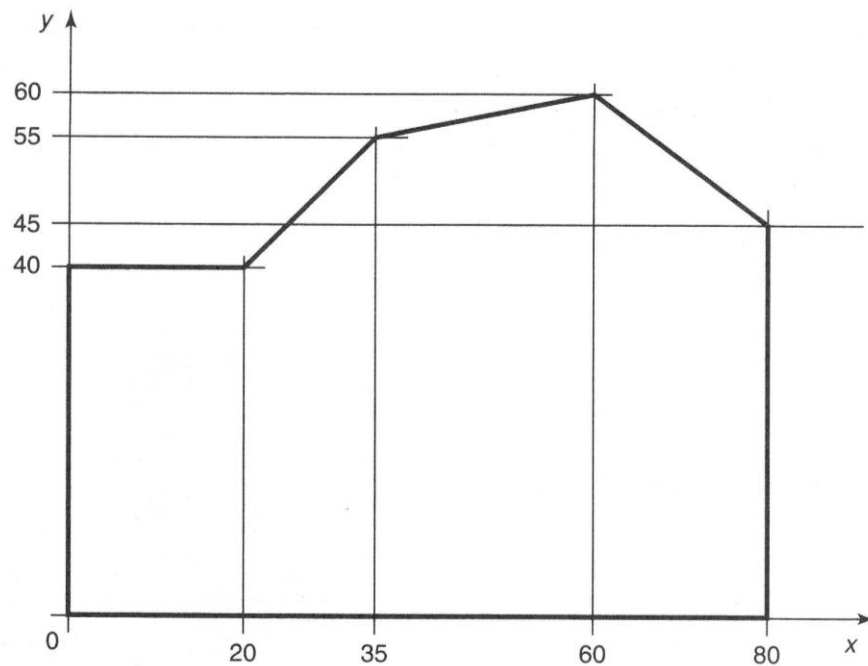
$x, y, z$  – směry posuvného pohybu,  $A, B, C$  – směry otáčivého pohybu,  $0$  – počátek systému souřadnic



Obr. 11. Příklad označení os na frézovacím obráběcím centru [6]

Zápis programu k řízení pohybů může být proveden ve dvojitým tvaru (Obr. 12):

- v absolutním tvaru, tj. s údaji vztaženými k jedinému počátku souřadnic, což je běžnější, nebo
- v přírůstkovém – inkrementálním tvaru. Řízení pohybu po přírůstcích znamená zadávat a vykonávat pohyb vždy o určitý zadaný přírůstek od předchozí dosažené polohy. Obvyklé nejmenší přírůstky pohybu v osách jsou u obráběcích strojů 0,001 mm.



Zápis Krok	a) v přírůstkovém tvaru Souřadnice		b) v absolutním tvaru Souřadnice	
	x	y	x	y
1	+0	+40	0	40
2	+20	+0	20	40
3	+15	+15	35	55
4	+25	+5	60	60
5	+20	-15	80	45
6	+0	-45	80	0
7	-80	-0	0	0

Obr. 12. Příklad jednoduchého programu a jeho zápis v přírůstkovém a absolutním tvaru [3]

Zápis programu v absolutním tvaru více odpovídá způsobu popisů (kótování) výkresů a je proti zápisu v přírůstkovém tvaru i přesnější a přehlednější. Pokud se např. vyskytne číselná chyba v délce provedeného pohybu, projeví se u absolutního tvaru zápisu programování pouze v jednom příkazu a pohybu, další rozměry nejsou chybné, zatímco u přírůstkového tvaru zápisu ovlivní chyba zanesená v jednom příkazu všechny následující polohy a jejich rozměry budou chybné.

Většina systému CNC používá pro formu zápisu programu tzv. adresný formát. Program sestává ze sledu příkazů, kde každý příkaz sestává ze slov, jež obsahují adresu (písmeno) a číselnou hodnotu (\*\*\*) . Příklad sledu adres v jednom bloku a jejich význam uvádí následující tabulka.

### Formát bloku:

**N\*\*\* G\*\* X\*\*\* Y\*\*\* I\*\*\* J\*\*\* F\*\*\* S\*\* T\*\* M\*\***

### Adresy:

<i>Písmeno</i>	<i>Význam</i>
A, B, C	otáčení kolem osy x, y, z
D, H	paměť korekce nástrojů
E, F	posuvy
G	funkce obsluhy dráhy (rychlost, korekce, rozměry)
I, J, K	parametr interpolace nebo stoupání závitů
X, Y, Z	pohyb ve směru osy
L	neobsazeno
M	přídavné funkce (STOP, výměna nástroje, upnutí a uvolnění obrobku, zapnutí chlazení apod.)
N	číslo věty
O	neobsazeno
P, Q, R	třetí pohyb rovnoběžný s osou x, y, z*

S	otáčky vřetene
T	nástroj číslo (příp. číslo korekce)
U, V, W	sekundární pohyb rovnoběžný s osou $x$ , $y$ , $z$ **
%	začátek programu i stop při opakovaném nastavování programu
()	začátek a konec upozornění
+	plus
,	desetinná čárka
-	mínus
.	desetinná tečka
/	podtisk (předtisk, určení řádků nebo slova stiskem klávesy)
:	hlavní věta, také stop při skoku zpět do hlavního programu

\* Rovněž speciální uživatelské a výpočetní funkce – R poloměr

\*\* Rovněž uživatelské funkce nebo osy u programu inkrementálně

Za označení písmenem následuje reálná nebo kódovaná hodnota velikosti – např. délky, rychlosti, polohy.

Při zahájení obrábění součásti na CNC stroji musí být známa informace o poloze této součásti k počátku systému souřadnic, tj. programové nule. Programovou nulu lze nastavit pomocí funkcí G (G92). [3]

### 3 FRÉZOVÁNÍ

Frézování je obrábění rovinných nebo tvarových ploch, vnitřních nebo vnějších, vícebřítým nástrojem.

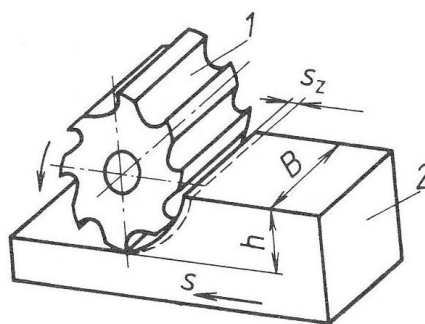
Frézování je mladší způsob obrábění než soustružení. První použitelné stroje na frézování – frézky – byly zkonstruovány začátkem 18. století a dnešní podobu dostaly teprve koncem 19. století. Jsou to velmi výkonné stroje a po soustruzích jsou v průmyslu nejrozšířenější. Frézují se obvykle rovinné plochy nebo tvarové přímkové nebo zborcené plochy. Kopírovací a NC frézy umožňují frézovat obecné tvarové plochy.

#### 3.1 Podstata metody

Nástroj – fréza – je obvykle vícebřítý. Z hlediska chvění je výhodné, je-li v záběru s obrobkem více břitů současně. Při frézování koná nástroj hlavní řezný pohyb (otáčivý) a obrobek koná pohyb posuvný obvykle přímočarý, někdy otáčivý, nebo obecný pohyb po prostoro-  
rové křivce.

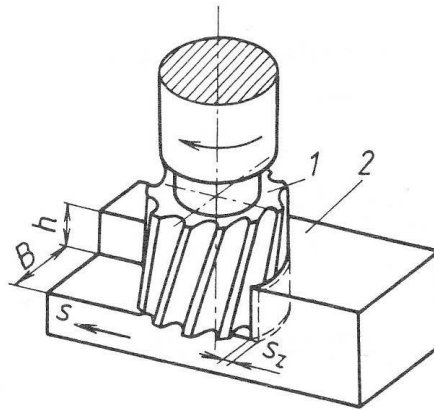
Řezný proces je přerušovaný, jednotlivé zuby nástroje postupně vcházejí a vycházejí z materiálu a odebírají třísku proměnného průřezu.

Rozeznáváme dva základní způsoby frézování: frézování obvodem válcové frézy (Obr. 13) a čelem čelní frézy (Obr. 14).



Obr. 13. Frézování obvodem válcové frézy [1]

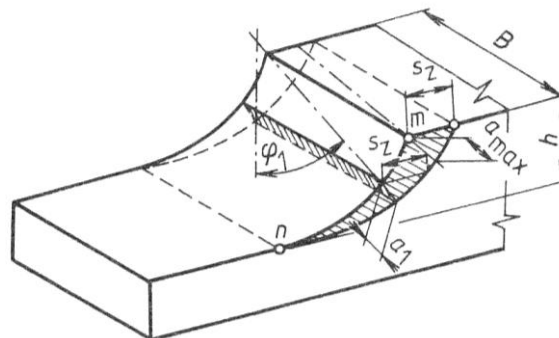
1 – fréza, 2 – obrobek,  $B$  – šířka obrobku,  $h$  – hloubka řezu,  $s$  – posuv,  $s_z$  – posuv na zub



Obr. 14. Frézování čelem čelní frézy [1]

1 – fréza, 2 – obrobek,  $B$  – šířka obrobku,  $h$  – hloubka řezu,  $s$  – posuv,  $s_z$  – posuv na zub

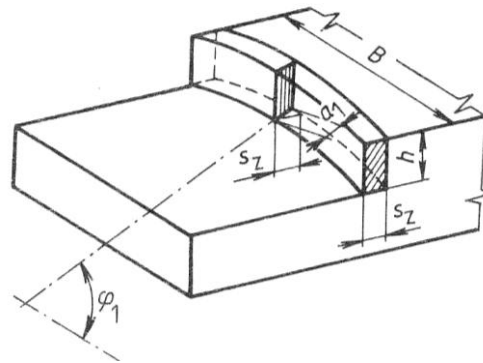
Při frézování válcovou frézou reže fréza zuby na obvodě, při čelním frézování reže současně zuby na obvodě a na čele. Průřez třísky odebíraný jedním zubem frézy je znázorněn na následujících obrázcích (Obr. 15) a (Obr. 16).



Obr. 15. Frézování obvodem válcové frézy [1]

$B$  – šířka obrobku,  $h$  – hloubka řezu,  
 $s_z$  – posuv na zub,  $a_1$  – tloušťka třísky pro  
 úhel  $\varphi_1$ ,  $a_{max}$  – maximální tloušťka třísky

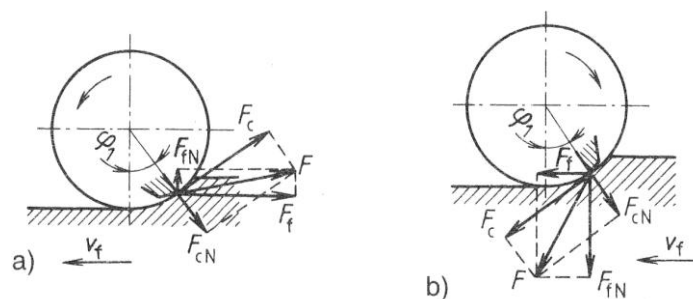




Obr. 16. Frézování čelem čelní frézy  
[1]

$B$  – šířka obrobku,  $h$  – hloubka řezu,  
 $s_z$  – posuv na zub,  $a_1$  – tloušťka třísky  
pro úhel  $\varphi_1$

Podle směru otáčení frézy vůči směru posuvu dělíme frézování na nesousledné (protisměrné) (Obr. 17a) a sousledné (Obr. 17b). [1]



Obr. 17. Frézování a) nesousledné, b) sousledné [3]

$F$  – řezná síla,  $F_c$ ,  $F_{cN}$ ,  $F_f$ ,  $F_{fN}$  – složky řezné síly,  $v_f$  – rychlost posuvu,  $\varphi_1$  – úhel okamžité polohy zubu

### Nesousledné frézování

Fréza se otáčí proti směru posuvu, průřez třísky se postupně zvětšuje od 0 do maximální hodnoty. Výsledná řezná síla směřuje ven z obrobku, což zvyšuje nároky na upnutí součástí. Při záběru třísky od nulové hodnoty se břit nástroje "sklouzne" po obráběné ploše, takže drsnost obrobenej plochy je horší.

### Sousledné frézování

Fréza se otáčí ve směru posuvu, průřez třísky se mění od maximální hodnoty do 0. Při tomto způsobu záběru třísky dosáhneme lepší drsnosti obrobenej plochy. Výsledná řezná síla směřuje do obrobku  $\Rightarrow$  menší nároky na upnutí. Výkon při sousledném frézování je o 30 až 50 % vyšší než při nesousledném frézování při stejné trvanlivosti nástroje. Nevýhodou sousledného frézování jsou rázy, které vznikají při záběru každého zubu do materiálu. Tyto rázy můžeme odstranit použitím fréz s šikmými zuby. Frézky pro sousledné frézování musí mít zařízení pro vymezení vůlí mezi posuvovým šroubem stolu a jeho maticí nebo mají pohon řešen pomocí kuličkových šroubů (bezvůlové uložení). [7]

### Řezný pohyb

Řezný pohyb je složen ze dvou pohybů: otáčivého pohybu frézy a přímočarého pohybu obrobku. Výsledný relativní pohyb ostří vůči obrobku je zkrácená cykloida. Vzhledem k malé rychlosti posuvu proti obvodové rychlosti frézy se tato cykloida blíží kružnici. Délka dráhy, kterou urazí obrobek během pootočení frézy o jednu zubovou rozteč, nazýváme posuvem na zub  $s_z$ . Vzdálenost mezi dráhami po sobě následujících břitů, měřena v radiálním směru, je tloušťka třísky  $a$ . Nejvyšší možná hodnota ( $a_{max}$ ) je rovna posuvu na zub. [1]

## 3.2 Nástroje

Frézy je možné dělit z různých hledisek – zejména podle umístění břitů, tvaru zubů, průběhu ostří, upínání a konstrukce.

- Podle toho, zda jsou umístěny břity fréz na válcovém, rovinném, kuželovém, kulovém nebo tvarové ploše (Obr. 18), se dělí frézy na:

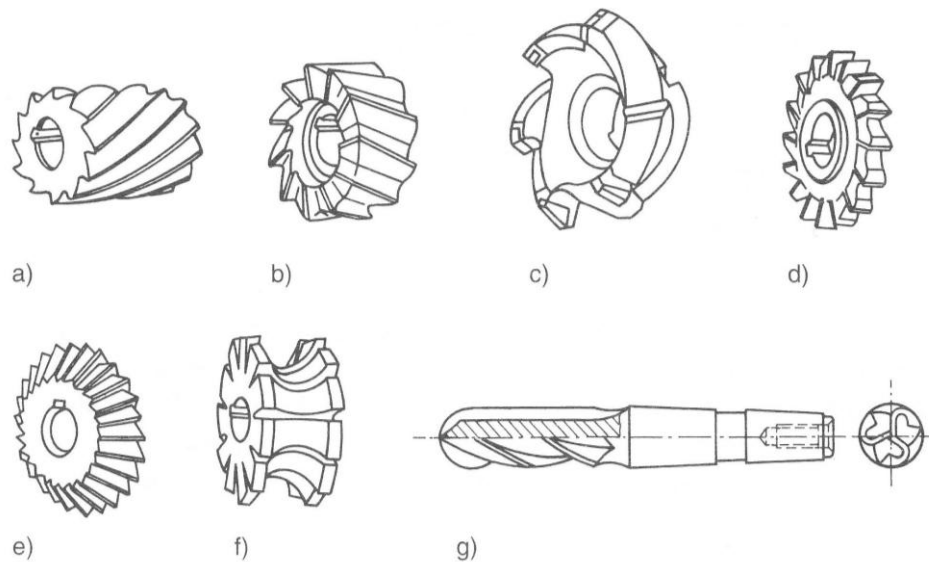
**válcové** – s břity na válcové ploše,

**čelní** – s břity na válcové a čelní ploše,

**kotoučové** – s břity na válcové a obou čelních plochách,

**kuželové** – s břity na jedné nebo dvou kuželových plochách,

**tvarové** – s břity na tvarových plochách, např.: zaoblovací frézy, frézy na závity, frézy na ozubení (odvalovací a modulové) apod.



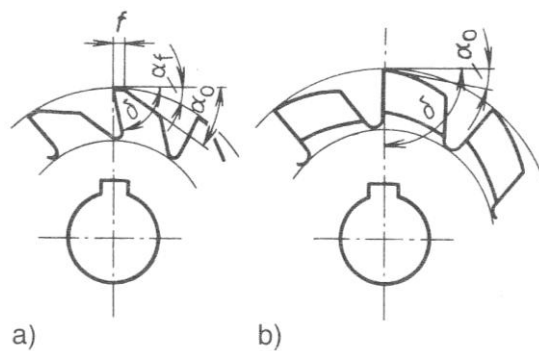
Obr. 18. Některé druhy fréz [1]

a) válcová, b) čelní, c) frézovací hlava, d) kotoučová, e) kuželová, f) tvarová, g) stopková s kulovým čelem

- Podle tvaru zubů (Obr. 19) jsou frézy

s *frézovanými zuby* – zubové mezery se frézují kuželovými frézami,

s *podsoustruženými zuby* – hřbety zubů těchto fréz se obrábějí na tzv. podtáčecích soustruzích a mají tvar Archimédovy spirály; používají se zejména u tvarových fréz.



Obr. 19. Zuby fréz [1]

a) frézovaný zub, b) podsoustružený zub

$\alpha_0$  – úhel hřbetu,  $\alpha_f$  – úhel hřbetu na fazetce,  $\delta$  – úhel řezu,  $f$  – šířka fazetky

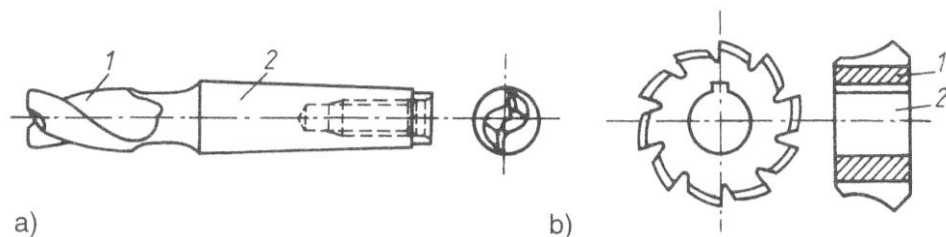
- Podle průběhu ostří zubů frézy

s **přímými zuby** – mají zuby rovnoběžné s osou (Obr. 13),

s **zuby do šroubovice** (Obr. 14) – pravotočivé nebo levotočivé.

- Podle upínání dělíme frézy na (Obr. 20)

**stopkové** – s kuželovou stopkou (kužel Morse nebo ISO) nebo s válcovou stopkou,  
**nástrčné**.



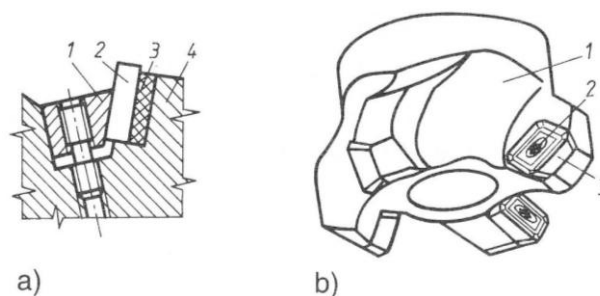
Obr. 20. Fréza [1]

- a) s kuželovou stopkou (kužel Morse): 1 – řezná část, 2 – stopka,  
b) nástrčná: 1 – těleso, 2 – upínací otvor

- Podle konstrukce rozeznáváme frézy

**celistvé** (monolitní),

s **vyměnitelnými břitovými destičkami** se zuby z rychlořezných ocelí, slinutých karbidů, příp. i z řezné keramiky nebo polykrystalického nitridu boru (Obr. 21);

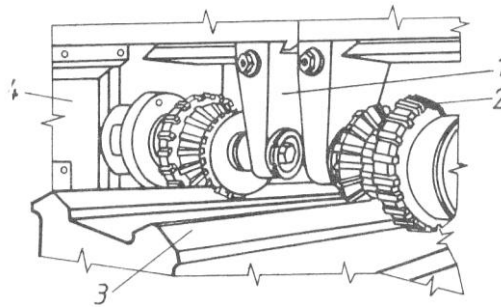


Obr. 21. Příklady mechanického upnutí břitových destiček na fréze [1]

- a) klínem: 1 – upínací klín se šroubem, 2 – vyměnitelná břitová destička, 3 – podložka, 4 – těleso frézy

- b) šroubem: 1 – těleso frézy, 2 – upínací šroub, 3 – vyměnitelná břitová destička

*skládané* z více samostatných fréz – slouží pro frézování složitých tvarů (Obr. 22). [1]



Obr. 22. Frézování složitých tvarů skládanou frézou [1]

1 – opěrné ložisko, 2 – skládaná fréza,  
3 – obrobek, 4 – vřeteník

### 3.3 Nástrojové materiály

Celistvé frézy se vyrábějí z rychlořezných ocelí buď obráběním, nebo přesným litím. Frézy menších rozměrů se vyrábějí jako celistvé ze slinutých karbidů.

Frézy s vyměnitelnými břitovými destičkami mají zuby tvořené vyměnitelnými destičkami z rychlořezné oceli, slinutého karbidu, řezné keramiky nebo polykrystalického kubického nitridu boru. Těleso frézy je vyrobeno z konstrukční oceli vyšší pevnosti. Břítové destičky mohou být k tělesu připájeny nebo různými způsoby mechanicky upnuty (Obr. 21).

Pro obrábění litiny se někdy používají frézy s mechanicky upínanými keramickými břitovými destičkami. Pro obrábění kalených ocelí lze použít frézy s destičkami z polykrystalického kubického nitridu boru. [1]

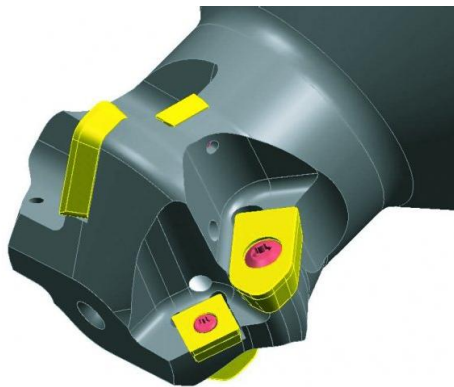
### 3.4 Trendy ve vývoji fréz

Některé typy fréz z rychlořezných ocelí, zejména válcové a čelní frézy větších průměrů, se v poslední době již v podstatě nepoužívají. Tyto frézy jsou nahrazeny frézovacími hlavami s vyměnitelnými břitovými destičkami. Vysoce výkonné čelní frézy až do průměru kolem 25 mm se vyrábějí jako celistvé, ze slinutých karbidů nebo stelitů, metodami práškové metalurgie.

Pro snížení náchylnosti ke vzniku chvění se některé frézy vyrábějí s nepravidelnou roztečí zubů nebo se zuby ve šroubovici (Obr. 23).



Obr. 23. Čelní válcová fréza s mechanicky upínanými vyměnitelnými břitovými destičkami [1]



Obr. 24. Tvarová fréza pro obrábění rybinových drážek [8]

Velké frézovací hlavy a čelní válcové frézy s vyměnitelnými břitovými destičkami vyžadují značně tuhé obráběcí stroje vysokých výkonů. Do frézovací hlavy lze též upnout jednu tzv. hladící destičku (má velmi malý úhel nastavení vedlejšího ostří), čímž se dosáhne i při hrubování poměrně velmi kvalitního povrchu. [1]

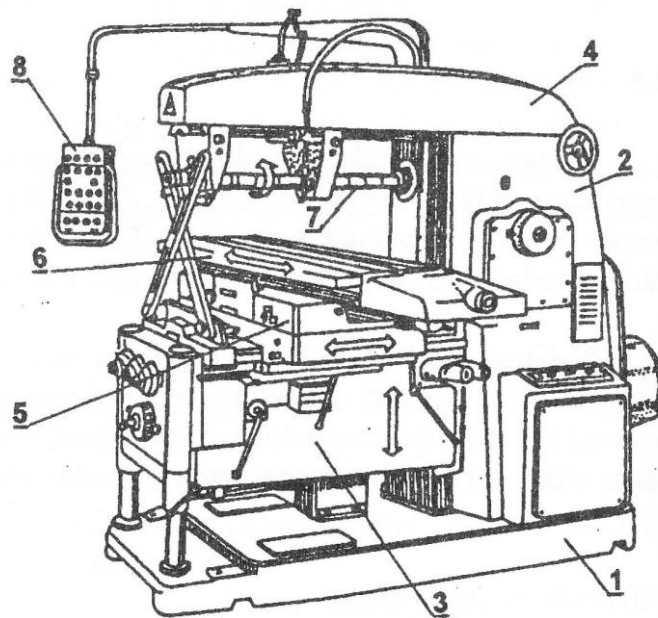
### 3.5 Stroje

Frézovací stroje – frézky – se vyskytují ve velkém počtu různých modifikací. Obvykle se rozdělují na konzolové, rovinné a speciální.

- Konzolové frézky jsou používané nejčastěji. Mají konzolu posuvnou po stojanu stroje, na které je umístěn pracovní stůl pro upínání obrobku. Konzola umožňuje svislý

pohyb stolu, stůl má příčný a podélný posuv. Všechny pohyby se vykonávají pomocí šroubů a matic a umožňují posuv obrobku ve třech osách. Pohon posuvu, zajišťovaný obvykle samostatným motorem s převodovkou, je nezávislý na otáčkách vřetene. Konzolové frézky mohou být vodorovné, svislé, nebo univerzální.

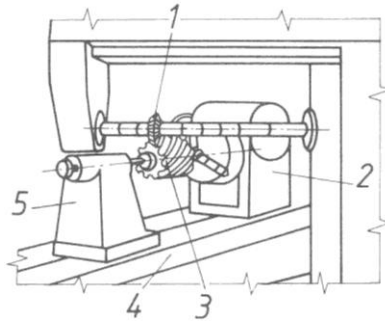
Vodorovné konzolové frézky (Obr. 25) mají vřeteno uloženo horizontálně, rovnoběžně s rovinou pracovního stolu. Obrábějí se na nich zejména drážky kotoučovými nebo tvarovými frézami (Obr. 26), nebo složité tvary skládanými frézami (Obr. 22). Lze na nich obrábět i drážky nebo rovinné plochy stopkovými frézami a frézovacími hlavami, upnutými do vřetene frézky.



Obr. 25. Vodorovná konzolová frézka [5]

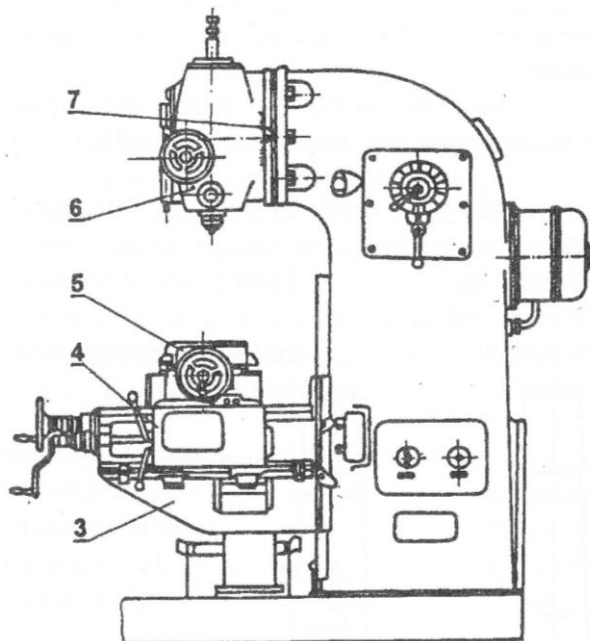
1 – základna, 2 – stojan, 3 – konzola, 4 – rameno, 5 – příčné sáně, 6 – podélný pracovní stůl, 7 – vřeteno, 8 – ovládací panel

Svislé konzolové frézky (Obr. 27) mají vertikální vřeteno s osou kolmou na plochu pracovního stolu frézky. Vřeteno je uloženo ve svislé hlavě, která může být otočná kolem vodorovné osy a lze ji natočit obvykle o 45°. Na svislých frézkách se obrábějí zejména rovinné plochy a drážky čelními frézami, frézovacími hlavami a stopkovými frézami.



Obr. 26. Frézování šroubovice [1]

1 – fréza, 2 – dělicí přístroj, 3 – obrobek, 4 – pracovní stůl frézky, 5 - koník



Obr. 27. Svislá konzolová frézka [5]

1 – základna, 2 – stojan, 3 – konzola, 4 – příčné sáně, 5 – podélný pracovní stůl, 6 – naklápací vřeteník, 7 – kruhová základna vřeteníku

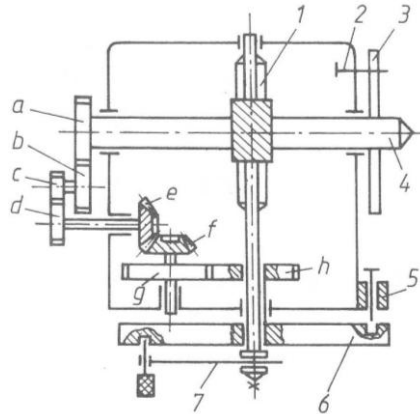
Univerzální konzolové frézky jsou obdobné konstrukce jako vodorovné konzolové frézky, mají však pracovní stůl otočný o asi 45°. Tato úprava umožňuje frézování šroubovic pomocí univerzálního dělicího přístroje (Obr. 28).

Příslušenstvím univerzální frézky je i svislá nebo univerzální frézovací hlava (Obr. 29), kterou lze nasadit na svislé vedení frézky.

Mezi konzolové frézky patří i nástrojářské frézky. Ty umožňují frézovat plochy skloněné pod různými úhly a vyrábět tak složité obrobky, jako např. řezné nástroje, formy apod. Stůl těchto fréz se, kromě běžných pohybů, může otáčet kolem svislé a vodorovné osy. Vřete-



ník je uložen v posuvném rameni. Pracovní hlava s vřetenem se může natáčet kolem vodorovné osy. K těmto frézám se dodává bohaté příslušenství pro upínání nástrojů a různá přídatná zařízení.

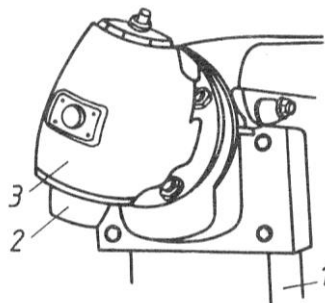


Obr. 28. Univerzální dělicí přístroj [1]

1 – šnekový převod, 2 – západka, 3 – kotouč pro přímé dělení, 4 – vřeteno, 5 – západka, 6 – dělicí kotouč, 7 – dělicí klika,

*a až h* – ozubené převody pro diferenciální dělení

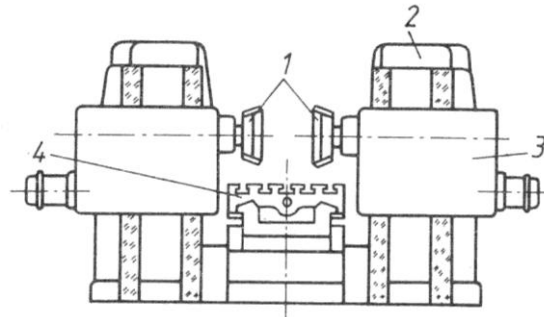
Kopírovací frézky slouží k obrábění složitých prostorových tvarů podle předem připraveného modelu. Mohou to být buď speciálně upravené běžné konzolové frézky, jejichž jeden nebo dva pracovní pohyby jsou ovládány kopírovacím zařízením, nebo jsou to frézky speciálně pro tento účel vyrobené. Význam kopírovacích frézek se snižuje, jsou nahrazovány frézky s numerickým řízením.



Obr. 29. Univerzální frézovací hlava [1]

1 – svislé vedení, 2 – vřeteno, 3 – otočná hlava

- Rovinné frézky (Obr. 30) se liší od konzolových tím, že se pracovní stůl pohybuje pouze v podélném směru po pevném loži. Po svislém stojanu frézky se pomocí pohybového šroubu pohybuje vřeteník. Příčně se pohybuje nástroj vysouváním pinoly ze vřeteníku. Rovinné frézky se vyrábějí s jedním vřeteníkem nebo mohou mít druhý stojan s vřeteníkem na opačné straně stolu. Vřeteníky jsou na sobě nezávislé a mají samostatnou převodovku i motor.

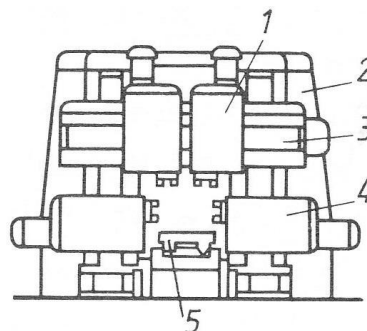


Obr. 30. Rovinná frézka se dvěma stojany [1]

1 – frézy, 2 – stojan, 3 – vřeteník, 4 – pracovní stůl

Na rovinných frézách se obrábějí rovinné plochy větších součástí zejména frézovacími hlavami, čelními a kotoučovými frézami a skládanými frézami.

Velké a těžké součásti se obrábějí na rovinných portálových frézách (Obr. 31). Portálová frézka má oba stojany spojeny příčnickem se svislým posuvem. Na něm je jeden nebo dva samostatné vřeteníky. Obrobek se upíná na pracovní stůl s podélným posuvem. Portálové frézky patří mezi nejvýkonnější frézovací stroje. Jako nástrojů se většinou užívá velkých frézovacích hlav.



Obr. 31. Portálová frézka [1]

1 – svislý vřeteník, 2 – stojan, 3 – portál, 4 – vodorovný vřeteník, 5 – pracovní stůl

- Speciální frézky tvoří rozsáhlou řadu typů, určených pro různé speciální frézovací operace. Patří sem např. frézky na ozubení, na závity, na drážky, na vačky, pantografické frézky apod.

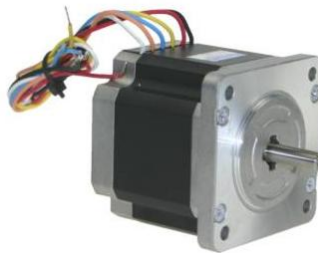
Frézky na drážky mají vřeteník posuvný ve vedení rovnoběžném s podélným posuvem stolu a umožňují posuvem vřeteníku frézovat drážky a pera do hřídelů.

Frézky na vačky frézují tvary vaček nebo drážek v křivkových bubnech podle šablon nebo modelů.

Pantografické frézky slouží obvykle k frézování písmen, číslic nebo tvarových ploch podle šablon. [1]

## 4 KROKOVÉ MOTORY

Vzhledem k rozvoji číslicové techniky a s tím souvisejícího zpracování digitální informace se rozšiřuje užití tzv. krokových motorů, jejichž úhel natočení hřídele je dán počtem impulzů přivedených na řídicí vinutí. Charakteristickým znakem je proto nespojitý pohyb hřídele, daný úhlovými skoky = kroky (krok je mechanická odezva rotoru krokového motoru na jeden řídicí impuls, při němž rotor vykoná pohyb z výchozí magnetické klidové polohy do nejbližší magnetické klidové polohy), které jsou odezvou rotoru na jeden řídicí impuls. K řízení krokového motoru slouží ovladač krokového motoru.



Obr. 32. Krokový motor [9]

### 4.1 Princip krokového motoru

Proud procházející cívkou statoru vytvoří magnetické pole, které přitáhne opačný pól magnetu rotoru. Vhodným zapojováním cívek dosáhneme vytvoření rotujícího magnetického pole, které otáčí rotorem. Podle požadovaného krouticího momentu, přesnosti nastavení polohy a přípustného odběru volíme některou z variant řízení. Kvůli přechodovým magnetickým jevům je omezena rychlost otáčení motoru a to na několik stovek kroků za sekundu (závisí na typu motoru a zatížení). Při překročení této maximální rychlosti (nebo při příliš velké zátěži) motory začínají ztrácet kroky.

#### 1. Krokové motory s pasivním rotorem

Jsou označovány jako reakční či reluktanční, protože rotor je opatřen výstupky (zuby), takže magnetický obvod motoru má po obvodu vzduchové mezery proměnnou magnetickou vodivost.

#### 2. Krokové motory s aktivním rotorem

Obsahují magnetický aktivní část, tj. budící vinutí nebo permanentní magnet, jehož póly mohou být uspořádány dvojím způsobem

- s radiálně polarizovaným permanentním magnetem
- s axiálně polarizovaným permanentním magnetem

### 3. Krokové motory s odvalujícím se rotorem

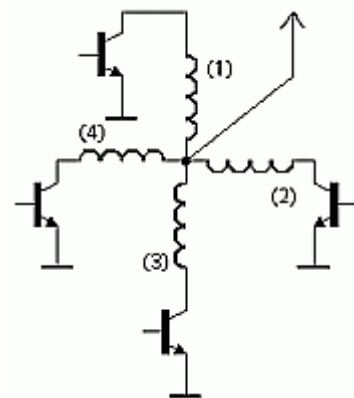
Jsou typické tím, že jejich vzduchová mezera je v jednom nebo několika místech nulová, čímž je minimalizován odpor magnetického obvodu a tím dosaženo při daném budícím proudu maximum indukce a krouticího momentu. [10]

## 4.2 Metody řízení krokových motorů

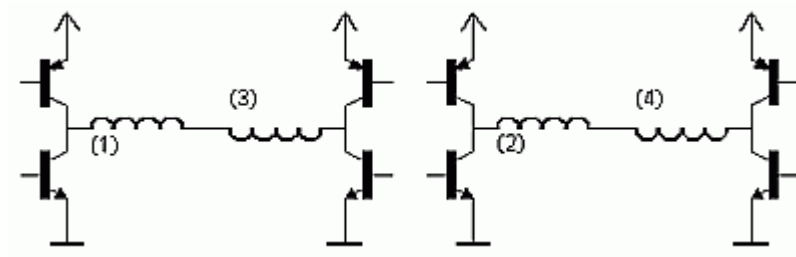
### Unipolární versus bipolární řízení

Při unipolárním řízení prochází v jednom okamžiku právě jednou cívkou. Motor s tímto buzením má nejmenší odběr, ale také poskytuje nejmenší krouticí moment. Výhodou tohoto řešení je jednoduché zapojení řídicí elektroniky. V podstatě stačí jeden tranzistor na každou cívku

Při bipolárním řízení prochází proud vždy dvěma protilehlými cívkami. Ty jsou zapojené tak, že mají navzájem opačně orientované magnetické pole. Motor v tomto režimu poskytuje větší krouticí moment, ovšem za cenu vyšší spotřeby. Pro řízení jsou zapotřebí 2 H-můstky, pro každou větev jeden. To ve výsledku znamená složitost zapojení a větší počet kontrolních linek (jejich počet lze zredukovat pomocí přídavné logiky).



Obr. 33. Schéma unipolárního řízení [11]



Obr. 34. Schéma bipolárního řízení [11]

### Jednofázové versus dvoufázové řízení

Jednofázové řízení znamená, že magnetické pole generuje pouze jedna cívka (případně dvojice cívek při bipolárním buzení).

Při dvoufázovém řízení generují shodně orientované magnetické pole vždy dvě sousední cívky. Daní za vyšší krouticí moment je dvojnásobná spotřeba oproti řízení jednofázovému.

### Řízení s plným versus polovičním krokem

Řízení s plným krokem znamená, že na jednu otáčku je potřeba přesně tolik kroků, kolik zubů má stator daného motoru. Dosáhneme ho použitím kterékoliv doposud uvedené metody řízení.

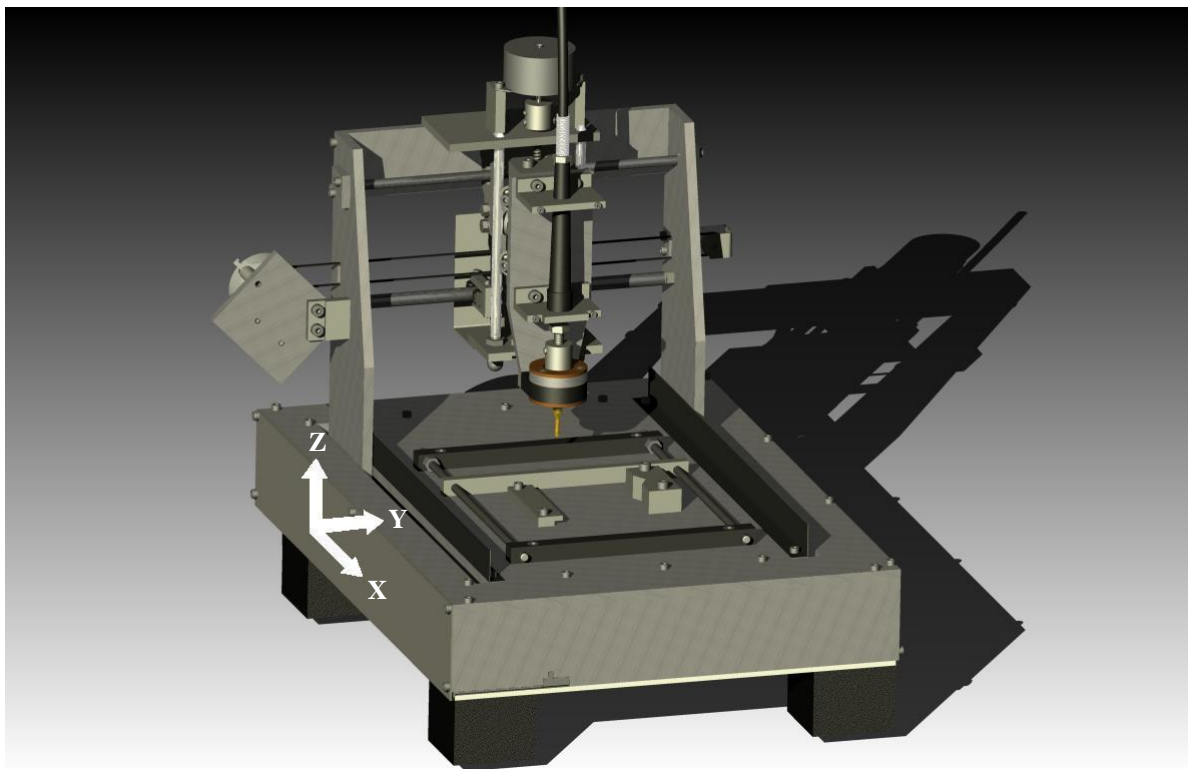
Řízením s polovičním krokem dosáhneme dvojnásobné přesnosti. Technicky se jedná o střídání kroků s jedno - a dvoufázovým řízením. [11]

## **II. PRAKTICKÁ ČÁST**

## 5 KONSTRUKCE FRÉZKY

Z důvodu dostupnosti stavebních dílů, konstrukčních a univerzálnosti, bylo rozhodnuto o návrhu a konstrukci CNC frézky.

Při návrhu konstrukce frézky, byl rozhodující faktor maximální velikost opracovávaného dílce. V ose X 280 mm, v ose Y 150 mm a v ose Z 40 mm. Bylo rozhodnuto o návrhu 3osé frézky portálové konstrukce. K posuvu byly zvoleny krokové motory vzhledem k použité řídicí elektronice. Z ekonomických důvodů budou využity i komponenty z jiných zařízení. Pro výrobu součástí jsou k dispozici omezené výrobní prostředky, proto v návrhu konstrukce bude brán na tuto skutečnost ohled. Součásti budou navrženy z dostupných a lehce obrobitelných materiálů jako je PVC, PMMA (*Polymethylmethakrylát*) a slitiny hliníku. K modelování poslouží 3D CAD aplikace Autodesk Inventor.



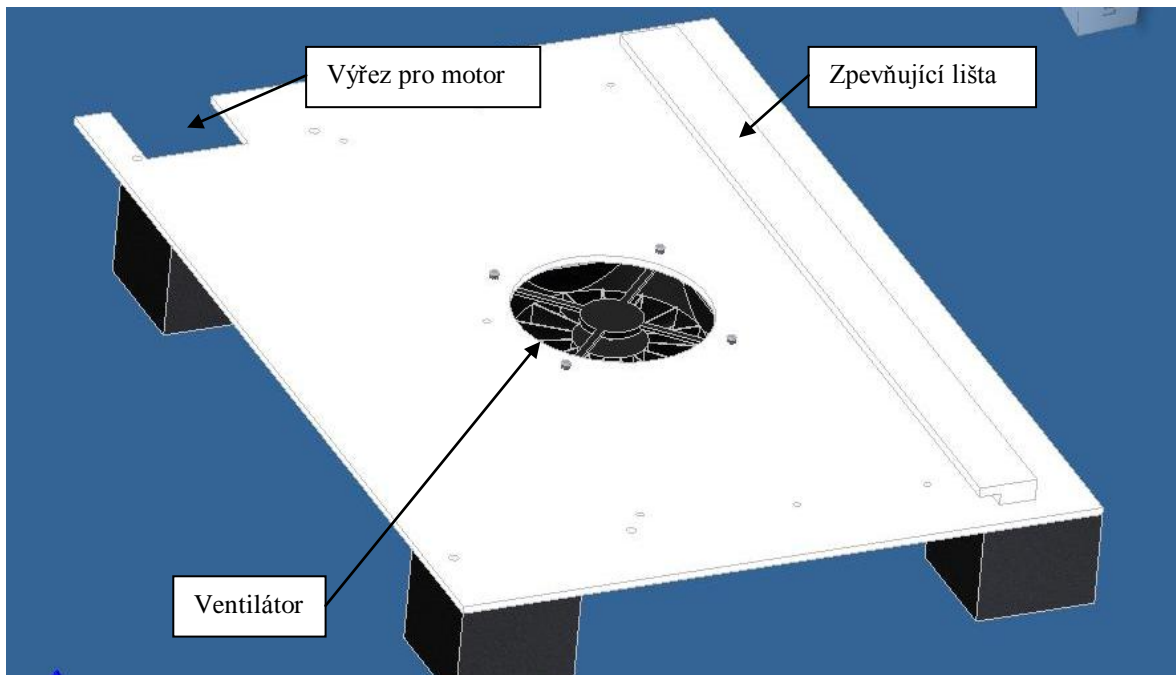
Obr. 35. Souřadný systém frézky

### 5.1 Základní deska

Pro odstranění přenášení vibrací stroje do okolí, je základní deska usazena na krychlich z materiálu pohlcujícího tyto vibrace. Deska je zpevněna podélnou lištou bránící jejímu prohnutí. Stabilizace tvaru desky bude zajištěna konstrukcí osy X. Vestavěný ventilátor slouží



k vytvoření proudu vzduchu (Obr. 47) bránícího usazení malých třísek na vodící systém osy X.



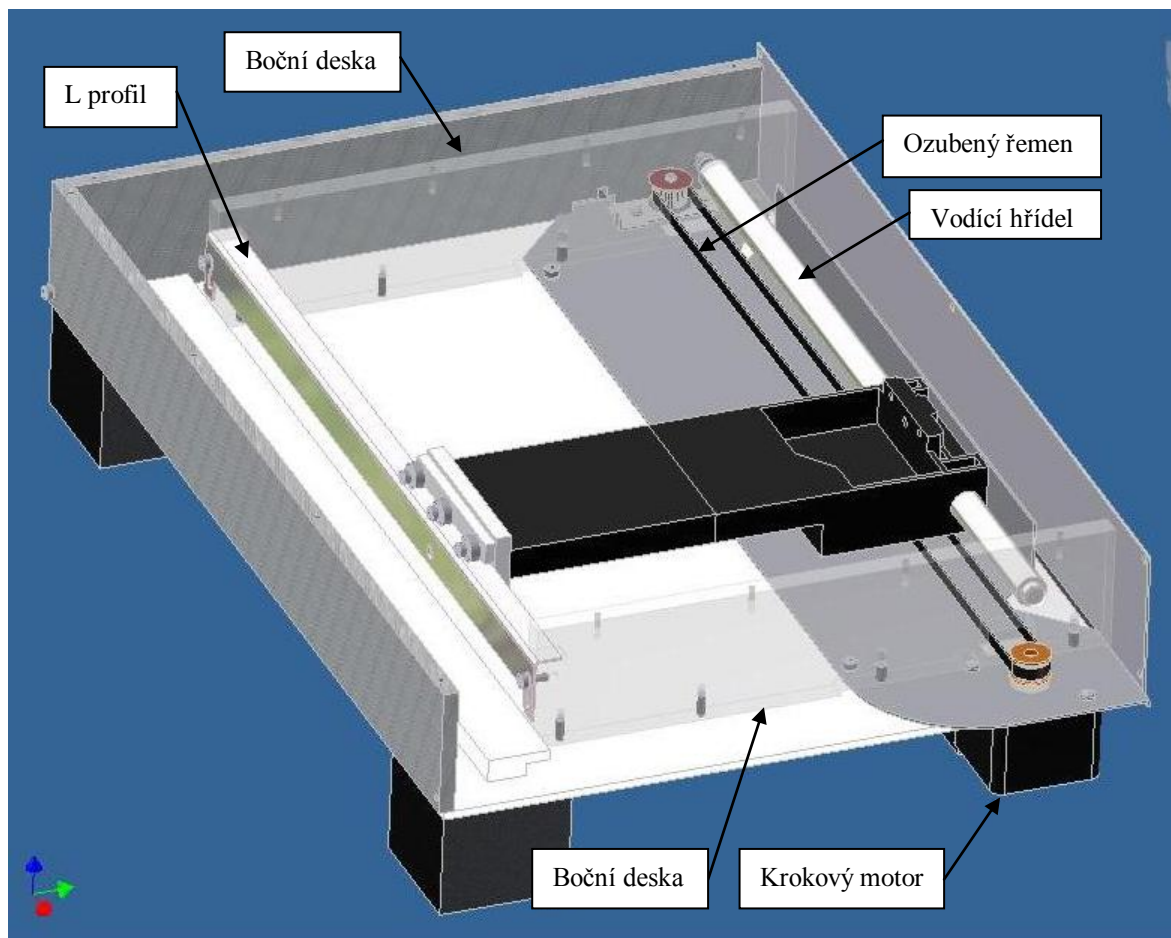
Obr. 36. Základní deska frézky

## 5.2 Osa X

Lineární vodící systém této osy se skládá ze dvou kluzných a čtyř valivých ložisek. Kluzná ložiska jsou uložena v plastovém dílci, který byl spolu s vodící hřídelí použit z počítačové tiskárny značky STAR typu LC24-20 pro formát A3.

Posuv zajišťuje krokový motor (Tab. 4), kde rotační pohyb motoru je převeden na lineární pohyb ozubeným řemenem, jenž je upnut v plastovém dílci s kluznými ložisky. Motor byl zvolen pro jeho dostatečný krouticí moment (příloha PI) a malý úhel kroku (jmenovitý úhel, o který se otočí hřídel motoru na jeden řídicí impulz), díky čemuž nebylo nutné použití dalších převodových systémů. Motorová deska byla použita z jiného zařízení, vyžádala si ovšem několik úprav. Součástí desky je napínací kladka (Obr. 38), udržující ozubený řemen v pracovním napnutí. Excentrické osazení vodící hřídele umožňuje seřízení rovnoběžnosti osy X se stolem frézky. Sekundární vedení se sestává z valivých ložisek odvalujících se po L profilu. Z důvodu rozložení síly působící na vedení, jsou použita tři ložiska. Ložisko zajišťující vedení proti naklápění musí být seřízeno tak, aby s profilem bylo ve styku. Seřízení se

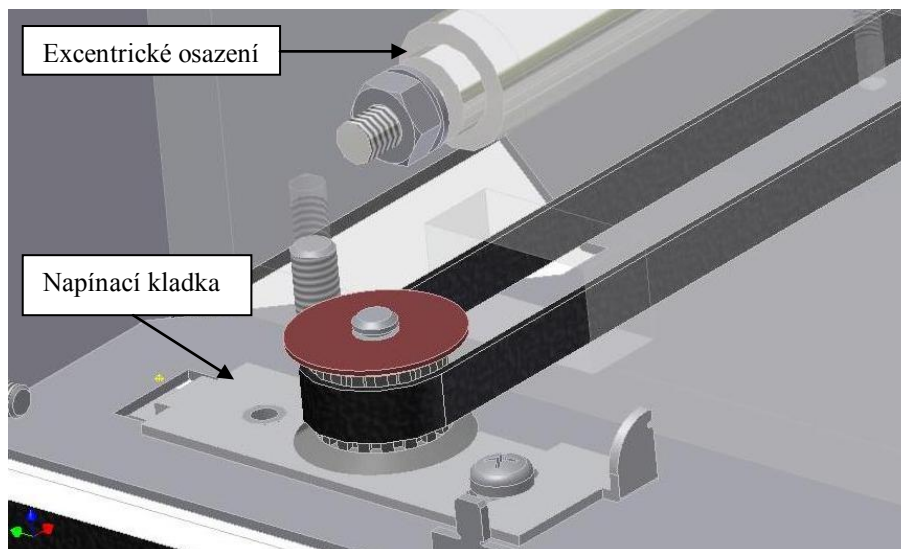
provádí šroubem ložiska, který je zpřístupněn otvorem v profilu (Obr. 39). Vedení osy je zkompletováno propojením obou vodících systémů.



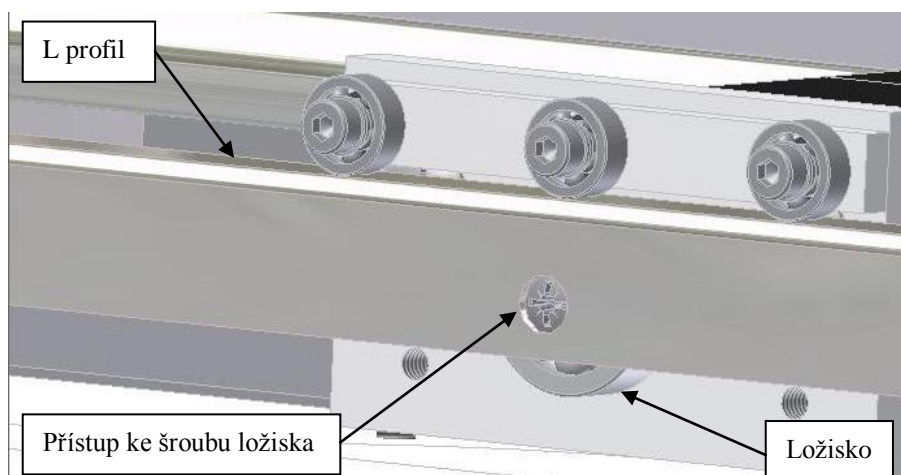
Obr. 37. Systém vedení osy X

Tab. 4. Parametry krokového motoru osy X

<b>Výrobce</b>	SANYO DENKI CO.,LDT.	
<b>Model</b>	103-557-0341	
<b>Nominální napětí</b>	[V]	24
<b>Nominální proud</b>	[mA]	500
<b>Fáze</b>	[1]	4
<b>Odpor vinutí fáze</b>	[ $\Omega$ ]	11,5
<b>Budící metoda</b>	[-]	2-2 budící fáze
<b>Krouticí moment</b>	[N.m]	0,3
<b>Úhel kroku</b>	[ $^\circ$ /krok]	1,875



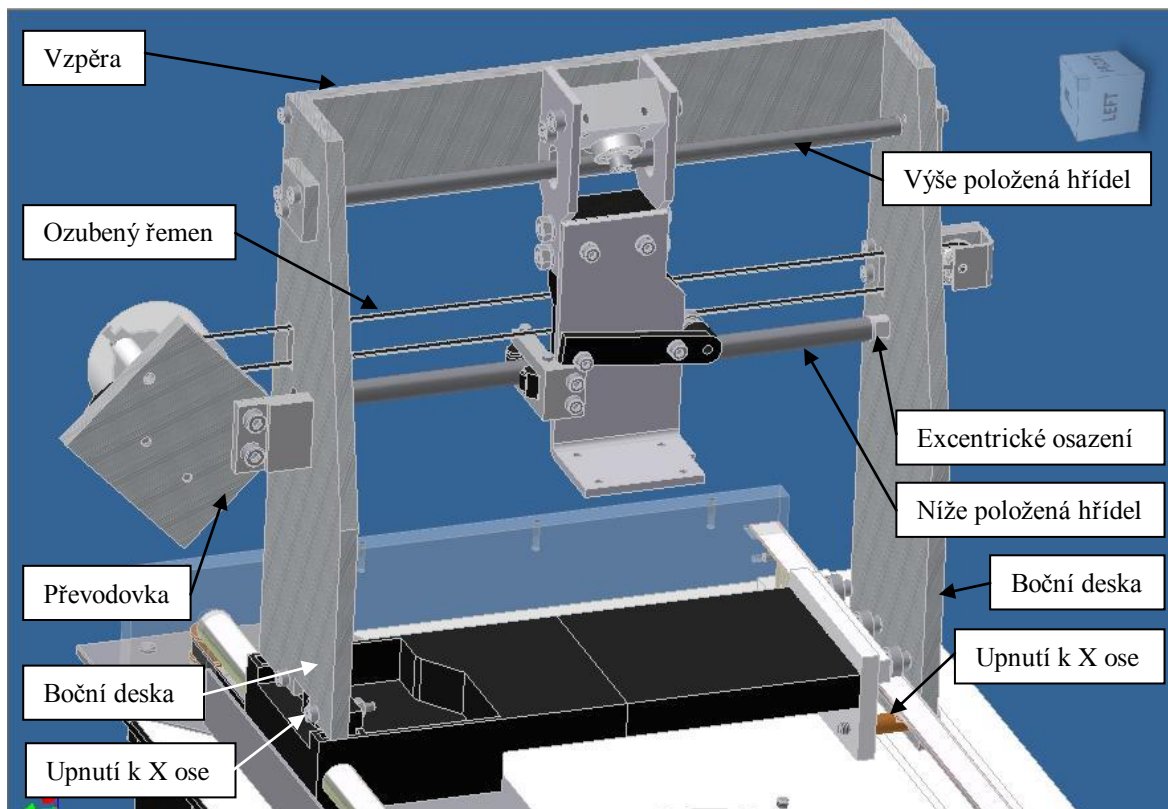
Obr. 38. Napínací kladka, excentrické osazení vodící hřídele



Obr. 39. Přístup ke šroubu ložiska

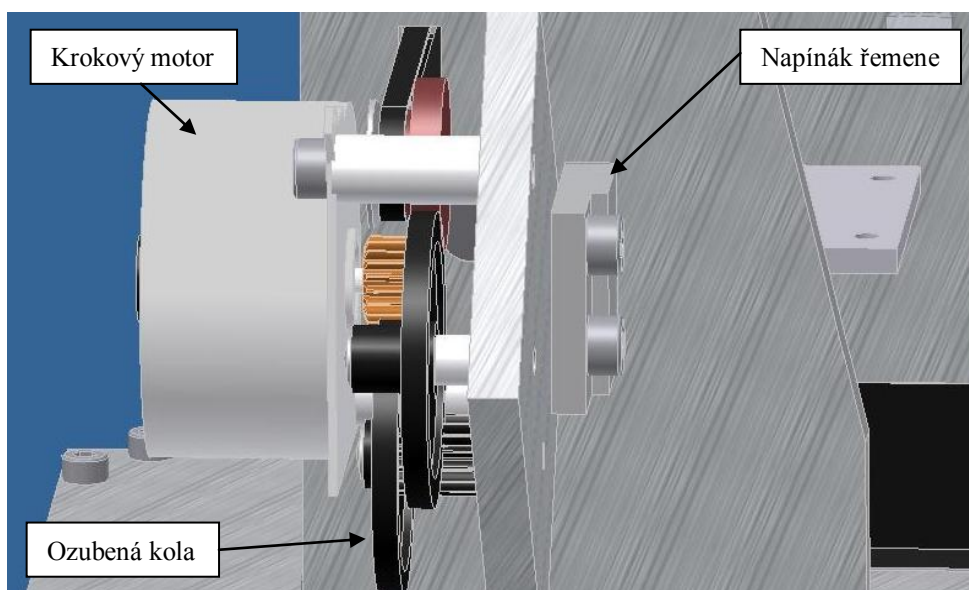
### 5.3 Osa Y

Základní prvky jako kluzná ložiska zapuštěná v plastovém dílci a vodící hřídel tvořící níže položené vedení, byly použity z počítačové tiskárny EPSON LX300 pro formát A4. Systém vedení výše položené hřídele se sestává z valivých ložisek svírajících úhel  $90^\circ$ , díky čemuž má kompletní vedení pouze 1 potřebný stupeň volnosti. Vodící hřídele jsou ukotveny v bocích, jejich vzdálenost je dána vzpěrou. Zároveň je to prvek zvyšující tuhost konstrukce. Seřízení rovnoběžnosti osy Y je také řešeno excentrickým osazením vodící hřídele. Ukotvení kompletního vedení k ose X je provedeno bočními deskami.



Obr. 40. Systém vedení osy Y

K převodu rotačního pohybu motoru na lineární byl opět navržen ozubený řemen. Z cenové nedostupnosti nemohl být použit krokový motor s menším úhlem kroku než  $7,5^\circ$ . Přímé propojení motoru s ozubeným řemenem by znamenalo velký krok posuvu. Pro jeho zmenšení byla navržena třístufňová převodovka, která zároveň navýšila krouticí moment motoru.



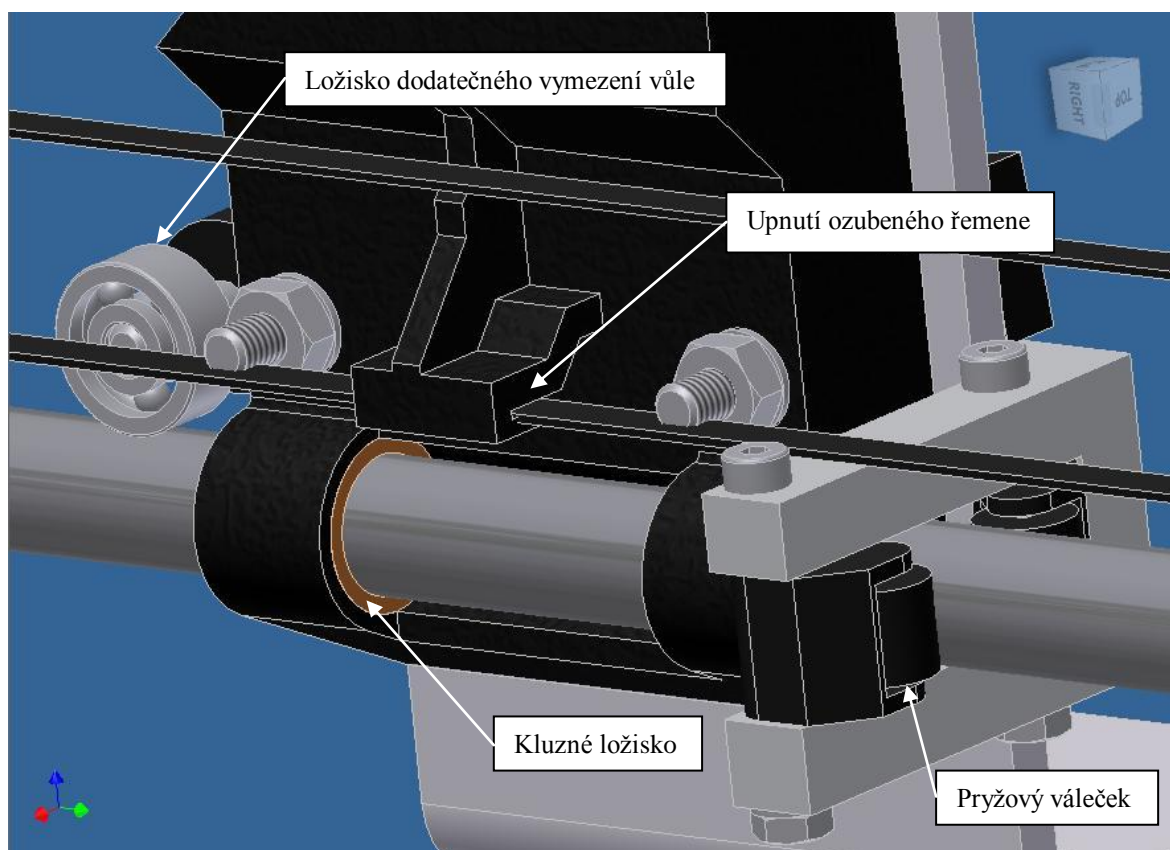
Obr. 41. Převodovka Y osy

Napnutí řemene je vyřešeno vychýlením zavěšeného kompletu převodovky s motorem na napínáku řemene.

Po smontování se projevila vůle mezi kluznými ložisky a vodící hřídeli, způsobena opotřebenými díly. Tato vůle by měla značný vliv na přesnost obrábění, bylo tedy nutné, navrhnou řešení vedoucí k její minimalizaci. Problém byl vyřešen konstrukcí dodatečných vodících prvků (Obr. 42).

Tab. 5. Parametry krokového motoru osy Y

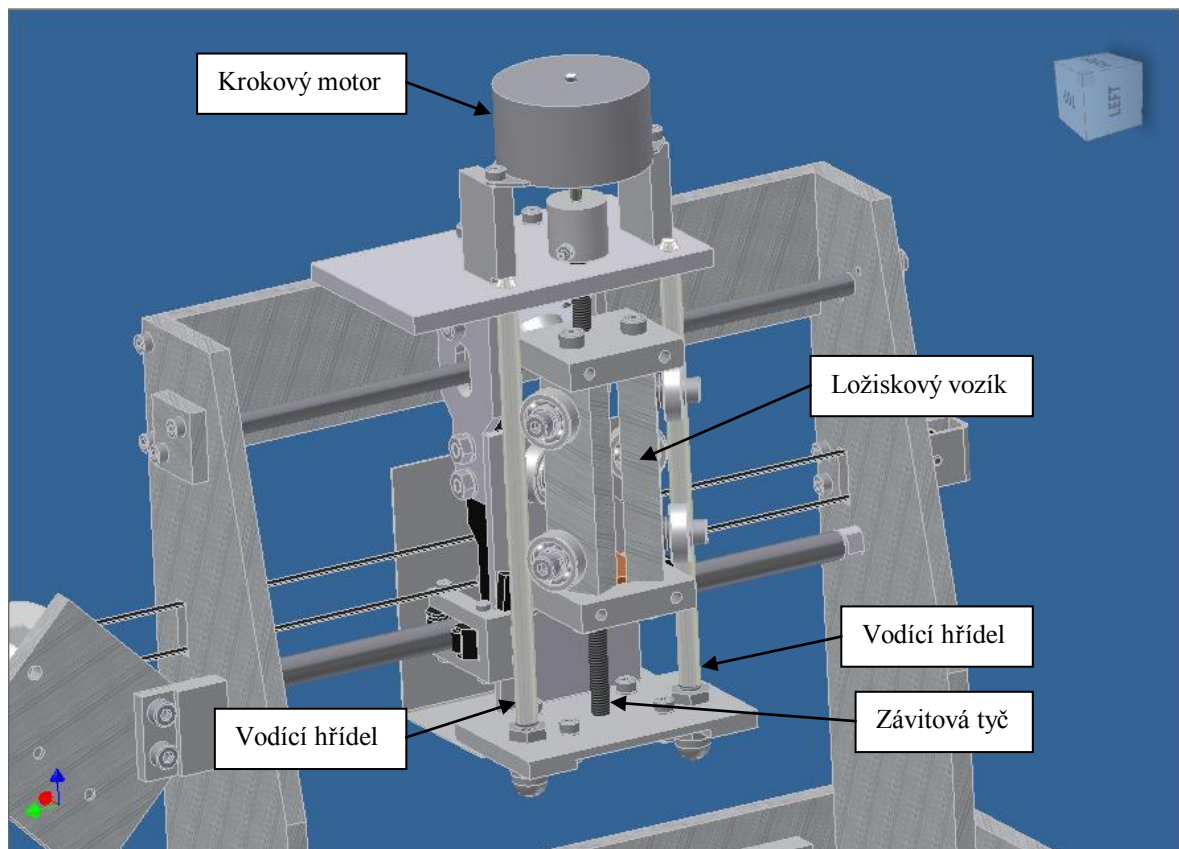
<b>Výrobce</b>	MINEBEA CO.,LDT
<b>Model</b>	EM-210
<b>Nominální napětí</b> [V]	35
<b>Nominální proud</b> [mA]	300
<b>Fáze</b> [1]	4
<b>Odpor vinutí fáze</b> [ $\Omega$ ]	180
<b>Budící metoda</b> [-]	2-2 budící fáze
<b>Krouticí moment</b> [N.m]	0,05
<b>Úhel kroku</b> [°/krok]	7,5



Obr. 42. Vedení níže položené hřídele

## 5.4 Osa Z

Vedení Z osy řeší konstrukce ložiskového vozíku pohybujícího se po dvou vodících hřídelích. Skládá se ze šesti ložisek rozestavených v poměru 2:1 a svírající úhel 90°, čímž bylo dosaženo jednoho potřebného stupně volnosti. Na závitových koncích vodících hřídelí jsou matice sloužící k jejich ukotvení a zároveň seřízení vzdálenosti os hřídelí, která musí být po celé délce konstantní, aby nedocházelo k zasekávání ložiskového vozíku. Toto řešení kompenzuje výrobní nepřesnosti jednotlivých dílů.



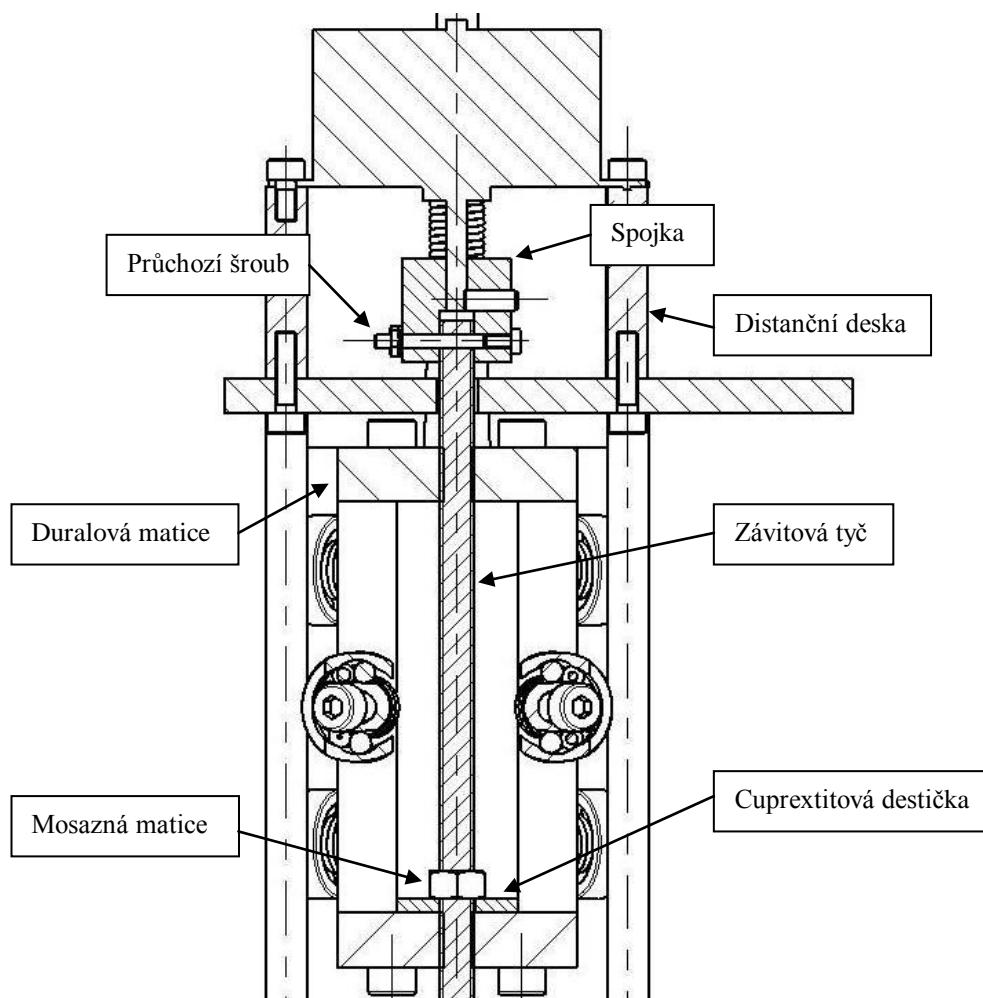
Obr. 43. Systém vedení osy Z

Převod rotačního pohybu motoru na lineární je uskutečněn závitovou tyčí s maticemi. Vzhledem k vysoké ceně závitových tyčí s trapézovým závitem, které se k tomu účelu běžně používají, byla použita cenově dostupnější varianta s metrickým závitem. Nevýhoda tohoto řešení spočívá v menší životnosti matice a závitové tyče. Byly navrženy dvě matice pro zmenšení napětí v závitech, kde matice duralová je součástí ložiskového vozíku a mosazná matice, ukotvená k cuprexitové destičce. Ta je zároveň prvkem sloužící k vymezení vůle v závitech, jež se provede natočením matice do polohy s minimální vůlí mezi závity. Nesledně je poloha fixována.

Převodový poměr posuvu umožnil použít cenově dostupný krokový motor (Tab. 6) s úhlem kroku  $7,5^\circ$  a vyhovujícím krouticím momentem. K vytvoření prostoru pro umístění spojky motoru se závitovou tyčí, byl motor usazen na distanční desky. Ke kompenzaci vyosení hřídele motoru se závitovou tyčí zapříčiněného nepřesnosti dílů a montáží, byl navržen systém spoje hřídelového kloubu.

Tab. 6. Parametry krokového motoru osy Z

<b>Výrobce</b>	MITSUMI
<b>Model</b>	M42SP-5F
<b>Nominální napětí</b> [V]	24
<b>Nominální proud</b> [mA]	850
<b>Fáze</b> [1]	4
<b>Odpor vinutí fáze</b> [ $\Omega$ ]	6,2
<b>Budící metoda</b> [-]	2-2 budící fáze
<b>Krouticí moment</b> [N.m]	0,085
<b>Úhel kroku</b> [ $^\circ$ /krok]	7,5



Obr. 44. Detail spojky a vymezení vůle závitů

## 5.5 Vřeteno

Návrh pohonu vřetena vycházel z řezných rychlostí udaných pro frézování plastů v kapitole 1.3 při použití nástrojů s břity z rychlořezné oceli. V následující tabulce jsou z těchto rychlostí vypočteny rozsahy otáček pro jednotlivé druhy plastů při použití frézy z rychlořezné oceli o  $\varnothing$  3 mm se čtyřmi zuby.

### Použité vztahy:

$$v_c = \frac{\pi \cdot d_1 \cdot n_o}{1000} \quad (1)$$

$v_c$  – řezná rychlost [m/min]

$d_1$  -  $\varnothing$  řezné části frézky [mm]

$n_o$  – otáčky [ot/min]

$$n = \frac{1000 \cdot v_c}{\pi \cdot d_1} \quad (2)$$

Tab. 7. Rozsahy otáček pro jednotlivé druhy plastů

	Reaktoplasty	Termoplasty	Vyztužené a vrstvené plasty	
			fréz. souhlasně s vrstvami	fréz. kolmo na vrstvy
<b>Řezná rychlost</b> [m.min <sup>-1</sup> ]	50 až 160	120 až 200	max. 200	300 až 350
<b>Otáčky</b> [ot/min]	5305 až 16977	12732 až 21221	21221	31831 až 37136

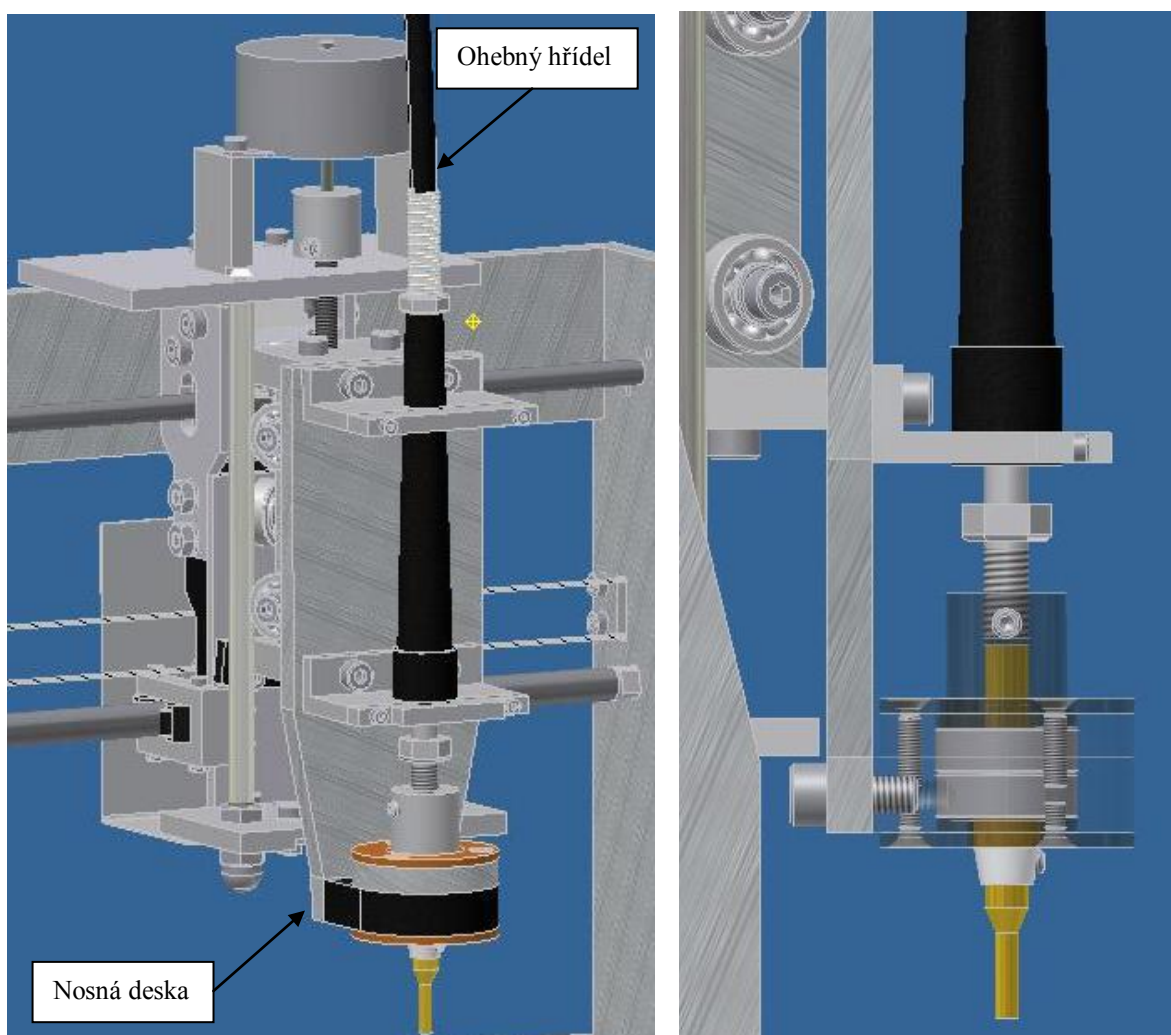
Z vypočtených rozsahů otáček byla k pohonu vřetena zvolena přímá bruska firmy FERM typu FCT-160F (Obr. 45) s rozsahem otáček 15000 – 35000min. Vzhledem k velké hmotnosti motoru brusky, která by způsobila značné zatížení všech vedení frézky, bylo vřeteno zkonstruováno z ohebné hřídele, jež byla součástí příslušenství přímé brusky.

Základním konstrukčním prvkem vřetena je nosná deska, ke které je ukotven konec ohebné hřídele s upínací hlavou nástroje. Použity mohou být nástroje s upínací částí o  $\varnothing$  6mm. Je to dáno konstrukčním řešením vřetena, kde nástroj prochází ložisky s tímto vnitřním průměrem. K přenosu krouticího momentu z ohebné hřídele na nástroj, je použita spojka se stavěcími šrouby.





Obr. 45. Přímá bruska FERM FCT-160F [15]



Obr. 46. Vřeteno frézky

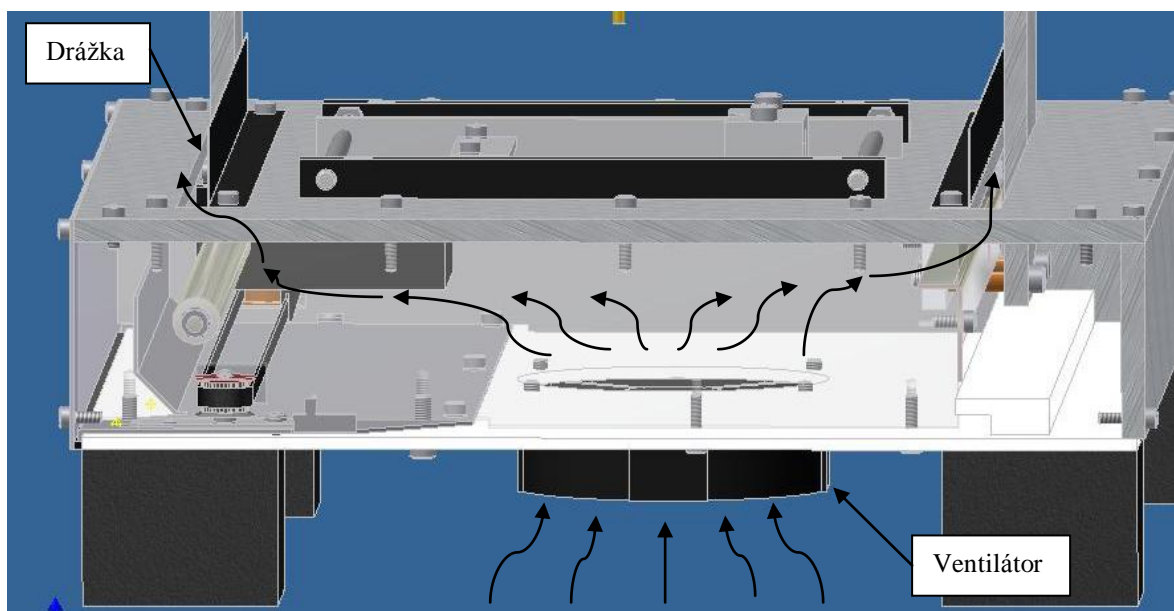
Tab. 8. Technické údaje pohonu FERM FCT-160F

Výrobce		FERM
Model		FCT-160F
Napětí	[V $\sim$ ]	230
Frekvence	[Hz]	50
Příkon	[W]	160
Otáčky, bez zatížení	[ot/min]	15000 - 35000
Lpa (hluboké zatížení)	[dB]	70
Lwa (hluboký výkon)	[dB]	83
Hodnota vibrací	[m/s <sup>2</sup> ]	1,7

## 5.6 Stůl frézky

Stůl frézky je osazen dvěma přípravky pro upínání obrobků. Menší umožňuje díky V drážce upnout i válcovitý polotovar.

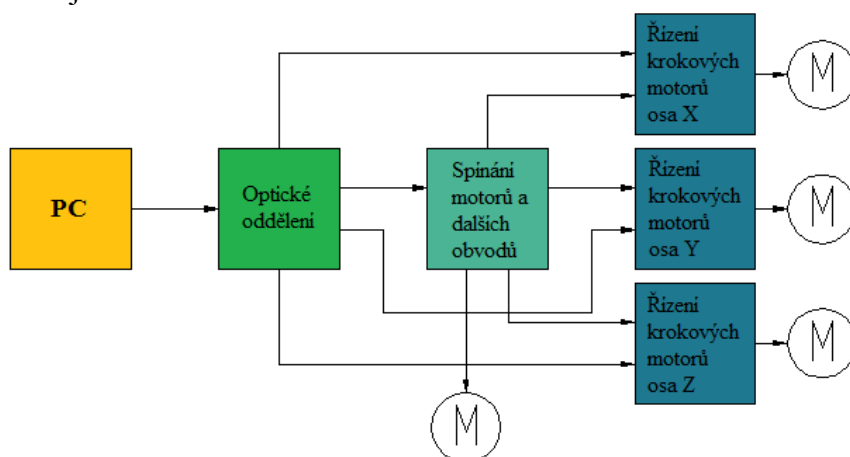
Při obráběcím procesu se vyskytl problém vnikajících třísek na vedení osy X drážkami ve stole. Třísky způsobovaly zanášení vedení a vázaly na sebe mazivo, které bylo nutné častěji doplňovat, proto byly na stůl frézky namontovány krycí lišty drážek, zachycující větší třísky. Menší třísky jsou odnášeny proudem vzduchu vytvořeným vestavěným ventilátorem v základní desce.



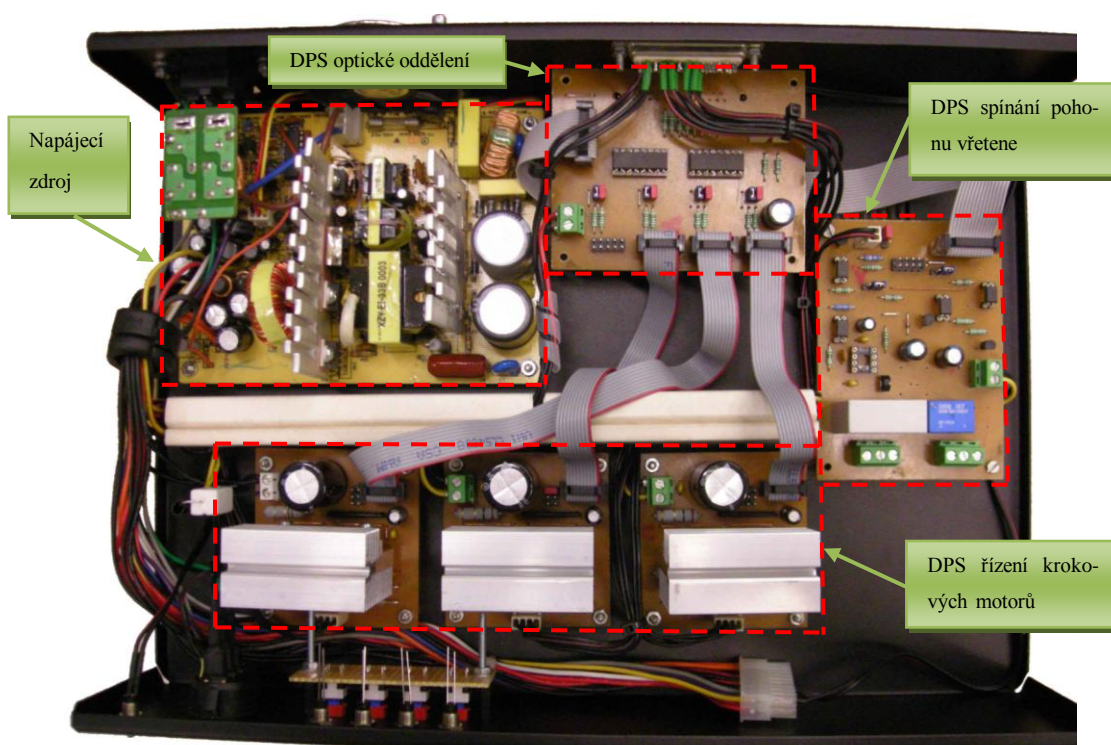
Obr. 47. Směr proudění vzduchu odnášejícího malé třísky

## 6 ŘÍDÍCÍ ELEKTRONIKA

Při návrhu řídicí elektroniky byly kladeny požadavky na flexibilitu systému. Bylo tedy rozhodnuto o použití PC s řídicí elektronikou krokových motorů. Po prostudování několika možných variant řízení krokových motorů, bylo rozhodnuto o obvodu Toshiba TA8435H a to z důvodu následujících vlastností: TA8435H je bipolární sinusoidní ovládač krokového motoru s vestavěným PWM (*Pulse Width Modulation*) generátorem, umožňující oboustranný chod s elektronickým resetem a zapnutím motoru. Obvod lze navíc řídit pomocí LPT (*Line Print Terminal*) portu PC, který využívá většina dostupných softwarů určených k řízení CNC strojů.



Obr. 48. Blokové schéma soustavy



Obr. 49. Celkové zapojení sestavy řídicí elektroniky

## 6.1 Deska řízení krokových motorů s obvodem Toshiba TA8435H

Deska vychází z katalogového zapojení obvodu TA8435H, který umožňuje řídit krokové motory v bipolárním zapojení se 4, 6 nebo 8 vývody cívek z PC. Řízení probíhá dvěma signály – *STEP* a *DIR* (*KROK* a *SMĚR*). Směr otáčení motoru se mění přivedením Log1 (*Logická jednička*), zatímco krok je řízen obdélníkovým signálem generovaným PC. Deskou lze regulovat proud motorem na 65% nebo 100%, dále nastavit kroky motoru - 1/1, 1/2, 1/4, 1/8. To v praxi u 200 krokového motoru znamená 200, 400, 800 nebo 1600 kroků na otáčku. Odporů R2 a R3 se nastavuje proud do motoru. K přivedení napětí do motoru slouží vstup *ENABLE* (viz Příloha PI), jež se aktivuje připojením Log1.



Obr. 50. Deska krokových motorů

Každý krokový motor musí mít vlastní řídicí obvod, proto je tato deska zapotřebí třikrát.

**Napájecí napětí:** max.35V = (pro motory)

5V = ze základní desky

**Proud:** max.1,5A trvale, 2,5A špičkově

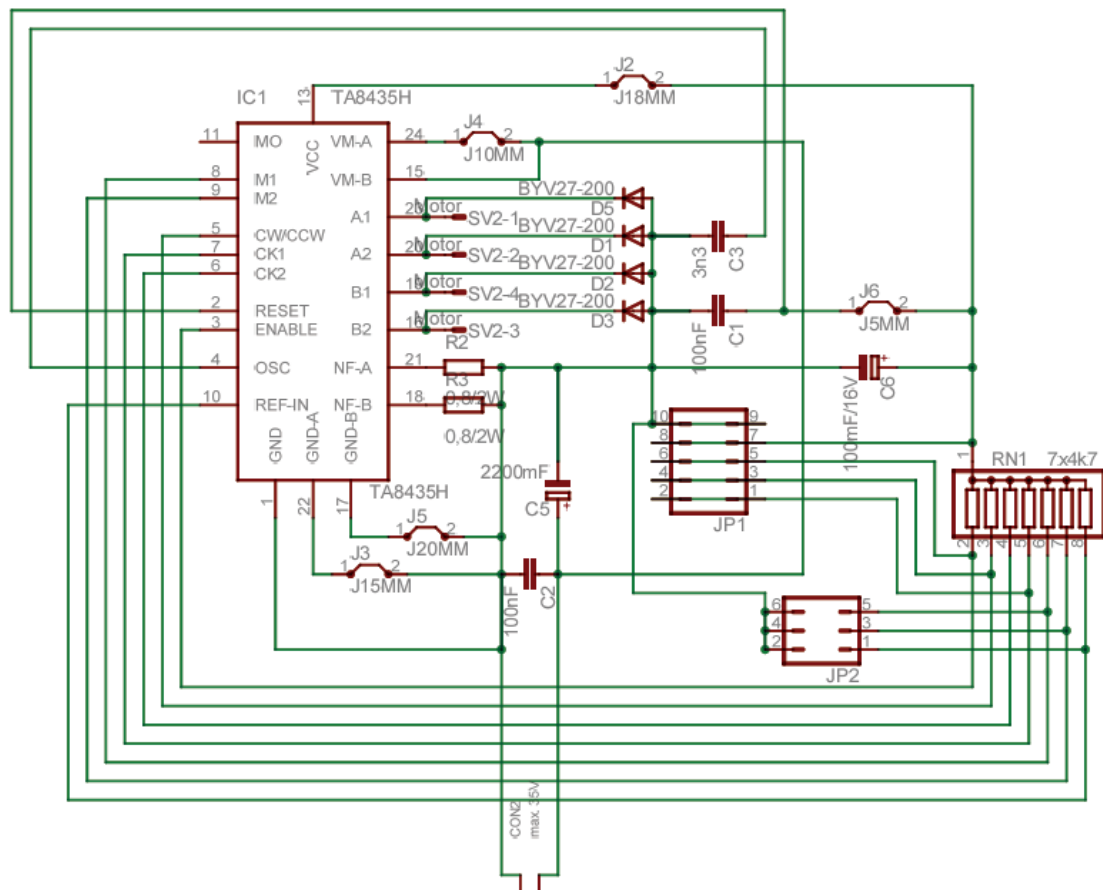
Obvod je nutné dobře chladit, proto byl zvolen chladič CHL27B/50 s dostatečným chladičím výkonem. I při nastavení 100% proudu do motoru, nepřesáhla teplota obvodu maximální dovolenou pracovní teplotu 85°C. Při překročení této teploty, by došlo k jeho znehodnocení.

ní. Pokud by docházelo k překračování kritické teploty, bylo by nutné použít dodatečné ventilátory.

Při montáži je třeba dbát na správné zapojení cívek motoru, které je udáno v manuálech. Pro kontrolu bylo provedeno měření odporu cívek a zjištění tak jejich konfigurace.

Tab. 9. Katalogové parametry maximálních hodnot obvodu TA8435H

CHARAKTERISTIKA	SYMBOL	HODNOTA	JEDNOTKY
Napájecí napětí	VCC	5,5	V
Výstupní napětí	VM	40	V
Výstupní proud	špičkový	IO (PEAK)	A
	trvalý	IO (AVE.)	
Pracovní teplota	T <sub>opr</sub>	-40~85	°C

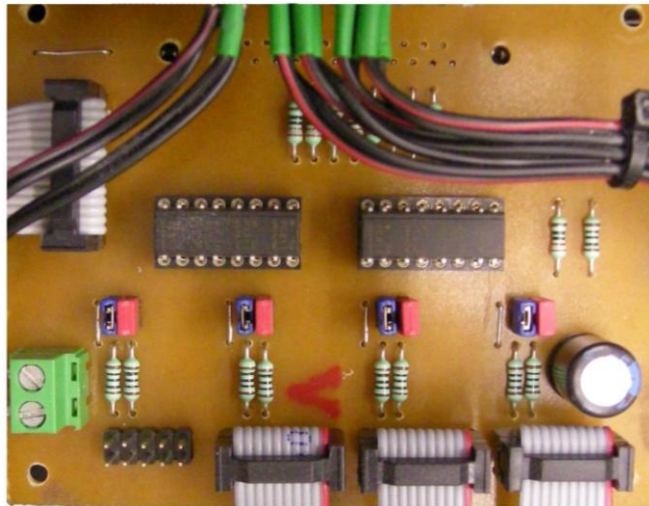


Obr. 51. Elektronické schéma desky řízení krokových motorů [12]

Seznam součástek, DPS (*Deska Plošných Spojů*) a osazení DPS viz Příloha PII.

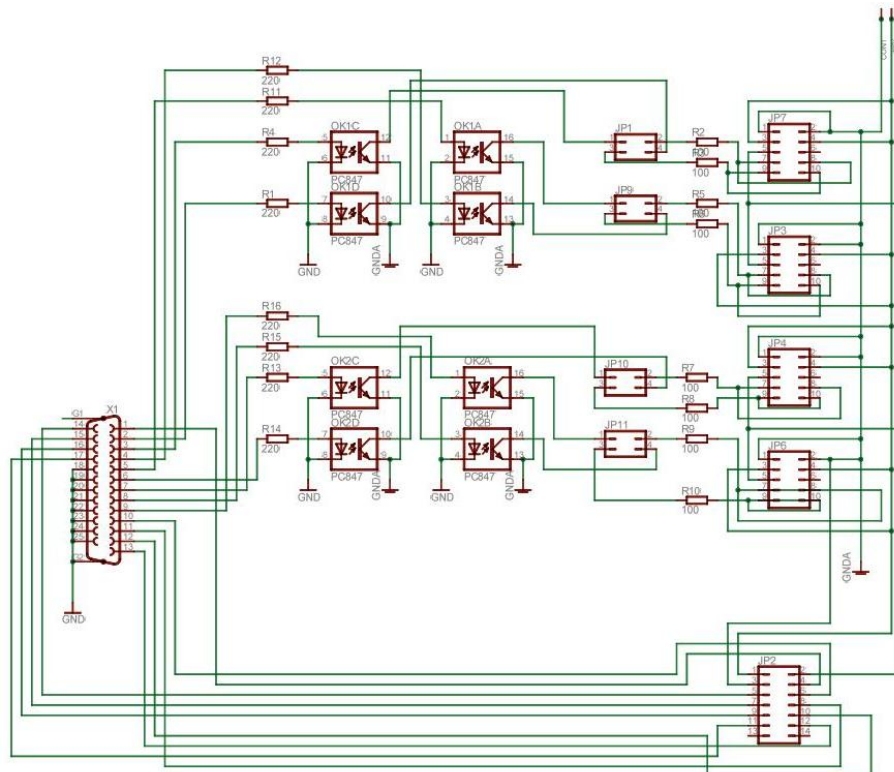
## 6.2 Vstupní deska z PC s optickým oddělením portu LPT

Deska odděluje port LPT od výkonové motorové elektroniky pomocí optočlenů. Přímé propojení bez této desky je také možné, ovšem v případě poruchy elektroniky hrozí průnik napájecího napětí motorů na LPT port PC, což by vedlo k jeho zničení. Desky jsou vzájemně propojeny plochými vodiči a konektory pro snadnou manipulaci.



Obr. 52. Vstupní deska s optickým oddělením

DPS byla navržena jako univerzální, umožňuje pomocí jumperů záměnu signálů *STEP* a *DIR*. Je to důležitá funkce pro softwary neumožňující konfiguraci pinů LPT portu.



Obr. 53. Elektronické schéma vstupní desky s optickým oddělením [13]

DPS je napájena napětím +5V, které je z této desky rozvedeno i do DPS řízení motorů a do DPS pohonu vřetene.

Seznam součástek, DPS a osazení DPS viz příloha PIII.

### 6.3 Deska spínání pohonu vřetene a dalších obvodů

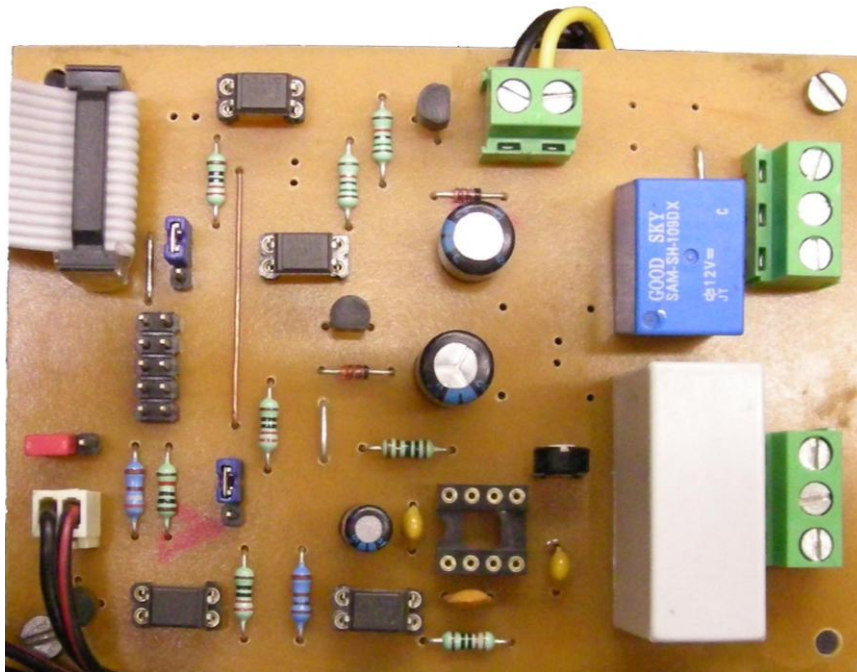
Deska je určena ke spínání jednoho nebo dvou relé pro motor vřetene a vysavač, popřípadě chlazení. Také elektronicky spíná DPS krokových motorů.

**Napájecí napětí:** 5V = ze základní desky a 12V = pro sepnutí relé

**Spínané napětí:** 230VAC; 12VDC

**Proud:** 16A/230VAC; 6A/12VDC

Spínané obvody jsou odděleny optočleny z důvodu ochrany portu LPT. Deska je osazena časovačem s obvodem NE555, který slouží ke generaci impulzů pro krokové motory. Je možno tak ovládat motory manuálně bez použití PC. Frekvenci impulzů, ovlivňující rychlost otáčení motorů, lze regulovat trimrem.



Obr. 54. Deska spínání pohonu vřetene a dalších obvodů

Seznam součástek, DPS a osazení DPS viz příloha PIV.

## 6.4 Napájecí zdroj

K napájení byl zvolen spínaný zdroj určený pro PC, které trh nabízí v širokém spektru výkonů za přijatelné ceny. Tyto zdroje navíc při detekci zkratu nebo přetížení přestanou dodávat do obvodů napětí, čímž zabrání jejich zničení. Před použitím bylo třeba provést několik technických úprav, které si vyžádala montáž do přístrojové krabičky.

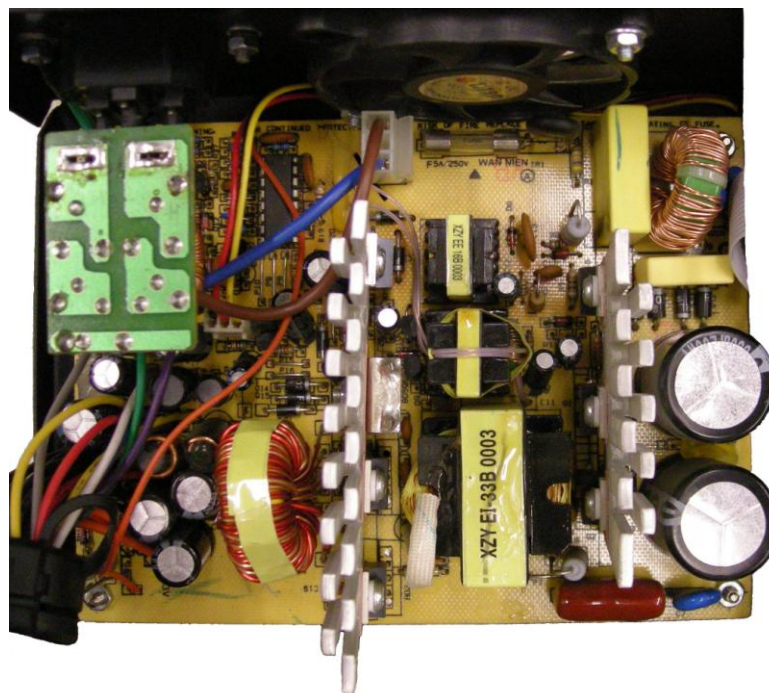
### Parametry zdroje:

**Výrobce:** Euro Case

**Model:** 200X1

Tab. 10. Tabulka parametrů zdroje

AC INPUT	200~240V AC 3,5A 50/60Hz					
DC OUTPUT	+3,3V	+5V	+12V	-5V	-12V	+5V SB
200W	12A	20A	6A	0,5A	0,5A	1A
	120W max.					



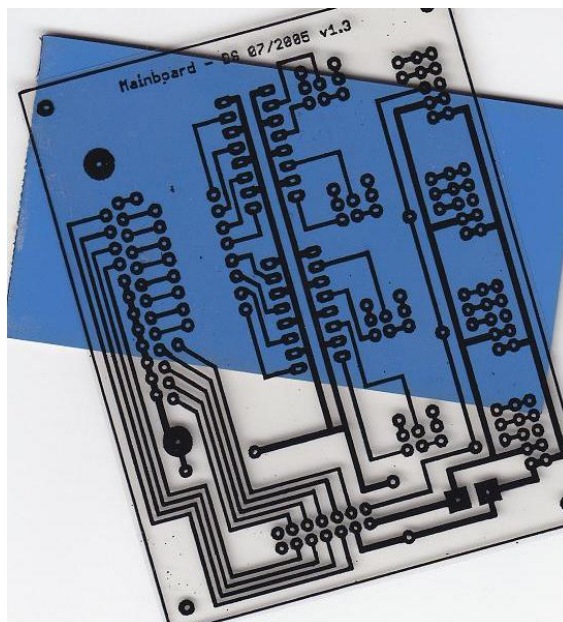
Obr. 55. Napájecí zdroj



## 7 VÝROBA DESEK PLOŠNÝCH SPOJŮ

Desky plošných spojů byly vyrobeny fotocestou. Tato metoda je technicky náročnější nežli ruční kresba nebo nažehlení obrazce plošných spojů, výsledek je ale o to kvalitnější i v domácích podmínkách.

Prvním krokem bylo vytvoření obrazce plošných spojů na materiál umožňující projekci obrazce na DPS. Nejvýhodněji se pro tento účel jevila průhledná tiskařská fólie. Při tisku inkoustovou tiskárnou inkoust nezaschl a manipulací došlo k jeho rozmazání. Byla proto zvolena laserová tiskárna, která ale vyžaduje tlustší fólie, jež se při kontaktu s tiskacím válcem tiskárny tepelně nedeformuje. Průsvitná místa nalezená při kontrole obrazců, byla opravena lihovým fixem.



Obr. 56. Vytištěný obrazec plošného spoje

Tato metoda vyžaduje desku plošných spojů s pozitivní fotocitlivou vrstvou. Příprava desky k osvětlení spočívala v sejmutí ochranné fólie a přiložení vytištěného obrazce tištěnou stranou k desce. Obrazec bylo třeba zafixovat proti pohybu.

Následovalo osvětlení desky UV světlem. Zdrojem tohoto světla bylo horské slunce s dvěma UV lampami. Dříve nežli mohla být zahájena výroba, bylo potřeba nalézt optimální čas nasvícení, který byl stanoven na 5 minut. Při delší době se po vyvolání lak rozpustil i na místech spojů, což vedlo k jejich poleptání a znehodnocení, naopak při menší době lak zůstal na nechtěných místech.

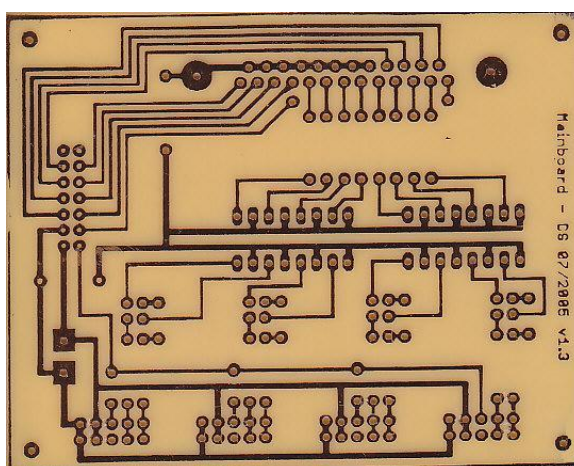


Obr. 57. Horské slunce, vývojka, leptací roztok

K vyvolání desek plošných spojů byla použita vývojka pro pozitivní fotoemulzi s 1,5% obsahem hydroxidu sodného, která byla před vlastním použitím ještě zředěna destilovanou vodou v poměru 1:1.

Pro vyleptání desky plošných spojů byl použit vodný roztok chloridu železitého, který byl pro urychlení chemické reakce před použitím zahřán na 50°C. Doba vyleptání obrazce závisela na velikosti desky plošného spoje a pohybovala se v rozmezí 15 až 30 minut.

Po vyleptání bylo třeba důkladně očistit leptadlo z desky vodou a vyvrtat otvory. Pro malé elektronické součástky jsou to o  $\varnothing$  1mm, pro větší součástky  $\varnothing$  1,5mm a pro distanční sloupky  $\varnothing$  3mm. Závěrečná operace spočívá v kontrole desek, při níž byly skalpelem opraveny všechny zkratované spoje způsobené nedokonalým odleptáním mědi.

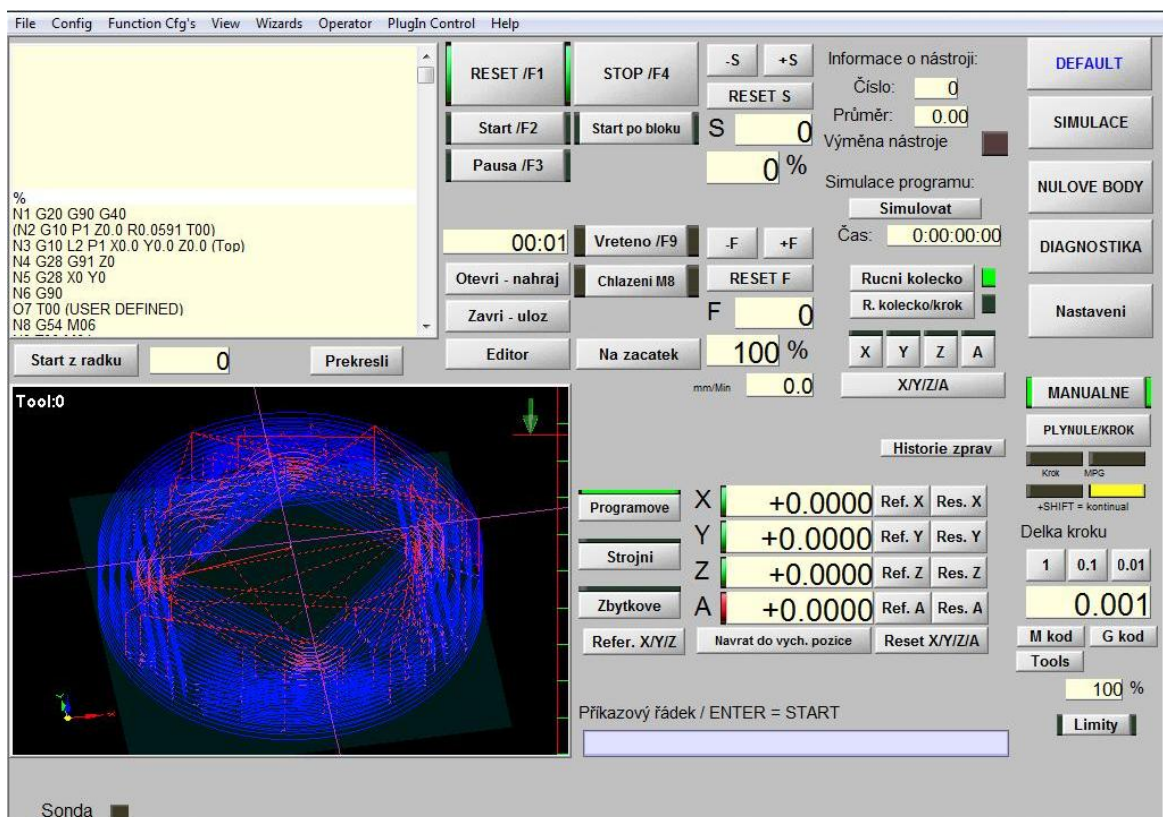


Obr. 58. Hotová deska plošných spojů

## 8 MACH3 CNC CONTROLLER

Pro řízení CNC frézy byl zvolen software Mach3, vytvořený firmou ArtSoft USA pracujícím se standardním ISO kódem. Software splňoval požadovaná kritéria jako možnost konfigurace pinů LPT portu PC, přes který probíhá komunikace s řídicí elektronikou. Jde o 20 výstupních a 20 vstupních pinů. Systém řízení krokových motoru STEP/DIR s možností řízení až 6ti osého stroje. Dále umožňuje programové vymezení vůle v uloženíh posuvů. K dispozici jsou i funkce jako ovládání vřetena, chlazení, odsávání, nastavení limitů posuvů včetně referenčního bodu.

Z ekonomických důvodů byl program využíván v demo verzi. V této verzi je program omezen na maximální frekvenci impulsního generátoru 25000Hz, což s použitými krokovými motory, jenž při vyšších frekvencích ztrácí výkon a kroky, nijak neomezuje práci. Ta je omezena maximálním počtem řádků CNC programu, který tak bylo potřeba rozdělit na několik částí po 500 příkazových větách, jež byly postupně během obráběcího procesu nahrávány.



Obr. 59. Grafické prostředí Machu3

## 8.1 Nastavení Mach3

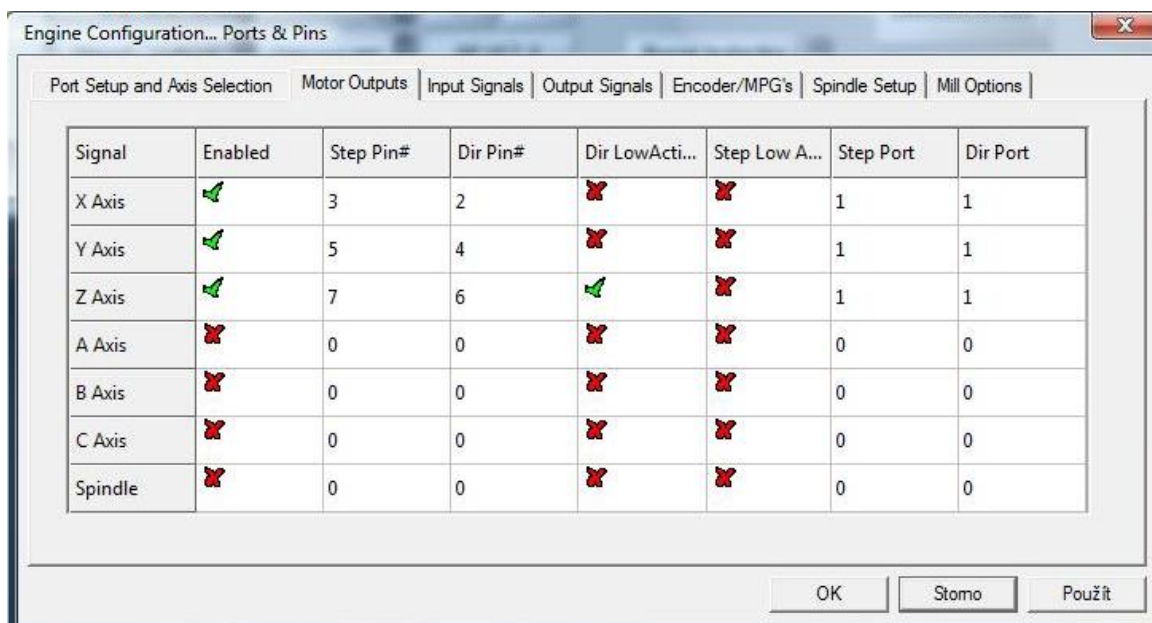
Pro správnou funkci Softwaru Mach3 je třeba provést konfiguraci pinů LPT portu dle nastavení řídicí elektroniky. Do základního nastavení dále spadá konfigurace parametrů krokových motorů a kompenzace vůlí v mechanice posuvů. Tato nejdůležitější nastavení parametrů se provádí v záložce *Config*.

### Nastavení jednotek pro nastavení motorů:

Tabulku se nachází v záložce *Select native units*. Jde o nastavení jednotek, ve kterých bude probíhat nastavení motorů, v tomto případě mm.

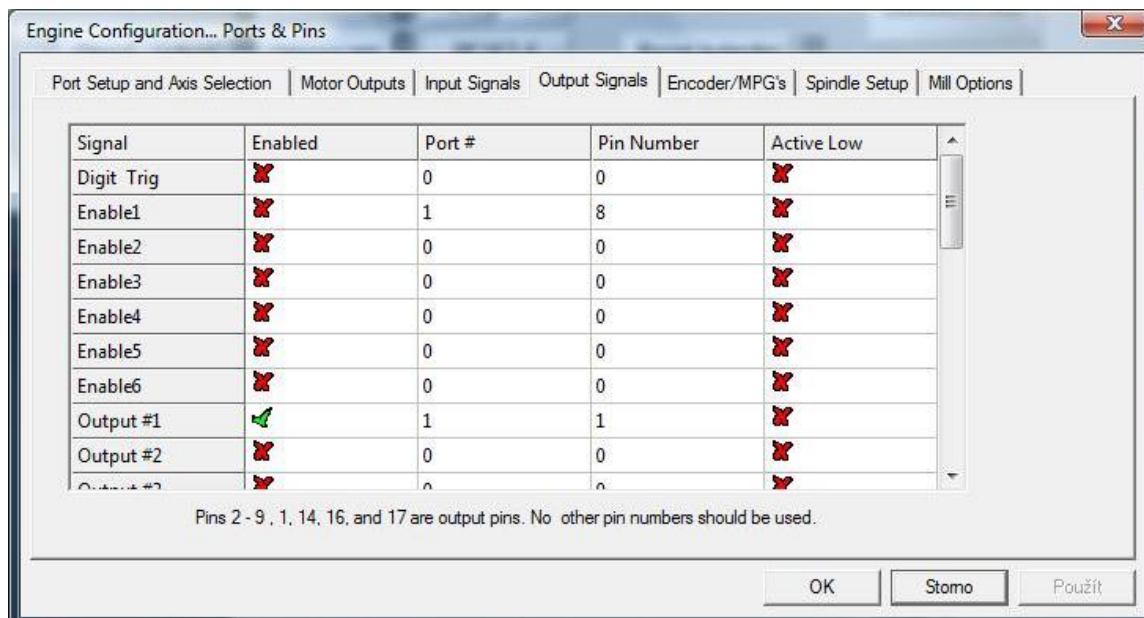
### Nastavení pinů portu LPT:

Všechna nastavení pinů LPT portu korespondují s nastavením pinů řídicí elektroniky. Záložku nalezneme pod názvem *Ports and Pins*. Po rozevření je nabízeno několik dalších záložek. Pro základní nastavení softwaru jsou důležité Motor Outputs a Output Signals. V Motor Outputs jsou přiřazeny piny LPT portu krokovým motorům. Motory vyžadují k řízení přiřazení dvou pinů, STEP a DIR, neboli KROK a SMĚR OTÁČENÍ. Funkce Enabled aktivuje softwarové použití zvolené osy. Dir Low Active umožňuje změnu směru otáčení motoru.



Obr. 60. Nastavení STEP/DIR pinů krokových motorů

V záložce Output Signals je třeba povolit signál Output #1, jenž je přiřazen relátku na desce plošných spojů spínání frézovacích motorů a dalších obvodů, s adresou pinu č. 1 spadajícího pod port č. 1.



Obr. 61. Nastavení výstupu pro řízení relé

### Nastavení krokových motorů

Záložkou *Motor Tuning* jsou konfigurovány parametry a chování krokových motorů. pravá část tabulky slouží k výběru osy, respektive krokového motoru příslušné osy, zvolené ke konfiguraci. Hodnoty *Steps per* automaticky generuje funkce *Axis Calibration* v módu *Nastavení*, která pracuje na základě porovnání zadané hodnoty, jež má urazit posuv s hodnotou, kterou posuv ve skutečnosti urazil.

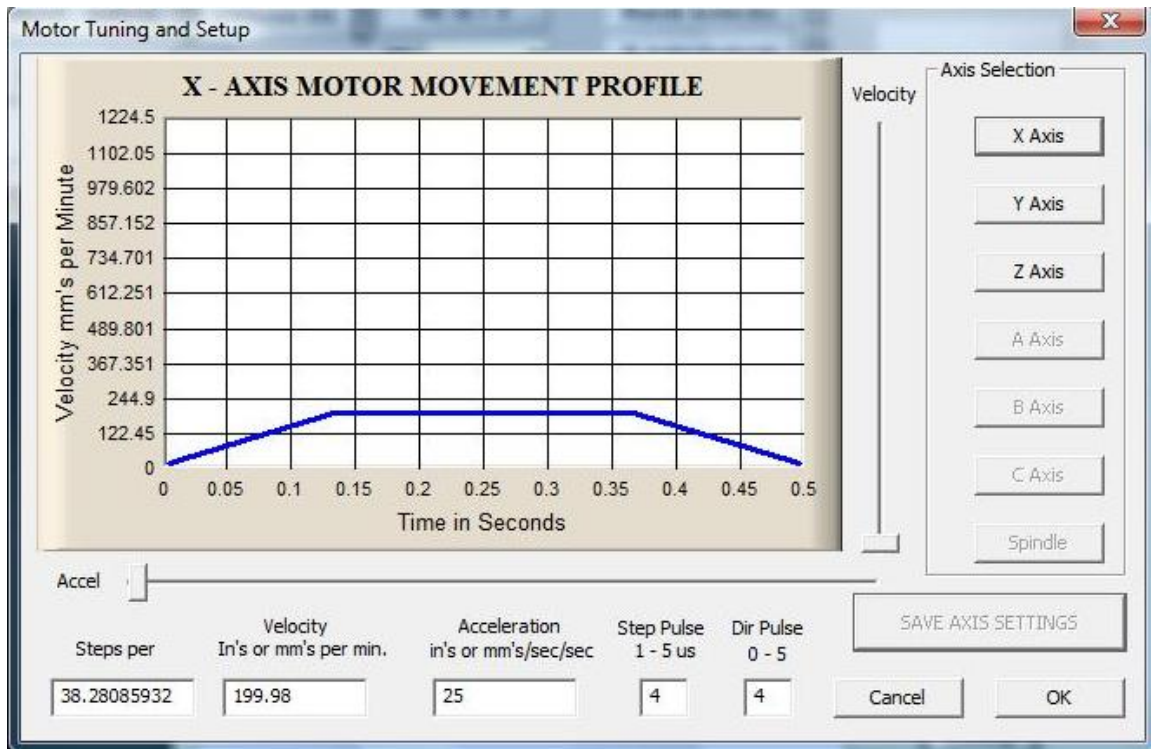
**Steps per** ..... počet kroků potřebných k ujetí 1mm

**Velocity** ..... maximální posuv v mm/min

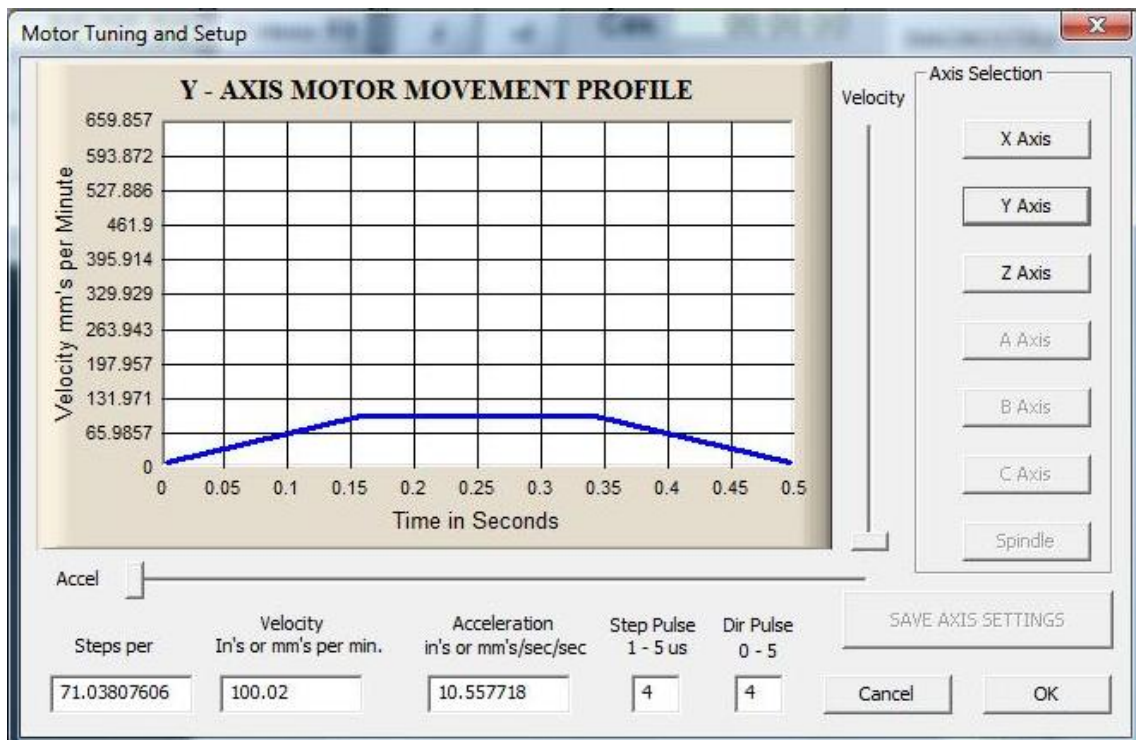
**Acceleration** ..... akcelerace v mm/s<sup>2</sup>

**Step Pulse** ..... délka STEP impulsu v mikrosekundách

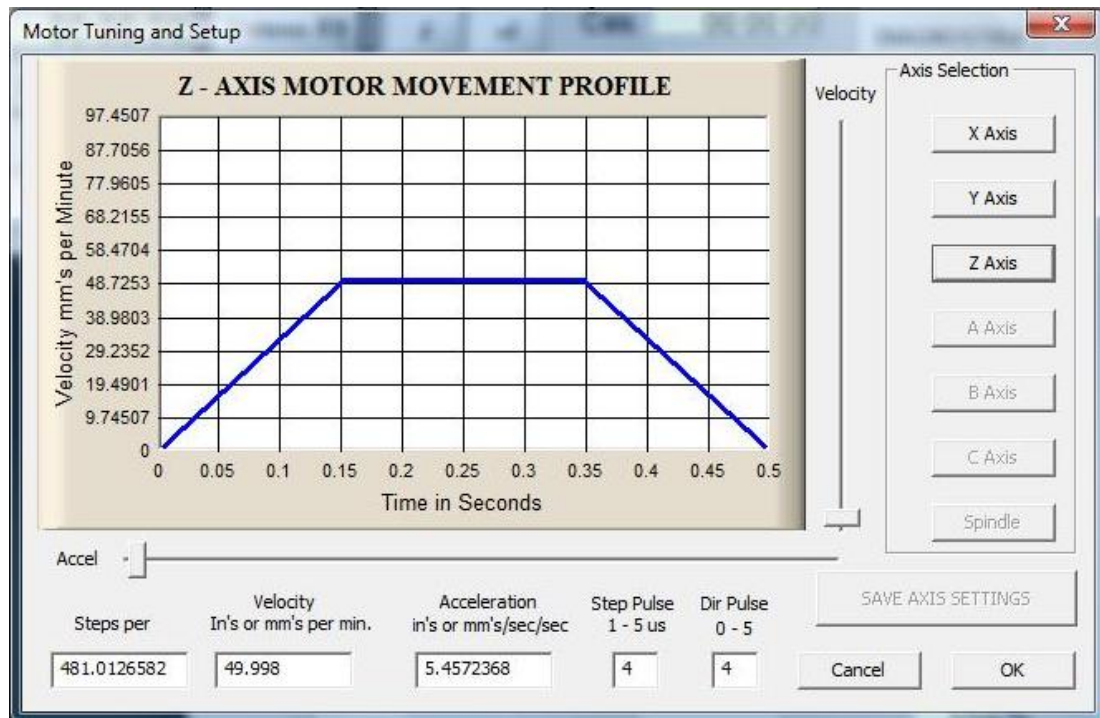
**Dir Pulse** ..... délka DIR impulsu v mikrosekundách



Obr. 62. Nastavení krokového motoru osy X



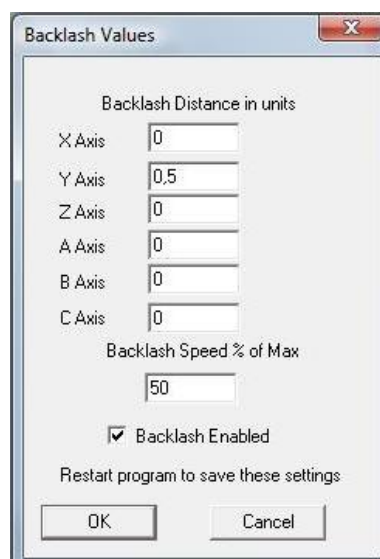
Obr. 63. Nastavení krokového motoru osy Y



Obr. 64. Nastavení krokového motoru osy Z

### Nastavení vůle v mechanice

Funkci Backlash lze korigovat vůle v mechanice posuvů. Toho bylo využito u Y osy, kde se na vzniku vůle podílelo nedosedání ozubených kol převodovky s propínáním ozuběného řemene. Měřením byla stanovena na 0,5mm. Backlash speed udává rychlost vymezování vůle v % k maximální rychlosti motoru. Zatržením řádku Backlash Enabled je provedena aktivace.



Obr. 65. Vymezení vůle

## 9 ZPROVOZNĚNÍ A LADĚNÍ

Po dokončení řídicí elektroniky a konstrukce frézky začalo jejich ověřování. Nejprve bylo třeba nakonfigurovat software Mach3 tak, aby piny LPT portu PC odpovídaly nastavení řídicí elektroniky. Následovala konfigurace krokových motorů. Po dokončení těchto kroků, byla namísto vřetena upnuta tužka a ověřena správnost konfigurace sestavy kreslením tvarů určených pro frézování. Paralelně s ověřováním probíhalo doladování konfigurace krokových motorů.

Po doladění konfigurace krokových motorů bylo upnuto vřeteno spolu s 4břitou frézou o  $\varnothing$  3mm pro otestování frézky v pracovním zatížení při obrábění PMMA. Při úběru třísky nad 1mm, začal krokový motor osy X ztrácet kroky (rotor motoru se neotáčel i když do něj byly posílány řídicí impulzy). Problém byl odstraněn přenastavením DPS řízení krokových motorů osy X ze základních 65% na 100% proudu tekoucího motorem, čímž bylo dosaženo navýšení krouticího momentu krokového motoru.

Při delším testování se ukázala znepokojující vůle Y vedení mezi kluznými ložisky a vodící hřídeli. Bylo rozhodnuto o dodatečné montáži vodících prvků na tuto hřídel, díky kterým se vůle zmenšila na přijatelnou hodnotu.

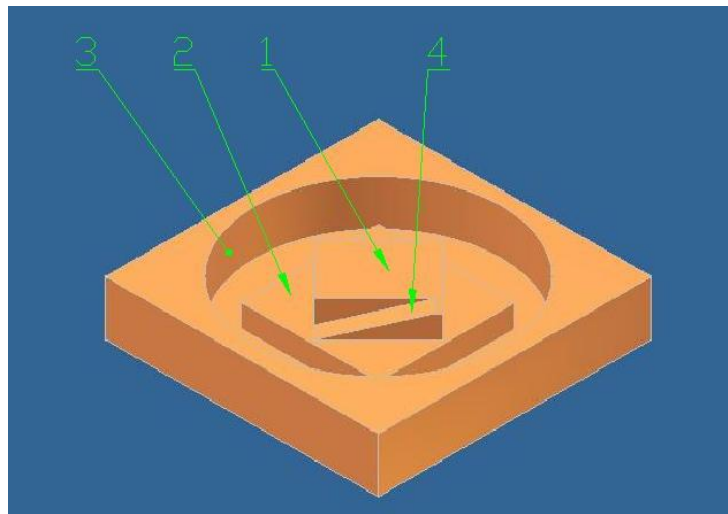
Při obráběcím procesu se vyskytl problém vnikajících třísek na vedení osy X drážkami ve stole. Třísky způsobovaly zanášení vedení a vázaly na sebe mazivo, které bylo nutné častěji doplňovat, proto byly na stůl frézky namontovány krycí lišty drážek, zachycující větší třísky. Menší třísky jsou odnášeny proudem vzduchu vytvořeným vestavěným ventilátorem v základní desce.

Po vyladění zmíněných problémů vše fungovalo a bylo přistoupeno k výrobě zkušebních vzorků.



## 10 OVĚŘENÍ FUNKČNOSTI NAVRŽENÉHO ZAŘÍZENÍ

Funkčnost zkonstruované CNC frézky byla ověřena na zkušebních vzorcích, které byly navrženy tak, aby bylo možno srovnat činnost frézky v jednotlivých osách (Obr. 66), přičemž jsou porovnávány naprogramované rozměry s rozměry vyrobených vzorků. Zkušební vzorek můžeme z hlediska spolupráce jednotlivých os rozdělit na čtyři části. V první a třetí části spolupracují osy X-Y, v druhé části pracují osy X a Y samostatně. Čtvrtá část prověřuje všechny tři osy.

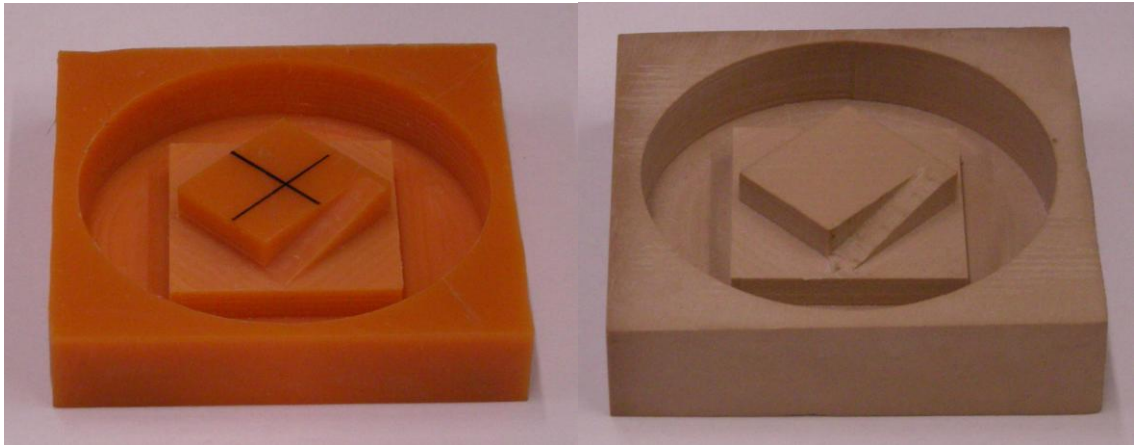


Obr. 66. Zkušební vzorek

Zkušební vzorky měly být původně vyrobeny z PA (*Polyamid*), ovšem při obrábění se projevila nízká tuhost stroje, díky které měl obrobený povrch velmi špatnou kvalitu. Navíc špatně tvořící se třísky způsobovaly značné zahřívání frézy, které vedlo k přitavení třísek na okraj drážky po fríze. Tento materiál byl tedy zavrhnut a místo něj byl použit PVC spolu s Necuronem 651. S těmito materiály nenastaly při obrábění žádné problémy.



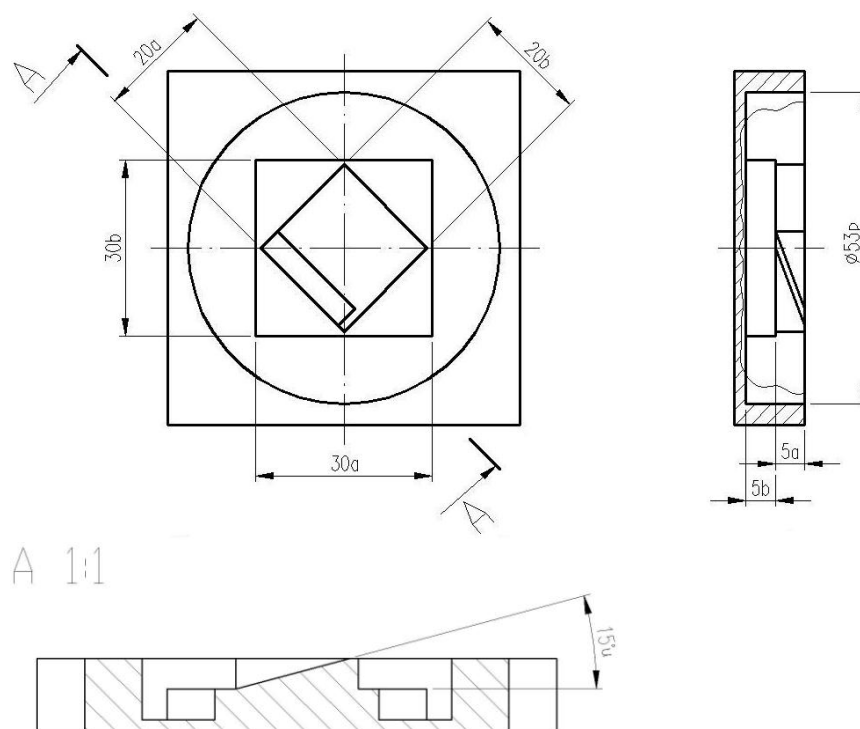
Obr. 67. PA



Obr. 68. Vlevo PVC, vpravo Necuron 651

Všechny zkušební vzorky byly vyrobeny při stejných řezných rychlostech, kde rychlost posuvů byla 0,07m/min a otáčky vřetene 15 000ot./min, 4břitou frézou o  $\varnothing$  3mm.

CNC program zkušebního vzorku byl vytvořen v CAD/CAM softwaru EdgeCAM. Polo-tovar má tvar kvádrů s podstavou čtverce o stranách délky 60mm. Ve středu je kruhová díra do hloubky 10mm, uvnitř které se nachází větší kvádr o délce stran 30mm a výšce 5mm. Na tomto kvádru je další kvádr o délce stran 20mm a výšce 5mm, jenž je pootočen oproti většímu kvádru o  $90^\circ$ . Část tohoto kvádrů navíc obsahuje šikmou plochu o šířce 4mm pod úhlem  $15^\circ$ . Měřené rozměry jsou zakótovány na následujícím schématu.



Obr. 69. Schéma zkušebního vzorku

## 10.1 Naměřené hodnoty

Tab. 11. Použitá měřicí zařízení

Název	Označení (výrobce)	Rozsah měření	Rozlišitelnost	Měřené rozměry
Výškoměr	Mitutoyo 192-663-10	0-300 mm	0,01 mm	5a, 5b
Posuvné měřítko	JOBI profi G06006312	0-150 mm	0,01 mm	20a, 20b, 30a, 30b, Ø53p
Optický úhломěr	Somet A1-018	0°-90°	10'	15°u

### Podmínky měření:

- teplota: 22°C
- tlak: 1030hPa
- vlhkost: 66%

### Standardní nejistota typu A:

Jedná se o základní kvantitativní charakteristiku nejistoty měření. Označuje se symbolem  $u_A$  (z anglického uncertainty). Tato nejistota odpovídá v podstatě náhodným chybám dle klasického přístupu. Jejich příčiny se považují za neznámé a hodnota nejistoty typu A klesá s počtem měření. Proto se požaduje minimálně 5 - 10 měření. Je vyhodnocena pomocí statistických metod a je charakterizována standardní odchylkou aritmetického průměru.

### Výpočet nejistoty $u_A$ :

a) Aritmetický průměr

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n x_i \quad (3)$$

$\bar{x}$  - aritmetický průměr je statistická veličina, která v jistém smyslu vyjadřuje typickou hodnotu popisující soubor mnoha hodnot.

$x_i$  - *i*tá hodnota

$n$  - celkový počet hodnot

b) Směrodatná odchylka

$$s_o = \sqrt{\frac{1}{n-1} \cdot \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (4)$$

$s_o$  - směrodatná odchylka je kvadratický průměr odchylek hodnot znaku od jejich aritmetického průměru.

c) Nejistota typu A

$$k_{uA} \leq 10 = 1 \quad (5)$$

$$u_A = k_{uA} \cdot \sqrt{\frac{s^2}{n}} \quad (6)$$

$k_{uA}$  - koeficient nejistoty typu A, závislý na počtu zkoumaných hodnot

Výpočty byly provedeny v softwaru Microsoft Excel.

Tab. 12. Naměřené rozměry zkušebních vzorků

Vzorek č.1									
Měření č.:	Rozměr 20a	Rozměr 20b	Rozměr 30a	Rozměr 30b	Rozměr 5a	Rozměr 5b	Úhel 15°u	Rozměr Ø53p	
1	19,86	20,02	29,90	30,02	5,06	5,01	14°30'	53,97	53,92
2	19,81	20,04	29,88	30,04	5,02	4,98	14°26'	53,99	53,98
3	19,85	20,01	29,92	30,01	5,03	4,99	14°28'	53,90	54,06
4	19,84	19,99	29,90	30,02	5,04	5,01	14°30'	53,73	53,97
5	19,85	20,01	29,91	30,01	5,02	5,02	14°29'	53,88	53,93
<b>Průměr</b>	19,84	20,01	29,90	30,02	5,03	5,00	14°28'	53,89	
<b>Nejistota typu A</b>	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0°01'	0,03	
Vzorek č.2									
Měření č.:	Rozměr 20a	Rozměr 20b	Rozměr 30a	Rozměr 30b	Rozměr 5a	Rozměr 5b	Úhel 15°u	Rozměr Ø53p	
1	19,83	20,05	29,97	30,05	5,08	5,04	14°31'	53,62	53,41
2	19,81	20,03	29,98	30,06	5,07	5,00	14°28'	53,89	53,70
3	19,83	20,05	30,00	30,03	5,05	5,02	14°30'	53,45	53,63
4	19,79	20,06	29,98	30,05	5,05	5,04	14°29'	53,71	53,76
5	19,77	20,06	29,98	30,06	5,07	5,03	14°30'	53,62	53,83
<b>Průměr</b>	19,81	20,05	29,98	30,05	5,06	5,03	14°29'	53,66	
<b>Nejistota typu A</b>	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0°01'	0,05	
Vzorek č.3									
Měření č.:	Rozměr 20a	Rozměr 20b	Rozměr 30a	Rozměr 30b	Rozměr 5a	Rozměr 5b	Úhel 15°u	Rozměr Ø53p	
1	19,82	20,02	29,91	29,99	5,05	5,03	14°29'	53,71	53,88
2	19,81	19,98	29,91	30,00	5,06	5,02	14°30'	53,63	53,90
3	19,83	20,01	29,90	29,99	5,08	4,97	14°25'	53,89	53,75
4	19,80	19,99	29,91	29,99	5,08	4,95	14°28'	53,79	53,72
5	19,79	20,02	29,90	30,00	5,05	5,01	14°27'	53,77	53,87
<b>Průměr</b>	19,81	20,00	29,91	29,99	5,06	5,00	14°27'	53,76	
<b>Nejistota typu A</b>	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0°01'	0,03	

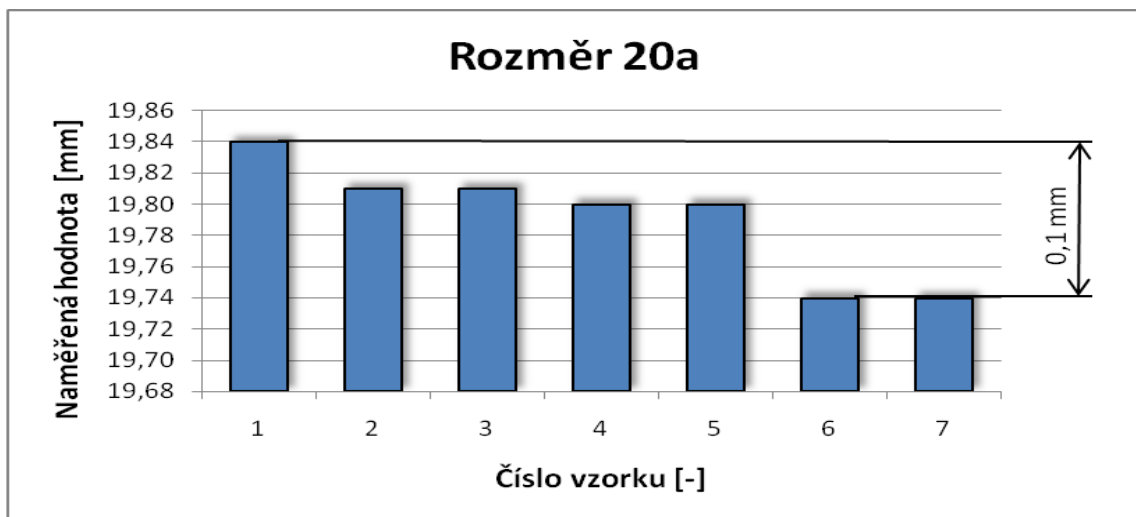
Vzorek č.4									
Měření č.:	Rozměr 20a	Rozměr 20b	Rozměr 30a	Rozměr 30b	Rozměr 5a	Rozměr 5b	Úhel 15°u	Rozměr Ø53p	
1	19,85	20,04	29,88	30,02	5,07	5,03	14°30'	53,72	53,80
2	19,79	20,03	29,89	30,04	5,05	4,99	14°30'	53,77	53,82
3	19,80	20,02	29,87	30,02	5,05	5,04	14°32'	53,73	53,87
4	19,78	20,08	29,88	30,04	5,07	5,02	14°30'	53,88	53,91
5	19,79	20,06	29,88	30,05	5,07	5,03	14°29'	53,90	53,83
<b>Průměr</b>	19,80	20,05	29,88	30,03	5,06	5,02	14°30'	53,80	
<b>Nejistota typu A</b>	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0°01'	0,02	
Vzorek č.5									
Měření č.:	Rozměr 20a	Rozměr 20b	Rozměr 30a	Rozměr 30b	Rozměr 5a	Rozměr 5b	Úhel 15°u	Rozměr Ø53p	
1	19,80	20,05	29,88	30,01	4,97	5,06	14°32'	53,66	53,68
2	19,83	20,01	29,85	29,99	5,00	5,04	14°29'	53,83	53,79
3	19,76	20,04	29,88	30,00	5,02	5,06	14°33'	53,57	53,90
4	19,80	20,06	29,86	30,01	5,02	5,07	14°31'	53,78	53,84
5	19,82	20,07	29,87	30,00	4,99	5,06	14°30'	53,72	53,81
<b>Průměr</b>	19,80	20,05	29,87	30,00	5,00	5,06	14°31'	53,71	
<b>Nejistota typu A</b>	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0°01'	0,03	
Vzorek č.6									
Měření č.:	Rozměr 20a	Rozměr 20b	Rozměr 30a	Rozměr 30b	Rozměr 5a	Rozměr 5b	Úhel 15°u	Rozměr Ø53p	
1	19,76	19,98	29,82	30,01	5,07	4,97	14°38'	53,84	53,91
2	19,74	20,01	29,83	30,01	5,10	5,01	14°37'	53,87	53,88
3	19,75	20,01	29,84	30,02	5,11	4,98	14°39'	53,85	53,92
4	19,71	19,99	29,82	30,00	5,08	4,98	14°35'	53,95	53,76
5	19,72	20,02	29,83	30,01	5,07	4,98	14°38'	53,97	53,84
<b>Průměr</b>	19,74	20,00	29,83	30,01	5,09	4,98	14°37'	53,90	
<b>Nejistota typu A</b>	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0°01'	0,02	
Vzorek č.7									
Měření č.:	Rozměr 20a	Rozměr 20b	Rozměr 30a	Rozměr 30b	Rozměr 5a	Rozměr 5b	Úhel 15°u	Rozměr Ø53p	
1	19,74	20,01	29,85	29,99	5,00	4,96	14°39'	53,92	53,83
2	19,73	20,00	29,86	30,00	5,10	4,97	14°39'	53,91	53,95
3	19,74	20,01	29,84	30,00	5,09	5,03	14°38'	53,93	53,90
4	19,73	20,02	29,86	30,01	5,00	5,03	14°40'	53,82	53,93
5	19,75	20,00	29,85	29,99	5,01	4,97	14°40'	53,72	53,87
<b>Průměr</b>	19,74	20,01	29,85	30,00	5,04	4,99	14°39'	53,86	
<b>Nejistota typu A</b>	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0°01'	0,02	

Pro zaručení opakovatelnosti (výsledků měření – těsnosti shody mezi výsledky po sobě následujících měření téže měřené veličiny, provedených za stejných podmínek měření) byly pro měření použity pouze zkušební vzorky z PVC. Podmínky opakovatelnosti: tentýž postup měření, tentýž pozorovatel, tentýž měřicí přístroj, totéž místo, opakování v průběhu krátké časové periody.

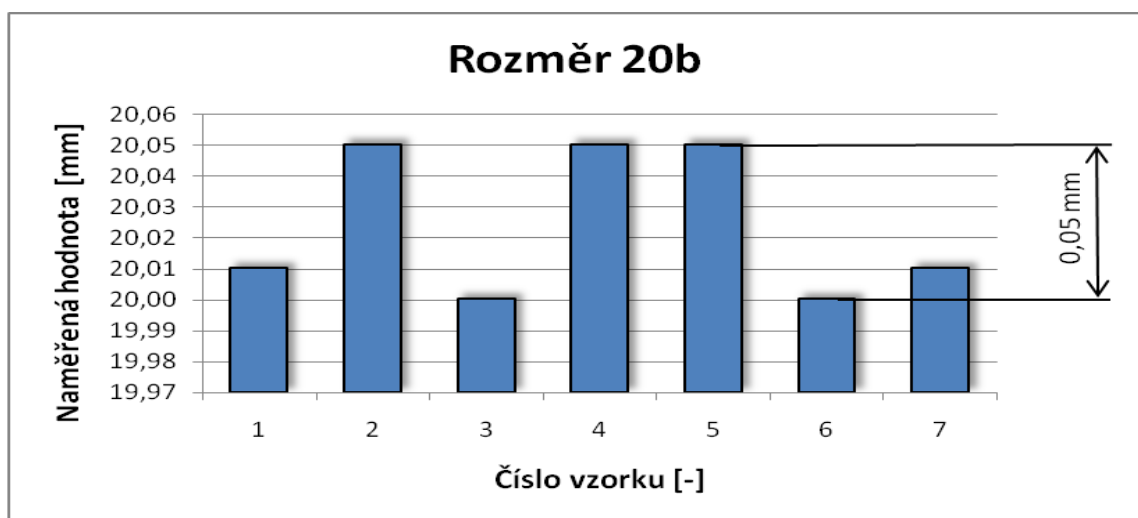
Tab. 13. Souhrn průměrných hodnot rozměrů všech zkoušených vzorků

Vzorek č.:	Programová hodnota 20 mm		Programová hodnota 30 mm		Programová hodnota 5 mm		Programová hod. 15°	Programová hod. Ø53 mm
	Rozměr 20a [mm]	Rozměr 20b [mm]	Rozměr 30a [mm]	Rozměr 30b [mm]	Rozměr 5a [mm]	Rozměr 5b [mm]	Úhel 15°u [°]	Rozměr Ø53p [mm]
1	19,84±0,01	20,01±0,01	29,90±0,01	30,02±0,01	5,03±0,01	5,00±0,01	14°28'±0°01'	53,89±0,03
2	19,81±0,01	20,05±0,01	29,98±0,01	30,05±0,01	5,06±0,01	5,03±0,01	14°29'±0°01'	53,66±0,05
3	19,81±0,01	20,00±0,01	29,91±0,01	29,99±0,01	5,06±0,01	5,00±0,02	14°27'±0°01'	53,76±0,03
4	19,80±0,01	20,05±0,01	29,88±0,01	30,03±0,01	5,06±0,01	5,02±0,01	14°30'±0°01'	53,80±0,02
5	19,80±0,01	20,05±0,01	29,87±0,01	30,00±0,01	5,00±0,01	5,06±0,01	14°31'±0°01'	53,71±0,03
6	19,74±0,01	20,00±0,01	29,83±0,01	30,01±0,01	5,09±0,01	4,98±0,01	14°37'±0°01'	53,90±0,02
7	19,74±0,01	20,01±0,01	29,85±0,01	30,00±0,01	5,04±0,02	4,99±0,02	14°39'±0°01'	53,86±0,02
<b>Variační Rozpětí</b>	0,10	0,05	0,15	0,06	0,09	0,08	0°12'	0,24

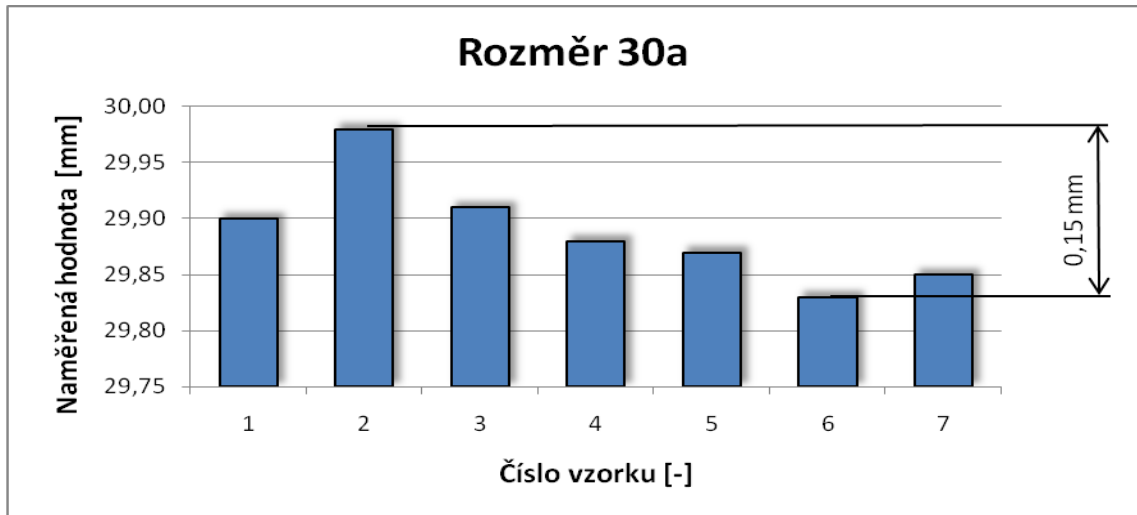
## Grafické znázornění



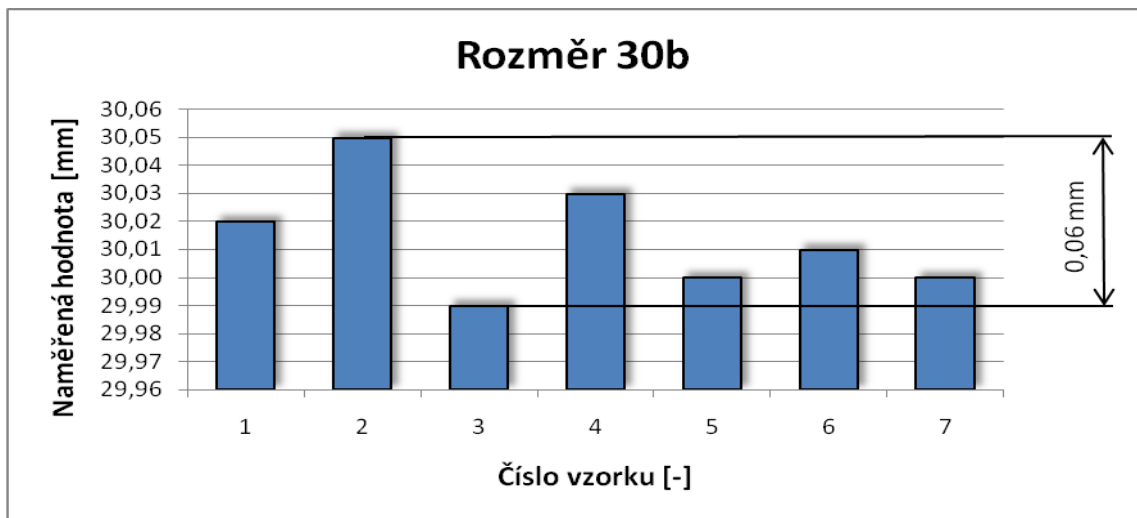
Obr. 70. Porovnání naměřených hodnot rozměru 20a



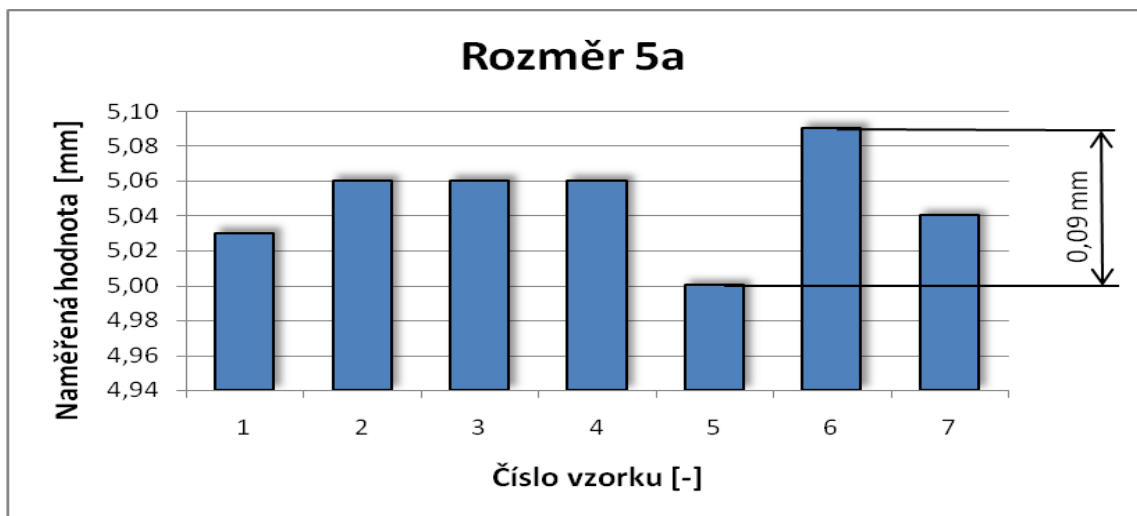
Obr. 71. Porovnání naměřených hodnot rozměru 20b



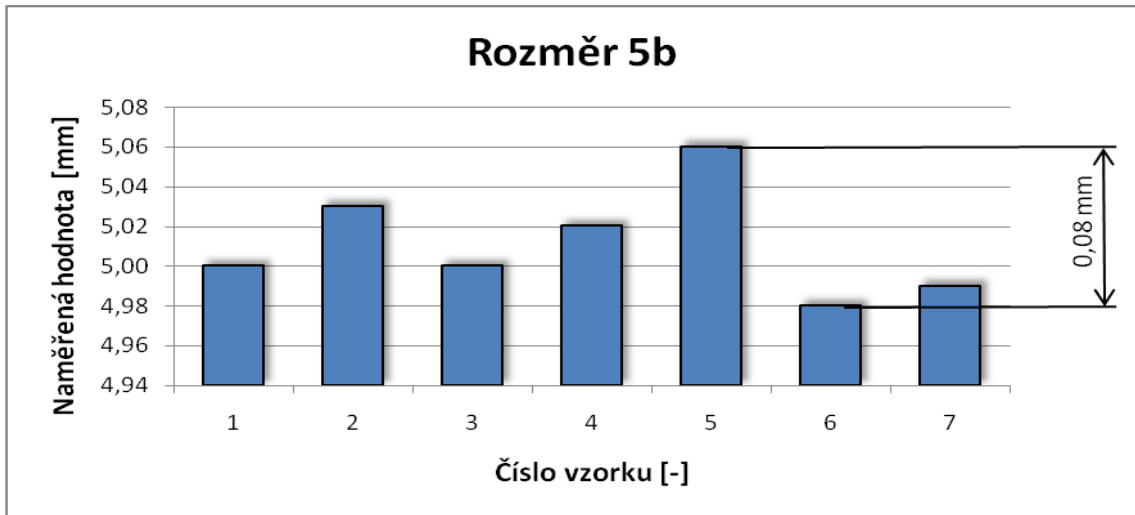
Obr. 72. Porovnání naměřených hodnot rozměru 30a



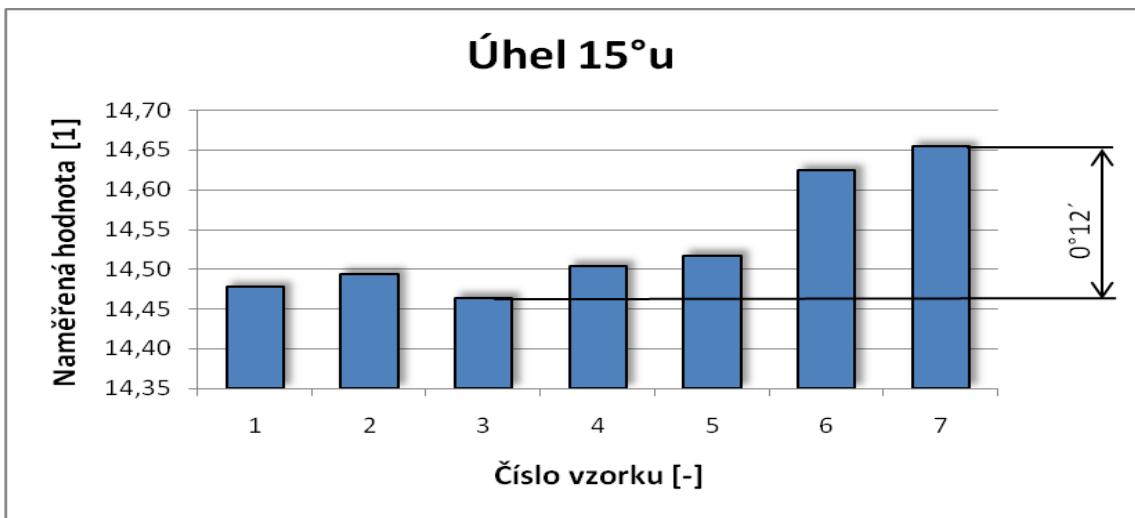
Obr. 73. Porovnání naměřených hodnot rozměru 30b



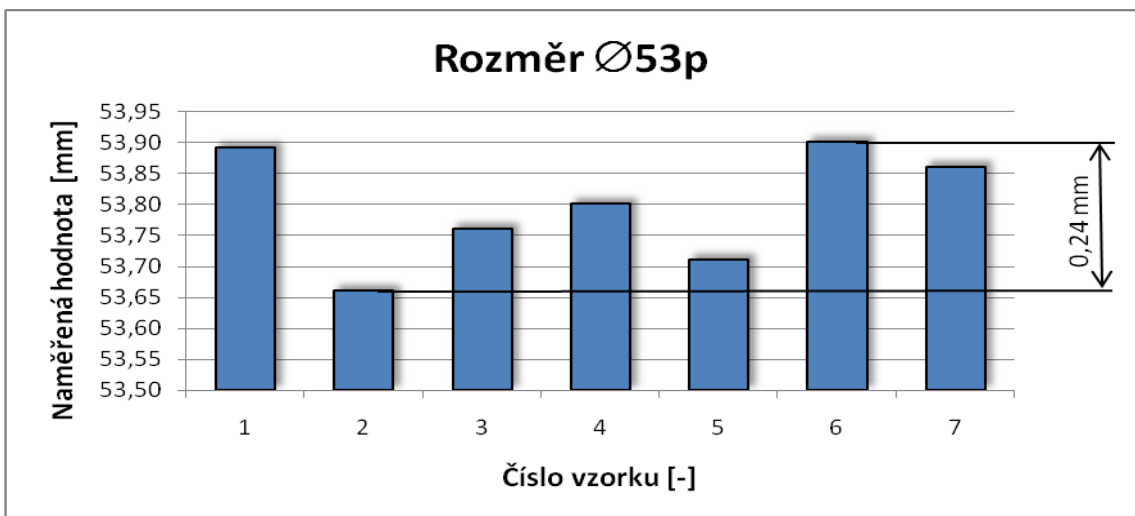
Obr. 74. Porovnání naměřených hodnot rozměru 5a



Obr. 75. Porovnání naměřených hodnot rozměru 5b



Obr. 76. Porovnání naměřených hodnot úhlu 15°u



Obr. 77. Porovnání naměřených hodnot rozměru Ø53p



Z naměřených hodnot vyplývá, že největší rozdíl programové hodnoty rozměru od rozměru vyrobeného, je u  $\varnothing$  53mm. Primárně je rozdíl způsoben nepřesností frézky, ale hraje tu roli i absence postprocesoru, jež by měl být pro optimální využití vlastností frézky vytvořen. Z důvodu neznalosti této problematiky, byl využit dostupný postprocesor obsažený v softwaru EdgeCAM.

**11 PARAMETRY NAVRŽENÉHO/ZKONSTRUOVANÉHO ZAŘÍZENÍ****PARAMETRY FRÉZKY**

<b>Rozměry stroje:</b>	390 x 280 x 360 mm
<b>Hmotnost:</b>	7,3 kg
<b>Max. rozměr opracovávaného dílce:</b>	v ose X 280 mm v ose Y 150 mm v ose Z 40 mm
<b>Vřeteno:</b>	Příkon 160 W Napájení 230V/50 Hz Otáčky 15000 – 35000 ot./min
<b>Max. programovatelná rychlost posuvů:</b>	v ose X 0,5 m/min v ose Y 0,3 m/min v ose Z 0,2 m/min
<b>Programovatelný krok:</b>	v ose X 0,026 mm v ose Y 0,014 mm v ose Z 0,002 mm
<b>Upínací průměr nástroje:</b>	6 mm
<b>Řídící jednotka:</b>	PC
<b>Materiál obrobku:</b>	PVC, PMMA, PC <sub>p</sub> , ABS, PP, PS, Necuron 651

**PARAMETRY ŘÍDICÍ ELEKTRONIKY**

<b>Rozměry:</b>	352 x 257 x 83 mm
<b>Napájení:</b>	230V/50 Hz
<b>Komunikace:</b>	Rozhraní PC – LPT port
<b>Počet řízených os:</b>	3
<b>Systém řízení motorů:</b>	STEP/DIR
<b>Typ motorů:</b>	Bipolární
<b>Nastavení kroků:</b>	1/1, 1/2, 1/4, 1/8
<b>Proud motorem:</b>	65%, 100%
<b>Ochrana proti poškození PC:</b>	Optické oddělení výkonové elektroniky
<b>Ochrana proti poškození elektroniky:</b>	Odpojení napájení při zkratu a přetížení

## 12 DISKUZE

Navržené a zkonstruované zařízení je situováno do sekce hobby CNC frézek, u kterých je brán velký zřetel na pořizovací náklady, které byly značně sníženy použitím konstrukčních dílů z jiných zařízení. Frézka disponuje malými rozměry a nízkou hmotností, není tedy nutné na místě instalace budovat zázemí pro ukotvení stroje. Nízká hmotnost a malé rozměry rovněž umožňují jednoduchou manipulaci se zařízením.

Otáčky vřetene jsou regulovatelné v rozsahu 15000 – 35000ot/min, čímž lze ve spolupráci s regulací rychlostí posuvů, optimalizovat řezné podmínky.

Konstrukce frézky se sestává z tvarově jednoduchých dílů, které lze vyrobit i s absencí výrobních prostředků, jako jsou frézky a soustruhy.

Nízká energetická náročnost stroje umožňuje napájení z jednofázové sítě o napětí 230V/50Hz, bez nutnosti použití speciálních zařízení, jako např. motorové jističe a kompenzační zařízení jalové energie.

Při návrhu konstrukce frézky byly předpokládány velké výrobní odchylky rozměrů dílů, proto pro osu X a Y bylo navrženo excentrické osazení konce vodících hřídelí sloužící k seřízení kolmosti a rovnoběžnosti os se stolem frézky.

Řídící elektronika krokových motorů je konfigurovatelná dle potřeb uživatele s možností řízení až tříosého stroje. Systém řízení motorů STEP/DIR umožňuje řídit zařízení velkou škálou prostředků, jako např. PC, EPROM (*Erasable Programmable Read-Only Memory*) paměti, časovačem NE555, atd. Elektronika je navržena pro bipolární motory. Nechybí ani ochranné prvky chránící jak vstupní zařízení, tak výkonovou část elektroniky.

V provozu se ukázaly i nedostatky, které byly zapříčiněny:

1) Koncepcí konstrukce stroje, kde to byla hlavně nízká tuhost. Ta zvyšuje nepřesnost obrábění a znemožňuje obrábět materiály podobných vlastností, jako byl testovaný PA. Řešením by mohly být zpevňující desky a použití masivnějších dílů, což by vedlo k navýšení hmotnosti stroje a s tím spjaté použití silnějších motorů, které jsou dražší.

2) Použitými díly, týká se to kluzných ložisek a vodících hřídelí, které již byly opotřebené a tudíž zvýšily nepřesnost obrábění. Řešení se naskýtá jen jedno a to pořídit nové vodící systémy, které jsou ovšem finančně velice nákladné.

3) Použitím převodovky na ose Y. S dostupnými prostředky se jí nepodařilo vyrobit s vyhovující účinností a přesností. Vůle mezi ozubenými koly zapříčiňuje ztrátu dvou kroků, nežli dojde k pohybu posuvu. Ke zmírnění důsledku této vůle byla využita funkce Backlash softwaru Mach3, která počítá s vůlí v mechanice posuvu a dodá potřebné kroky motoru pro vykompenzování této vůle. Tato funkce bohužel spolehlivě funguje, pokud daná osa pracuje samostatně. V případě kdy tomu tak není, např. obrábění kruhové díry ve zkušebních vzorcích, kde spolupracuje osa X a Y, je tato funkce nespolehlivá. Proto skutečný vyrobený rozměr kruhové díry na zkušebních vzorcích nejvíce neodpovídá programové hodnotě. Problém by mohl být řešen vyrobením nové převodovky přesnějšími technologiemi, kde by odpadly velké vůle mezi ozubením, nebo použitím jiného systému posuvu, např. tyč s trapézovým závitem.

Dále se ukázalo, že by bylo vhodné zkonstruovat odsávání třísek od obráběcího vřetene. Například při obrábění Necuronu 651 jsou třísky tak malé, že pronikají do všech posuvů stroje a okolních přístrojů. Pro univerzálnější upínání dílců na stůl frézky, by bylo vhodné vytvořit upínací plochu T drážek z tvarových profilů. Dále také osvětlení nástroje při najíždění na nulový bod.

## ZÁVĚR

Cílem této bakalářské práce bylo navrhnout laboratorní zařízení na opracování plastových dílců do maximálních rozměrů 280 x 150 x 40 mm a ověřit jeho funkčnost na zkušebních vzorcích.

Z důvodu dostupnosti stavebních dílů, konstrukčních a univerzálnosti, bylo rozhodnuto o návrhu a konstrukci CNC frézky. Tím vyvstal další úkol a to sestavení řídicí elektroniky krokových motorů, která umožňuje řízení pomocí PC. Po prostudování několika možných variant řízení krokových motorů, bylo rozhodnuto pro obvod Toshiba TA8435H. Tento obvod obsahuje všechny potřebný hardware k řízení motorů, což značně zjednodušilo komplikovanost celé elektroniky. Z důvodu minimální znalosti této problematiky bylo použito ověřených elektronických schémat a DPS z internetových diskuzních fór zabývajících se touto problematikou. Ke zpracování CNC programu a zprostředkování komunikace mezi elektronikou a rozhraním PC, byl zvolen software Mach3 pro jeho rozsáhlou možnost konfigurace a nastavení dle potřeb uživatele.

Byla zvolena tříosá frézka portálové konstrukce. Frézka je navržena tak, aby jí bylo možné zkonstruovat i s omezenými výrobními prostředky a za malé pořizovací náklady. Pro snížení celkových nákladů bylo ke konstrukci využito i dílů z jiných zařízení, což se projevilo na celkové tuhosti a přesnosti stroje. Pohony posuvů jsou zajištěny krokovými motory. Pohon vřetene je realizován motorem přímé brusky FERM FCT-160F.

Pro ověření funkčnosti frézky bylo vyrobeno několik zkušebních vzorků. Ty byly následně proměřeny a ze získaných údajů sestaveny grafy, poukazující na přesnost stroje.

Během provozu se projevily slabiny frézky, kde některé se podařilo odstranit, jiné jsou dány konstrukcí a použitými díly. Jejich odstranění je možné, vyžadovalo by to však další investice. Řídicí elektronika po celou dobu provozu pracovala bez sebemenšího problému.

Požizovací náklady řídicí elektroniky činily přibližně 4500,- Kč, kde ceny jednotlivých položek byly: TA8435H 1200,- Kč, elektronické součástky 1630,- Kč, DPS + výrobní prostředky 200,- Kč, zdroj 200,- Kč, přístrojová krabička 500,- Kč, chladiče 150,- Kč, ventilátor 120,- Kč, doplňky 500,- Kč. Díky použitým dílům pořizovací náklady frézky byly přibližně jen 3500,- Kč, kde ceny jednotlivých položek byly: materiál 1100,- Kč, konstrukční materiál 1050,- Kč, spojovací materiál 150,- Kč, pohon vřetene 1200,- Kč. Pokud by byly

všechny součásti nové, cena frézky by se pohybovala kolem 15000,- Kč. Při pořízení stroje z průmyslové výroby by cena překročila částku 50000,- Kč.

## SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] ŘASA, Jaroslav, GABRIEL, Vladimír. *Strojírenská technologie 3 : Metody, stroje a nástroje pro obrábění*. 1. vyd. Praha : Scientia, 2000. 2 sv. (256, 221 s.). ISBN 80-7183-207-3.
- [2] *Naradi-modeco* [online]. c2006 [cit. 2009-01-02]. Dostupný z WWW: <<http://www.naradi-modeco.cz/img/goods/small/607.jpg>>.
- [3] ŘASA, Jaroslav, POKORNÝ, Přemysl, GABRIEL, Vladimír. *Strojírenská technologie 3 : Obráběcí stroje pro automatizovanou výrobu, fyzikální technologie obrábění*. 1. vyd. Praha : Scientia, 2001. 2 sv. (256, 221 s.). ISBN 80-7183-227-8.
- [4] *Panas* [online]. c2004 [cit. 2009-01-02]. Dostupný z WWW: <<http://www.panas.cz/galerie.php?id=1236>>.
- [5] KOČMAN, Karel, PROKOP, Jaroslav. *Technologie obrábění*. 2. vyd. FINAL TISK s.r.o. Olomučany : Akademické nakladatelství CERM Brno, s.r.o., 2005. 270 s. ISBN 80-214-3068-0.
- [6] *Sosvel* [online]. c2006 [cit. 2009-01-02]. Dostupný z WWW: <[www.sosvel.cz/img/upload/galerie/70711695.jpg](http://www.sosvel.cz/img/upload/galerie/70711695.jpg)>.
- [7] *Výrobní technologie II : Technologie strojního obrábění* [online]. 0.91. c2003 [cit. 2009-01-27]. Dostupný z WWW: <[http://www.sniper.webzdarma.cz/download/others/tech\\_str\\_obr.pdf](http://www.sniper.webzdarma.cz/download/others/tech_str_obr.pdf)>.
- [8] *Mmspektrum* [online]. 2001 , 4.2.2009 [cit. 2009-01-02]. Dostupný z WWW: <[http://www.mmspektrum.com/multimedia/image/35/3599\\_big.jpg](http://www.mmspektrum.com/multimedia/image/35/3599_big.jpg)>.
- [9] *Enika* [online]. c2006 [cit. 2009-01-27]. Dostupný z WWW: <[http://www.enika.cz/images/vyrobky/obrazek\\_28123\\_fullsize.jpg](http://www.enika.cz/images/vyrobky/obrazek_28123_fullsize.jpg)>.
- [10] *E-automatizace.vsb* [online]. c2006 , 8.9.2008 [cit. 2009-01-27]. Dostupný z WWW: <[http://e-automatizace.vsb.cz/ebooks/ridici\\_systemy\\_akcni\\_cleny/Akc\\_el.html](http://e-automatizace.vsb.cz/ebooks/ridici_systemy_akcni_cleny/Akc_el.html)>.
- [11] ŘEZÁČ, Kamil. *Robotika* [online]. 2002-10-28 [cit. 2009-01-27]. Dostupný z WWW: <<http://robotika.cz/articles/steppers/cs>>.



- [12] *Maczaka.webz* [online]. 2005-12-21 [cit. 2009-05-10]. Dostupný z WWW: <<http://maczaka.webz.cz/deskata.htm>>.
- [13] *Maczaka.webz* [online]. 2006-01-12 [cit. 2009-05-10]. Dostupný z WWW: <[http://maczaka.webz.cz/deska\\_main.htm](http://maczaka.webz.cz/deska_main.htm)>.
- [14] *Maczaka.webz* [online]. 2005-12-21 [cit. 2009-05-10]. Dostupný z WWW: <[http://maczaka.webz.cz/deska\\_freza.htm](http://maczaka.webz.cz/deska_freza.htm)>.
- [15] *Narex-makita-bosch* [online]. c2009 [cit. 2009-05-10]. Dostupný z WWW: <<http://www.narex-makita-bosch.cz/bruska-prima-ferm-fct160f-s-ohebnym-hridelem-pi-3018.html>>.
- [16] *Codeproject* [online]. c1999-2009 [cit. 2009-05-10]. Dostupný z WWW: <<http://www.codeproject.com/KB/system/PaPiC/papic3.gif>>.
- [17] POPELKA, Aleš. *Dynamická obrobiteľnosť kovů a plastů při broušení a frézování*. Zlín, 2008. diplomová práce (Ing.). Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně. Fakulta technologická

## SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

0	Počátek systému souřadnic.
A, B, C	Směry otáčivého pohybu.
$a$ až $h$	Ozubené převody pro diferenciální dělení.
$a_1$	Tloušťka třísky pro úhel $\varphi_1$ .
$a_e$	Hloubka řezu.
$a_{max}$	Maximální tloušťka třísky.
ABS	Akrylonitril-butadien-styrén
AC	Adaptive Control.
B	Šířka obrobku.
CAD	Computer Aided Design.
CAM	Computer Aided Manufacturing.
CNC	Computer Numerical Control.
DIR	Směr otáčení krokového motorů.
$d_1$	Průměr řezné části frézky.
DNC	Direct Numerical Control.
DP	Děrná páska.
DPS	Deska plošných spojů.
EPROM	Erasable Programmable Read-Only Memory.
$F$	Výsledná řezná síla.
$F$	Šířka fazetky.
$F_{ax}$	Axiální síla.
$F_c$	Složka řezné síly.
$F_{cN}$	Kolmá složka řezné síly.

---

$F_f$	Posuvová složka řezné síly.
$F_{fN}$	Kolmá složka posuvové síly.
$F_p$	Odpor vedení.
G92	Nastavení počátku souřadnic.
$h$	Hloubka řezu.
$I_{o(AVE.)}$	Výstupní proud trvalý.
$I_{o(PEAK)}$	Výstupní proud špičkový.
ISO	The International Organization for Standardization.
K20	Slinutý karbid.
$k_{uA}$	Koeficient nejistoty typu A.
LPT	Line Print Terminal.
Log 0	Logická nula.
Log 1	Logická jednička.
MNC	Memory Numerical Control.
MSI	Stupeň střední integrace.
$M_t$	Zátěžový moment.
$n$	Celkový počet hodnot.
$n_o$	Otáčky.
NC	Numerical Control.
PA	Polyamid.
PC	Personal computer.
PC <sub>p</sub>	Polykarbonát.
PMMA	Polymethylmethakrylát
PP	Polypropylen.
PS	Polystyren.

---

PVC	Polyvinylchlorid.
PWM	Pulse Width Modulation.
$r, z$	Cylindrický systém souřadnic.
$r, \varphi$	Polární systém souřadnic.
RO	Nástroj s břity z rychlořezné oceli.
Rm	Střední mez pevnosti.
$s$	Posuv.
SK	Nástroj s břity ze slinutých karbidů.
$s_0$	Směrodatná odchylka.
SSI	Stupeň malé integrace.
STEP	Krok krokového motoru.
$s_z$	Posuv na zub.
$T_{opr.}$	Pracovní teplota.
$u_A$	Nejistota typu A.
VAC	Střídavé napětí.
$v_C$	Řezná rychlost.
vcc	Napájecí napětí.
VDC	Stejnoseměrné napětí.
$v_f$	Rychlost posuvu.
$v_M$	Výstupní napětí.
$x, y, z$	Směry posuvného pohybu, kartézský (pravoúhlý) systém souřadnic.
$\bar{X}$	Aritmetický průměr.
$X_i$	itá hodnota.
$\alpha_f$	Úhel hřbetu na fazetce.
$\alpha_0$	Úhel hřbetu.

---

$\gamma_0$	Úhel čela.
$\delta$	Úhel řezu.
$\varepsilon_r$	Úhel špičky.
$\eta$	Účinnost.
$\kappa_r$	Úhel nastavení hlavního ostří.
$\lambda$	Úhel sklonu šroubovice.
$\varphi_1$	Úhel okamžité polohy zubu.

**SEZNAM OBRÁZKŮ**

Obr. 1. Vrták na vrtání reaktoplastů	12
Obr. 2. Pilový děrovač	12
Obr. 3. Stavitelný vykružovací nástroj	13
Obr. 4. Vrták na vrtání termoplastů	14
Obr. 5. Válcová fréza pro frézování vyztužených a vrstvených plastů	16
Obr. 6. Vrták na vrtání vyztužených a vrstvených plastů	16
Obr. 7. Číslicově řízená fréza	20
Obr. 8. Porovnání NC a CNC systémů	25
Obr. 9. Schéma servopohonu upínacího stolu (pohyb v jedné ose)	26
Obr. 10. Pravidlo pravé ruky	27
Obr. 11. Příklad označení os na frézovacím obráběcím centru	27
Obr. 12. Příklad jednoduchého programu a jeho zápis v přírůstkovém a absolutním tvaru	28
Obr. 13. Frézování obvodem válcové frézy	31
Obr. 14. Frézování čelem čelní frézy	32
Obr. 15. Frézování obvodem válcové frézy	32
Obr. 16. Frézování čelem čelní frézy	33
Obr. 17. Frézování	33
Obr. 18. Některé druhy fréz	35
Obr. 19. Zuby fréz	35
Obr. 20. Fréza	36
Obr. 21. Příklady mechanického upnutí břitových destiček na fréze	36
Obr. 22. Frézování složitých tvarů skládanou frézou	37
Obr. 23. Čelní válcová fréza s mechanicky upínanými vyměnitelnými břitovými destičkami	38

---

Obr. 24. Tvarová fréza pro obrábění rybinových drážek	38
Obr. 25. Vodorovná konzolová frézka	39
Obr. 26. Frézování šroubovice	40
Obr. 27. Svislá konzolová frézka	40
Obr. 28. Univerzální dělicí přístroj	41
Obr. 29. Univerzální frézovací hlava	41
Obr. 30. Rovinná frézka se dvěma stojany	42
Obr. 31. Portálová frézka	42
Obr. 32. Krokový motor	44
Obr. 33. Schéma unipolárního řízení	45
Obr. 34. Schéma bipolárního řízení	46
Obr. 35. Souřadný systém frézky	48
Obr. 36. Základní deska frézky	49
Obr. 37. Systém vedení osy X	50
Obr. 38. Napínací kladka, excentrické osazení vodící hřídel e	51
Obr. 39. Přístup ke šroubu ložiska	51
Obr. 40. Systém vedení osy Y	52
Obr. 41. Převodovka Y osy	52
Obr. 42. Vedení níže položené hřídele	53
Obr. 43. Systém vedení osy Z	54
Obr. 44. Detail spojky a vymezení vůle závitů	55
Obr. 45. Přímá bruska FERM FCT-160F	57
Obr. 46. Vřeteno frézky	57
Obr. 47. Směr proudění vzduchu odnášejícího malé třísky	58
Obr. 48. Blokové schéma soustavy	59

---

Obr. 49. Celkové zapojení sestavy řídicí elektroniky	59
Obr. 50. Deska krokových motorů	60
Obr. 51. Elektronické schéma desky řízení krokových motorů	61
Obr. 52. Vstupní deska s optickým oddělením	62
Obr. 53. Elektronické schéma vstupní desky s optickým oddělením	62
Obr. 54. Deska spínání pohonu vřetene a dalších obvodů	63
Obr. 55. Napájecí zdroj	64
Obr. 56. Vytisknutý obrazec plošného spoje	65
Obr. 57. Horské slunce, vývojka, leptací roztok	66
Obr. 58. Hotová deska plošných spojů	66
Obr. 59. Grafické prostředí Machu3	67
Obr. 60. Nastavení STEP/DIR pinů krokových motorů	68
Obr. 61. Nastavení výstupu pro řízení relé	69
Obr. 62. Nastavení krokového motoru osy X	70
Obr. 63. Nastavení krokového motoru osy Y	70
Obr. 64. Nastavení krokového motoru osy Z	71
Obr. 65. Vymezení vůle	71
Obr. 66. Zkušební vzorek	73
Obr. 67. PA	73
Obr. 68. Vlevo PVC, vpravo Necuron 651	74
Obr. 69. Schéma zkušební vzorku	74
Obr. 70. Porovnání naměřených hodnot rozměru 20a	78
Obr. 71. Porovnání naměřených hodnot rozměru 20b	78
Obr. 72. Porovnání naměřených hodnot rozměru 30a	79
Obr. 73. Porovnání naměřených hodnot rozměru 30b	79



---

Obr. 74. Porovnání naměřených hodnot rozměru 5a	79
Obr. 75. Porovnání naměřených hodnot rozměru 5b	80
Obr. 76. Porovnání naměřených hodnot úhlu 15°u	80
Obr. 77. Porovnání naměřených hodnot rozměru $\phi 53p$	80
Obr. 78. Osazení DPS	PII
Obr. 79. DPS	PII
Obr. 80. Osazení DPS	PIII
Obr. 81. DPS	PIII
Obr. 82. Osazení DPS	PIV
Obr. 83. DPS	PIV
Obr. 84. Zapojení pinů LPT	PVI

**SEZNAM TABULEK**

Tab. 1. Řezné podmínky pro obrábění reaktoplastů	17
Tab. 2. Řezné podmínky pro obrábění termoplastů	17
Tab. 3. Řezné podmínky pro obrábění vyztužených a vrstvených plastů	18
Tab. 4. Parametry krokového motoru osy X	50
Tab. 5. Parametry krokového motoru osy Y	53
Tab. 6. Parametry krokového motoru osy Z	55
Tab. 7. Rozsahy otáček pro jednotlivé druhy plastů	56
Tab. 8. Technické údaje pohonu FERM FCT-160F	58
Tab. 9. Katalogové parametry maximálních hodnot obvodu TA8435H	61
Tab. 10. Tabulka parametrů zdroje	64
Tab. 11. Použitá měřicí zařízení	75
Tab. 12. Naměřené rozměry zkušebních vzorků	76
Tab. 13. Souhrn průměrných hodnot rozměrů všech zkoušených vzorků	78

## SEZNAM PŘÍLOH

PI: Výpočet krouticího momentu pro dimenzování krokových motorů

PII: Deska řízení krokových motorů

PIII: Vstupní deska z PC s optickým oddělením portu LPT

PIV: Deska spínání pohonu vřetene a dalších obvodů

PV: Výpočet převodového poměru převodovky osy Y

PVI: Zapojení pinů LPT portu

PVII: Výkres zkušebního vzorku

PVIII: Výkres sestavy frézky

PIX: CD - ROM obsahující model frézky, fotografie frézky s řídicí elektronikou a CNC program zkušebního vzorku.

## PŘÍLOHA P I: VÝPOČET KROUTICÍHO MOMENTU PRO DIMENZOVÁNÍ KROKOVÝCH MOTORŮ

Výpočet je jen orientační, primárně byly krouticí momenty krokových motorů navrženy již z funkčních zařízení podobných parametrů a vlastností. Následujícím výpočtem je zkontrolován krouticí moment krokového motoru osy X z důvodu největšího hmotnostního zatížení vedení této osy.

$$F_{pot.} = F_c + F_p \quad (7)$$

$F_{pot.}$  - síla působící proti síle vyvozené motorem ( $F_M$ ) [N]

$F_c$  - tangenciální řezná síla [N]

$F_p$  - síla nutná k překonání odporu vedení [N]

Tangenciální řezná síla je dána vztahem, jenž byl experimentálně zjištěn [17] při konstantním posuvu 80mm/min a řezné rychlosti 14m/min při obrábění frézou o  $\varnothing$  10mm. Byl použit vztah pro PE, který vykazoval největší tangenciální řeznou sílu. Vztah popisuje závislost síly  $F_c$  na hloubce řezu, která byla pro zaručení dostatečného krouticího momentu motoru zvolena 2mm. V reálném provozu se počítá s maximální hloubkou řezu 1mm.

$$Y = 7,66x^2 - 12,966x + 21,635 \quad (8)$$

$$F_c = 7,66 \cdot a_e^2 - 12,966 \cdot a_e + 21,635 \quad (9)$$

$$F_c = 7,66 \cdot 2^2 - 12,966 \cdot 2 + 21,635 = \underline{\underline{26,3N}} \quad (10)$$

$a_e$  - hloubka řezu [mm]

Pro výpočet byla síla  $F_p$  zjištěna experimentálně siloměrem, kde její maximální hodnota byla stanovena na 5N.

$$F_{pot.} = 26,3 + 5 = \underline{\underline{31,3N}} \quad (11)$$

Zátěžový moment motoru je dán vztahem,

$$M_t = F_M \cdot r \quad (12)$$

kde  $F_M$  je síla vyvozená motorem [N] a  $r$  poloměr ozubeného kola krokového motoru osy X [m].

$$F_M = \frac{M_t}{r} = \frac{0,3}{0,00625} = \underline{\underline{48N}} \quad (13)$$

Účinnost ozubeného převodu je dle katalogů 97-98%. Vzhledem k tomu, že se jedná o již použitý ozubený převod, byla účinnost stanovena na 90%.

$$F_{Ms} = F_M \cdot \eta = 48 \cdot 0,9 = \underline{\underline{43,2N}} \quad (14)$$

$F_{Ms}$  – síla vyvozená motorem snižená o účinnost ozubeného převodu [N]

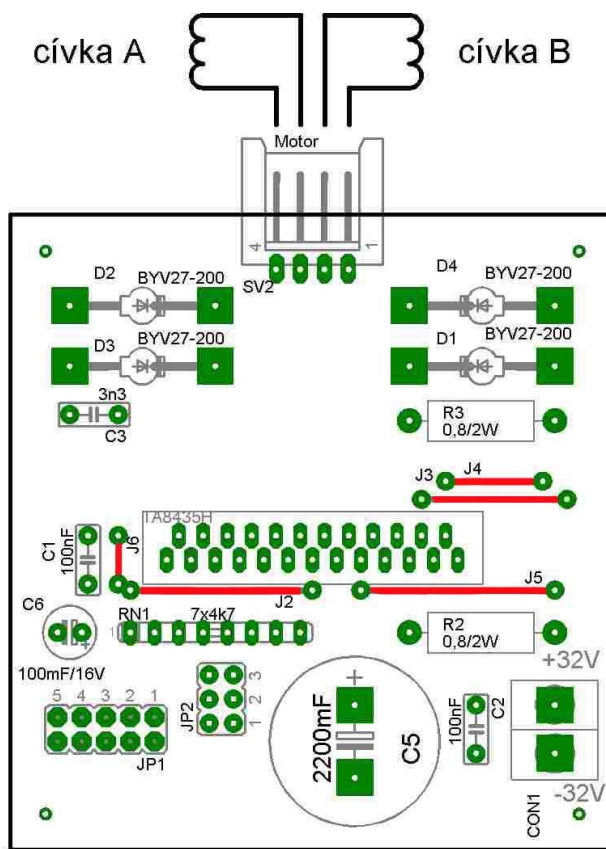
$\eta$  – účinnost ozubeného převodu [-]

$$F_{Ms} > F_{pot} \rightarrow \text{Vyhovuje}$$

Krouticí moment krokového motoru osy X vyhovuje.

## PŘÍLOHA P II: DESKA ŘÍZENÍ KROKOVÝCH MOTORŮ

### 1. Osazení DPS



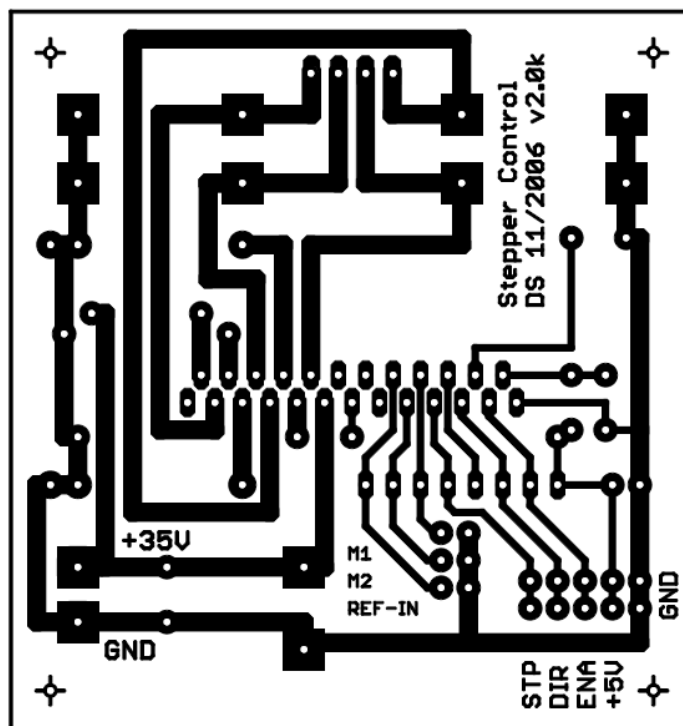
Obr. 78. Osazení DPS [12]

### 2. Zapojení pinů

JP1	
Č. pinu	Funkce
1	STEP
2	DIR
3	ENABLE
4	+5 V
5	GND

JP2		
Č. pinu	Stav jumperu	Funkce
1	Zapojeno	65% výkon
	Nezapojeno	100% výkon
2+3	Zapojen 2+3	Plný krok 1/1
	Zapojen 2	Poloviční krok 1/2
	Zapojen 3	Čtvrtinový krok 1/4
	Nezapojeny	Osminový krok 1/8

### 3. DPS



Obr. 79. DPS [12]

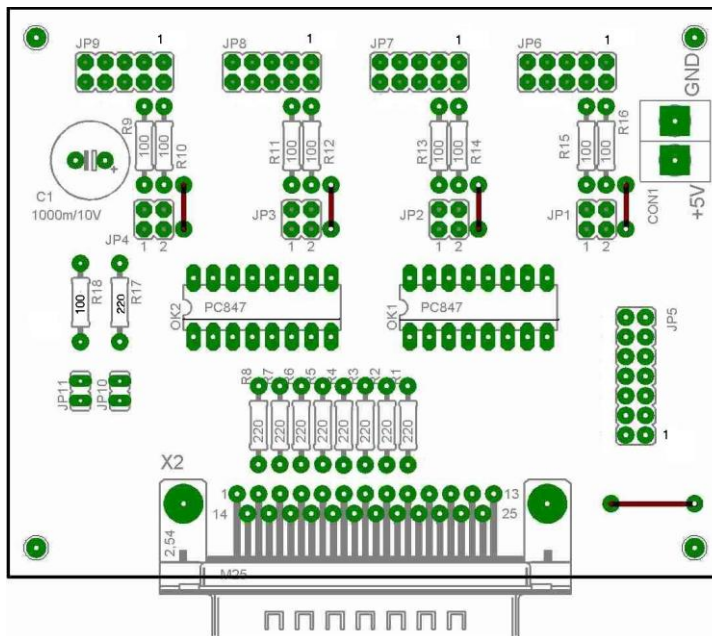
### 4. Seznam součástek: Katalog EZK, GES Electronic

<b>J2 - J6</b>	- Drátová propojka (červené čáry)	5ks
<b>IO</b>	- Toshiba TA8435H	1ks
<b>D1 - D4</b>	- Dioda BYV 27-200	4ks
<b>C5</b>	- Elekt. kondenzátor rad. 4700 $\mu$ F/35V	1ks
<b>C6</b>	- Elekt. kondenzátor radiální 220 $\mu$ F/16V	1ks
<b>R2, R3</b>	- Odpor 1 ohm/2W	2ks
<b>RN1</b>	- Odporová síť SIL 9-8 4K70	1ks
<b>C3</b>	- Keramický kondenzátor 3n3	1ks
<b>C1, C2</b>	- Keramický kondenzátor 100nF/63V	2ks
<b>SV2</b>	- Konektor PSH02-04P – vidlice přímá 4 pin	1ks
	- Protikus PFH02-04P	1ks
	- Kontakt PFF02-01F	4ks
<b>JP1</b>	- Lámací lišta S2G80 dvouřadá 2x5 pinů	1ks
	- Protikus PFL10	1ks
<b>JP2</b>	- Lámací lišta S2G80 dvouřadá 2x3 piny	1ks
<b>Jumper</b>	- JUMPER-ZAV RED, BLU propojka	3ks
<b>CON1</b>	- Svorkovnice CLL5/2 14mm, rozteč 5 mm	1ks
<b>DPS</b>	- Deska plošných spojů V2.0k	1ks
<b>Patice IO</b>	- Lámací lišta PAT SIL20 PR	2ks
<b>Chladič</b>	- CHL27B/50 6,5K/W	

- Desky plošných spojů jsou vzájemně propojeny plochými kabely AWG 28-10G cca 15cm.

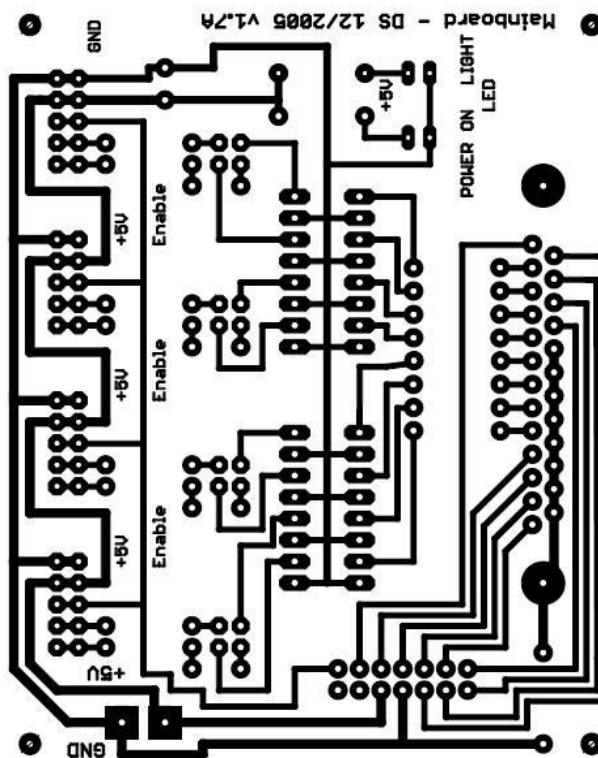
# PŘÍLOHA P III: VSTUPNÍ DESKA Z PC S OPTICKÝM ODDĚLENÍM PORTU LPT

## 1. Osazení DPS



Obr. 80. Osazení DPS [13]

## 2. DPS



Obr. 81. DPS [13]



### 3. Zapojení pinů

**JP6, JP7, JP8, JP9**.....jsou výstupy pro motorové desky

**JP1, JP2, JP3, JP4**..... umožňují s pomocí jumperů přehození vstupů DIR a STEP

**JP5**..... konektor pro připojení desky frézy

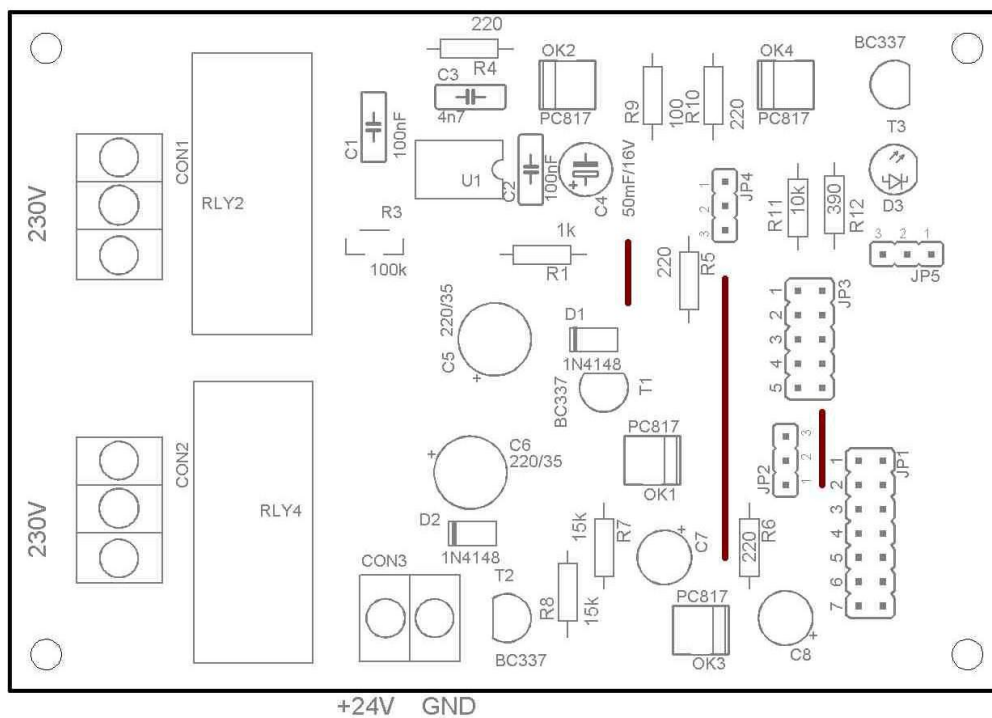
**JP10, JP11**..... výstupy na LED diody – kontrola napájení, osvětlení

### 4. Seznam součástek: Katalog EZK

<b>C1</b>	- Elekt. kondenzátor rad. 1000 $\mu$ F/16V	1ks
<b>R9-R16, R8</b>	- Odpor 100 ohm	9ks
<b>R1-R8, R17</b>	- Odpor 220 ohm	9ks
<b>JP</b>	- Lámací lišta S2G80 dvouřadá	1ks
<b>JP6, JP7, JP8, JP9</b>	- 2x5 pinů	
<b>JP1, JP2, JP3, JP4</b>	- 2x2 piny	
<b>JP5</b>	- 2x7 pinů	
<b>JP10, JP11</b>	- Konektor PSH02-02P – vidlice přímá 2 pin	2ks
	- Protikus PFH02-02P	2ks
	- Kontakt PFF02-01F	4ks
<b>CON1</b>	- Svorkovnice CLL5/2 14mm, rozteč 5 mm	1ks
<b>X2</b>	- CAN25 Z 90 Canon 25	1ks
<b>OK1, OK2</b>	- PC847	2ks
<b>PAT</b>	- PAT16 DIL PR patice	2ks
<b>Jumper</b>	- JUMPER-ZAV RED, BLU propojka	8ks
<b>Konektor</b>	- PFL10 zásuvka přímá	4ks
<b>Konektor</b>	- PFL14 zásuvka přímá	1ks
<b>DPS</b>	- Deska plošných spojů V1.7	1ks
<b>Plochý kabel</b>	- AWG 28-10G	20 cm

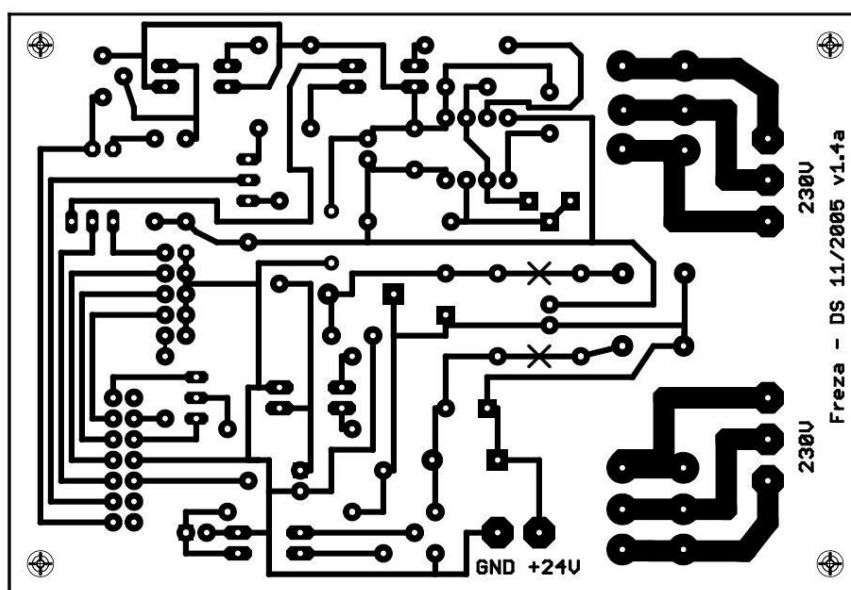
# PŘÍLOHA P IV: DESKA SPÍNÁNÍ POHONU VŘETENE A DALŠÍCH OBVODŮ

## 1. Osazení DPS



Obr. 82. Osazení DPS [14]

## 2. DPS



Obr. 83. DPS [14]

### 3. Zapojení pinů

<b>JP1</b> .....	konektor pro připojení vstupní desky s optickým oddělením
<b>JP2</b> .....	jumperem spojit piny 2 a 3
<b>JP3</b> .....	volné piny pro koncové spínače
<b>JP4</b> .....	jumperem spojit piny 2 a 3
<b>JP5</b> .....	jumperem spojit piny 1 a 2

### 4. Seznam součástek: Katalog EZK, GES Electronic

<b>U1</b>	- NE 555	1ks
<b>D1-D2</b>	- Dioda 1N4148	2ks
<b>T1-T3</b>	- BC337	3ks
<b>OK1 –OK4</b>	- PC817	4ks
<b>C5, C6</b>	- Elekt. kondenzátor rad. 220 $\mu$ F/35V	2ks
<b>C4</b>	- Elekt. kondenzátor rad. 50 $\mu$ F/16V	1ks
<b>C1, C2</b>	- Keramický kondenzátor 100nF/63V	2ks
<b>C3</b>	- Keramický kondenzátor 4n7	1ks
<b>C7, C8</b>	- neosazeny	
<b>JP</b>	- Lámací lišta S2G80 dvouřadá	1ks
<b>JP1</b>	- 2x5 pinů	
<b>JP3</b>	- 2x7 pinů	
<b>JP2, JP4, JP5</b>	- Lámací lišta S1G20 jednořadá	1ks
<b>CON3</b>	- Svorkovnice CLL5/2 14mm, rozteč 5 mm	1ks
<b>CON1, CON2</b>	- Svorkovnice CLL5/3 14mm, rozteč 5 mm	2ks
<b>D3</b>	- LED	1ks
<b>R1</b>	- Odpor 1kohm	1ks
<b>R3</b>	- PT6H 100k trimr PIHER	1ks
<b>R4, R5, R6, R10</b>	- Odpor 220 ohm	4ks
<b>R7, R8</b>	- Odpor 15kohm	2ks
<b>R9</b>	- Odpor 100ohm	1ks
<b>R11</b>	- Odpor 10kohm	1ks
<b>R12</b>	- Odpor 390 ohm	1ks
<b>RLY2, RLY4</b>	- Relé RM83-1CO-12VOLT	2ks
<b>Patice</b>	- pro optočleny – lišta SPL 32	1ks
<b>DPS</b>	- Deska plošných spojů V1.4A	1ks
<b>Drátová propojka (červené čáry)</b>		3ks

## PŘÍLOHA P V: VÝPOČET PŘEVODOVÉHO POMĚRU PŘEVODOVKY OSY Y

Průměry roztečných kružnic ozubených kol:

$$D_1 = 9 \text{ mm}$$

$$D_2 = 32 \text{ mm}$$

$$D_3 = 9 \text{ mm}$$

$$D_4 = 34 \text{ mm}$$

$$D_5 = 19,5 \text{ mm}$$

Výpočet:

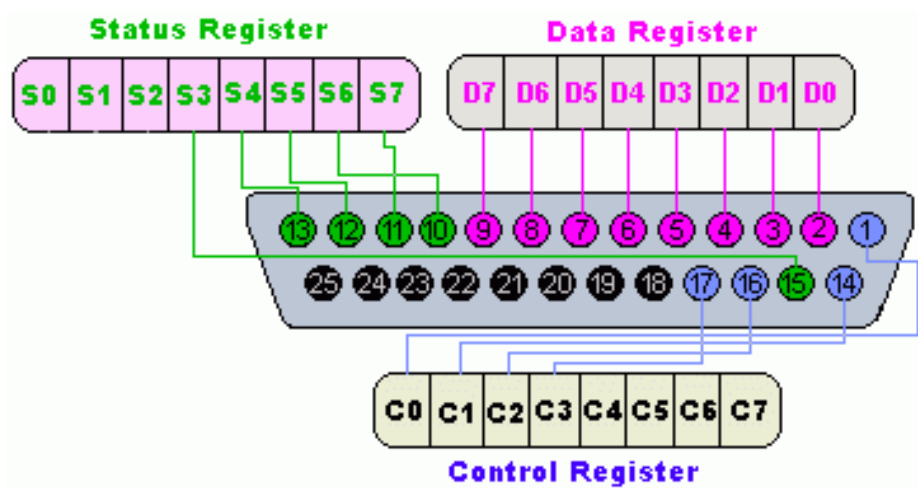
$$i_1 = \frac{D_2}{D_1} = \frac{32}{9} = 3,56 \quad (15)$$

$$i_2 = \frac{D_4}{D_3} = \frac{34}{9} = 3,78 \quad (16)$$

$$i_3 = \frac{D_5}{D_4} = \frac{19,5}{34} = 0,57 \quad (17)$$

$$i_C = i_1 \cdot i_2 \cdot i_3 = 3,56 \cdot 3,78 \cdot 0,57 = \underline{\underline{7,67}} \quad (18)$$

## PŘÍLOHA P VI: ZAPOJENÍ PINŮ LPT PORTU



Obr. 84. Zapojení pinů LPT [16]