



Středoškolská technika 2013

Setkání a prezentace prací středoškolských studentů na ČVUT

CNC FRÉZKA ZA „PÁR KORUN“

Vojtěch Štěpánek

Střední průmyslová škola Jihlava
tř. Legionářů 3, 586 01 Jihlava

OBSAH

1 FRÉZKA ZA „PÁR KORUN“	2
1.1 VÝBĚR A NÁVRH KONSTRUKCE	
1.2 MATERIÁLY KONSTRUKCE	
2 ZAPOJENÍ ELEKTRONIKY	3
2.1 ZAPOJENÍ VŠECH KOMPONENTŮ DO ŘÍDÍCÍ DESKY STROJE	
2.2 VÝROBA EMERGENCY E-STOP DESKY PLOŠNÝCH SPOJŮ	
3 PRVOTNÍ NASTAVENÍ SOFTWARE MACH3	4
3.1 VÝPOČET MIKRO KROKŮ MOTORŮ	
3.2 ORIENTAČNÍ ZKOUŠKA NASTAVENÍ	
3.2.1 KDYŽ MOTORY JEZDÍ OPAČNĚ	
4 ZÁKLADY CNC PROGRAMOVÁNÍ	6
5 VÝROBA PROTOTYPU	7
6 ROZPOČET POUŽITÉHO MATERIÁLU	8
ZÁVĚR	8

1 Frézka za „pár korun“

Další stránky jsou o návrhu hobby CNC frézky. V následující části se snažím popsat, jaký typ konstrukce použít a proč a co zhruba bude frézka schopna obrábět. Na konstrukci jsem provedl základní výpočty jako je krouticí moment motorů nebo krouticí moment vřetena. Navrhl jsem místa, kde je dřevěná konstrukce vyztužena ocelovými profily. Poté moje práce obsahuje základní seznámení s řídicím CNC softwarem MACH3, který je v hobby použití velice oblíben, propojení CNC driveru s počítačem a základní konfigurace stroje a nakonec je v mé práci popsáno jednoduché zapojení koncových spínačů, které chrání pohyblivé části stroje, a EMERGENCY STOP tlačítko, pro zastavení stroje v kolizních situacích.

1.1 Výběr a návrh konstrukce

Nejprve jsem si zvolil, co bych od svého stroje očekával. Svůj projekt jsem postavil na kuličkových výsuvkách ze stolních zásuvek, a proto jsem navrhl frézku pro gravírování dřevěných materiálů (masiv, OSB desky, překližka), plastů a měkkých neželezných kovů. Na konstrukci jsem použil březovou překližkovou desku o dovoleném namáhání v ohybu 100MPa, kterou jsem v nejnamáhanejších místech vyztužil ocelovými profily.

Dále bylo potřeba zvolit konstrukci frézky. Ze svého návrhu jsem ihned vyřadil konzolovou frézku, neboť posuvný stůl ve všech třech osách je při použití zvolených materiálů nevhodný z důvodů nízké tuhosti konstrukce. Konzolová frézka

je také konstrukčně složitá. Další možností byla rovinná portálová frézka. Tu jsem ovšem vyřadil také, protože bych nebyl schopen docílit dostatečné tuhosti portálu. Proto jsem se rozhodl použít konstrukci, kde je stůl pohyblivý ve směru Y (dopředu, dozadu) a vřeteník je pohyblivý ve směru X (doprava, doleva) a ve směru Z (nahoru, dolů). Viz obr. 10.



obr.1. konstrukce frézky

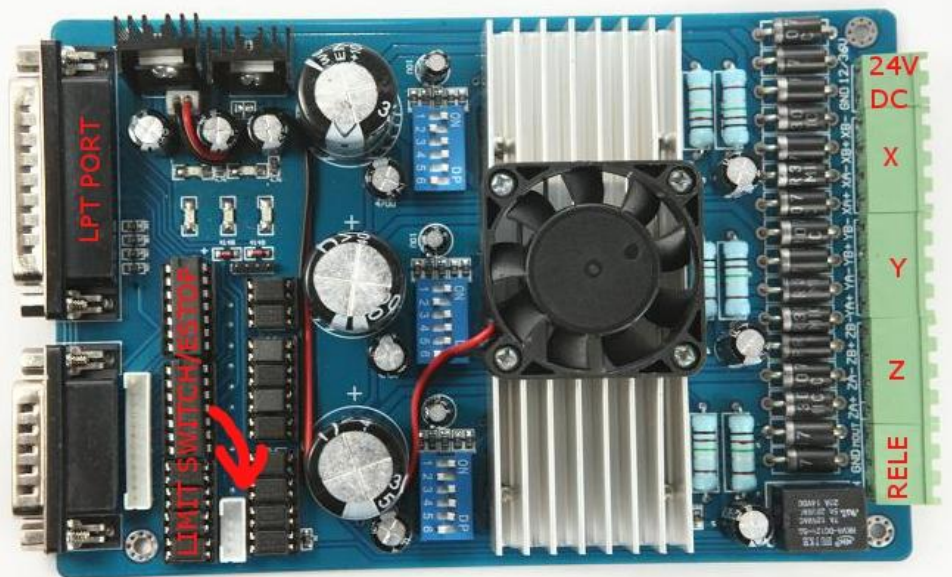
1.2 Materiály konstrukce

V podstatě všechny nosné části jsou vyrobené z překližky o tloušťce 15mm nebo 20mm. Držák vřetena je vyroben z duralu, aby bylo možné upínání vřetena pomocí svěrného spoje, dále jsou zde použity ocelové profily T50, ocelové plechy 5mm, ze kterých jsou vyrobeny upínače motorů a kuličkové výsuvy. Dále jsem při sestavování používal vruty do dřeva o průměru 4.5mm a délky 70mm, 60mm, 35mm, 20mm a 15mm podle aktuální potřeby.

2 Zapojení elektroniky

2.1 Zapojení všech komponentů do řídicí desky stroje

Ve své frézce jsem použil CNC driver z Číny, mezi hobby staviteli CNC známá také jako „modrá deska“. Mezi jeho největší klady bych radil fakt, že deska je schopna převádět impulzy z paralelního portu rovnou na motory. Jiné desky jsou pouze oddělovací a mezi ně a motory se musí vložit ještě řadič krokových motorů. Řídicí desku s počítačem propojujeme pomocí LPT (paralelního portu), dále k desce připojujeme stejnosměrné napětí 24V, 3x 4 vývody krokových motorů a 2 vývody od spínacího relé pro vřeteno. viz následující obrázek.

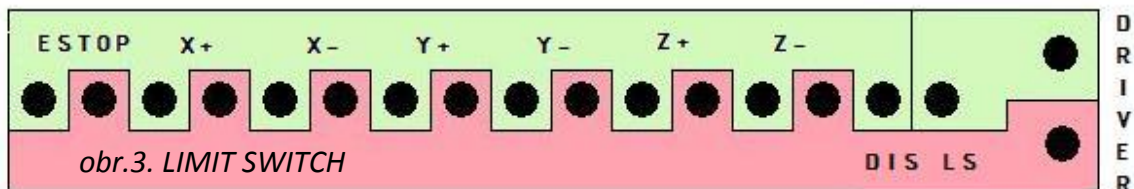


obr.2. CNC driver

2.2 Výroba EMERGENCY E-STOP desky plošných spojů

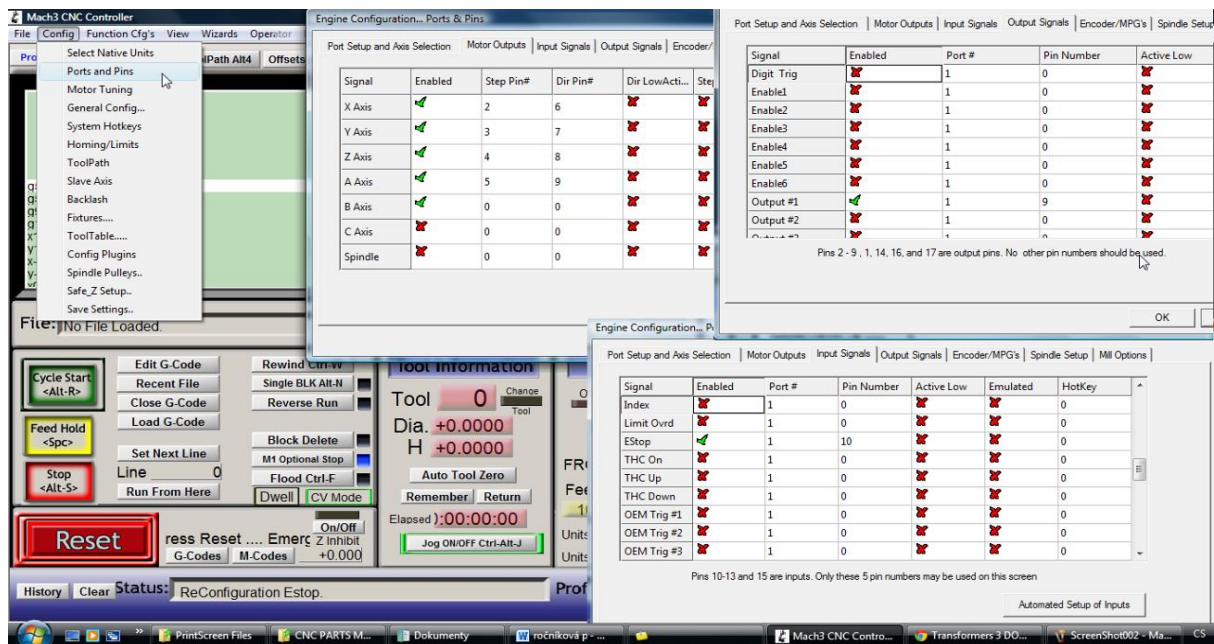
V této kapitole bych se chtěl věnovat ochrannému systému frézky. Základní ochranný systém se skládá z limitních spínačů umístěných v nejkrajnějších polohách os, kde ještě nedochází k nevratnému poškození stroje. Pohyblivé části strojů, které systém koncových spínačů nemají, se mohou během provozu dostat mimo pracovní prostor, opřít se například o nosné části konstrukce a může dojít k rozvalení ložiskových domků pohybových šroubů, k rozvalení matic nebo k ohnutí vedení stroje.

Na své konstrukci jsem použil šestici mikrosvítačů umístěných v krajních polohách os. Sestavit takový obvod je velice snadné. Řídicí deska má 4 libovolné vstupy. Uzavřete jeden z těchto čtyřech obvodů, deska dá impuls do PC a vy si můžete naprogramovat, co se následkem impulsu bude dít. Rozhodl jsem se, že paralelně spojím 6 limitních spínačů a ESTOP tlačítko. Po uzavření jednoho z těchto sedmi prvků se celý stroj zastaví. Dále do obvodu zahrnu resetovací tlačítko, které umožní odjezd od limitních spínačů a návrat do pracovní polohy. Takto připravenou desku připojíme na první a pátý pin vstupu řídicí desky.



3 Prvotní nastavení softwaru MACH3

Aby nám software správně spolupracoval driverem, je potřeba nastavit piny, na kterých se budou vysílat STEP/DIR instrukce pro krokové motory, impulzy pro ovládání vřetene a na kterých se naopak budou přijímat signály ESTOP a LIMIT SWITCH. Je to velice jednoduché. K driveru se dodává i instruktážní CD, na kterém je vše podrobně popsáno a stačí vyplnit jenom sérii tabulek v záložce „Config - Ports and Pins“...



obr.4. konfigurace softwaru MACH3

3.1 Výpočet mikro kroků motorů

CNC frézka je ovládaná trojicí krokových motorů, každý řídí vlastní osu. Pomocí jejich vzájemného otáčení můžeme dosáhnout různých pohybů od přímek v rovině přes 2D kružnice až po nejrůznější spirály atd.. Systém řízení krokovými motory funguje velice snadno. Jedná se o řízení pomocí tzv. STEP-DIR instrukcí (STEP – krok, DIR - směr). Přenášení informací mezi řídicím PC a řídicí deskou probíhá v pulzu. Každý pulz má hodnotu STEP (0V;5V) a DIR (0V;5V). Pokud je hodnota STEP 0V, motor po tento pulz zůstává v klidu. Pokud je hodnota STEP 5V, motor se při tomto pulzu otočí o 1 krok. Hodnota DIR poté udává, jestli se motor pootočí v kladném smyslu otáčení, nebo ve smyslu opačném. Krokový motor má standardně 200 krokových poloh. Řídicí deska je schopna každý z dvou set kroků rozdělit na 16 mikrokroků. Krokový motor má tedy až 3200 jednotlivých poloh. Motor je schopný se pootočit až o pouhých $0^{\circ}6'45''$ na jeden pulz.

Aby byl software MACH3 použitý pro řízení naší frézky schopný ovládat motory, musí se správně nastavit. V programu se nastaví, o kolik kroků je potřeba motor pootočit, aby se vykonal pohyb po příslušné ose 1mm.

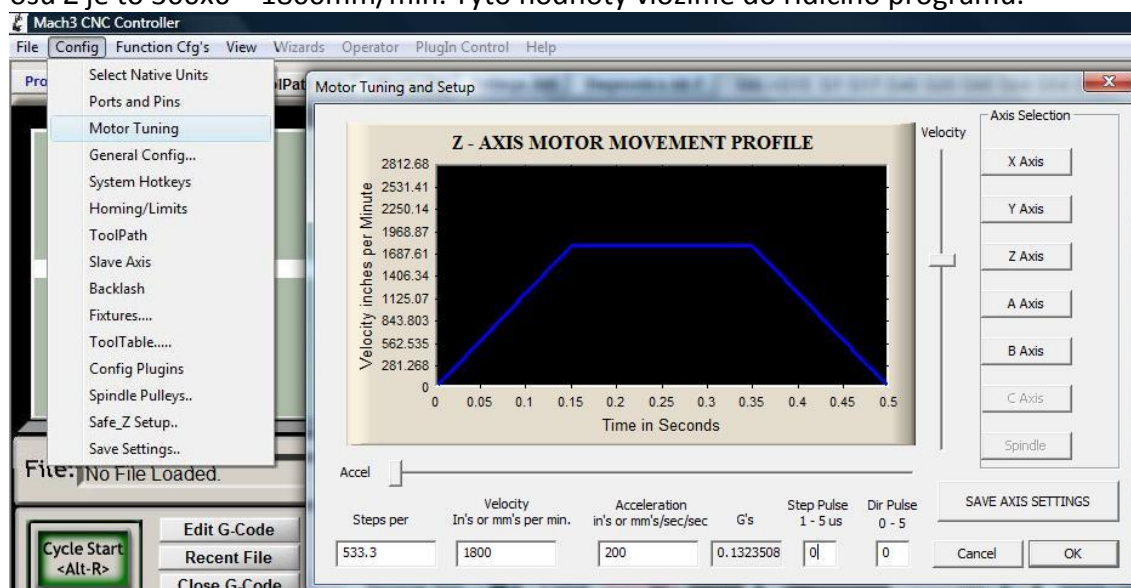
V ose X a Y jsou motory osazeny řemenicemi o středním průměru 23.87mm. Na jedno otočení se tedy osa posune o obvod řemenice $O = \pi d = \pi \times 23.87 = 74.99\text{mm}$. Tento vztah vyřešíme trojčlenkou.

3200 kroků	74.99 kroků	$x = \frac{1}{74.99} \times 3200 = 42.67 \text{ kroků}$
x mm	1 mm	

Trojčlenkou jsme zjistili, že pro posunutí os X a Y o 1mm je potřeba pootočení motoru o 42.67 kroku.

Podobným způsobem spočítáme počet kroků pro motor osy Z. Tato osa je rozpořehována pomocí trapézového šroubu se stoupáním 6mm. Na posunutí osy Z o 1mm připadá $3200/6 = 533.3$ kroku.

Dále je potřeba spočítat maximální rychlost posuvu. Maximální rychlost otáčení krokových motorů je 300ot./min.. Maximální rychlost posuvu spočítáme jako součin maximálních otáček a posuvu na otáčku. Pro X a Y je to $300 \times 74.99 = 22497\text{mm/min}$ a pro osu Z je to $300 \times 6 = 1800\text{mm/min}$. Tyto hodnoty vložíme do řídicího programu.



obr.5. nastavení krokových motorů

3.2 Orientační zkouška nastavení

Když máme všechno připraveno a nastaveno, připojíme si desku k počítači pomocí LPT (paralelního portu) a zmáčkeme blikající resetovací tlačítko v levém dolním rohu. Pokud je vše správně nastaveno, měly by nám motory začít vydávat takový šumivý zvuk, to je projev napětí a vytvoření magnetického pole v motorech. Nyní můžeme vyzkoušet hýbat s jednotlivými osami. Pomocí šipek **doprava** a **doleva** je to osa X, **nahoru** a **dolů** osa Y a pro osu Z použijeme tlačítka **page up** a **page down** (kladný směr osy je znázorněn tučně). Kdo by chtěl, může si tyto tlačítka změnit na libovolnou kombinaci.

3.2.1 Když motory jezdí opačně

Při těchto prvních pokusech také zjistíme, zda máme motory zapojeny ve správném směru. Pokud zmáčknete šipku doprava pro kladný posuv ve směru x, ale stroj se pohybuje opačně, nemusíte si dělat těžkou hlavu. Způsobů opravy je několik. Jeden z nejvražednějších je do každého výrobního programu dávat opačné měřítko osy X pomocí příkazu G51 X-1,

dále je možné nastavit řídicí software, aby hodnoty převracel sám a nebo, což je asi ta úplně nejjednodušší cesta, obrátíme polaritu jednoho ze dvou vinutí motoru. To znamená, že prohodíme modrý kabel za žlutý nebo zelený kabel s červeným a výsledek bude stejný.

4 Základy CNC programování

Nyní je na čase vyzkoušet si napsat první CNC prográmek. Prográmek poskládám ze základních funkcí programovacího jazyka pro CNC stroje.

G0 X.. Y.. Z.. – pohyb na cílové souřadnice po přímce maximální rychlostí posuvu stroje

G1 X.. Y.. Z.. F... – pohyb na cílové souřadnice zadaným pracovním posuvem

G2 X.. Y.. Z.. I.. J.. F.. - pohyb po kružnici po směru hodinových ručiček

G3 X.. Y.. Z.. I.. J.. F.. – pohyb po kružnici proti směru hodinových ručiček

G54 – použití přednastaveného posunutí nuly (př. na roh svěráku)

M3/4 S.. – roztočení vřetena (po směru/ protisměru hodinových ručiček)

M5 – zastavení vřetena

M30 – konec programu

M47 – převinout program a začít znovu od začátku

G90 – programování pomocí absolutních souřadnic

G91 – relativní programování (programování posuvu z předchozí pozice nástroje)

X.. – zadání souřadnice ve směru osy X

Y.. – zadání souřadnice ve směru osy Y

Z.. – zadání souřadnice ve směru osy Z

I.. – zadání souřadnice středu kruhu ve směru X, relativně k počátku kruhu

J.. – zadání souřadnice středu kruhu ve směru Z, relativně k počátku kruhu

F.. – rychlost posuvu - defaultně mm/min (G94), dále ještě posuv na otáčku (G95)

S.. – rychlost otáčení vřetene 1/min

N.. – číslo řádku (čísla mohou mít libovolnou diferenci,

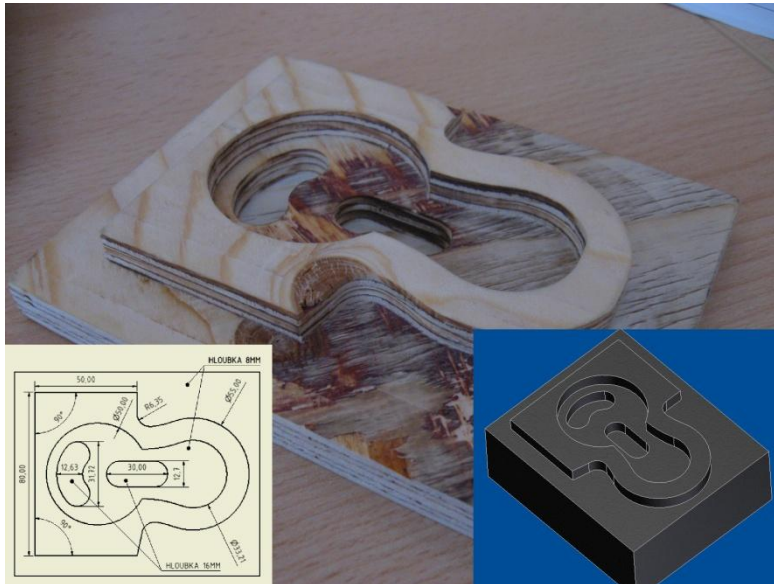
nesmí se opakovat a musí být seřazena vzestupně)

Hotový program by mohl vypadat třeba následovně:

```
%.....zahájení programu
O0420 (DOMEK JEDNIM TAHEM) ..strojní název programu (libovolný popis)
N10 G54.....posunutí nuly
N12 G90.....absolutní programování
N14 G94.....posuv 1/min
N16 G20.....nastavení pracovních jednotek na mm
N20 M3 S2500 .....roztočení vřetene rychlostí 2500 ot/min
N30 G0 X0 Y0 Z20.....rychluposuv na X0 Y0 Z20
N40 G0 Z5
N50 G1 Z-2 F500 .....pracovní posuv na Z-2 rychlostí 500mm/min
N60 G1 X-10
N70 G1 X0 Y10
N80 G1 X-10
N90 G1 X-5 Y15
N100 G1 X0 Y10
N110 G1 X0 Y0
N120 G1 X-10 Y10
N130 G1 X-10 Y0
N140 G0 Z200 .....rychluposuv do bezpečné vzdálenosti na Z200
N150 M30.....konec pracovního programu
%.....ukončení programu
```

5 Výroba prototypu

Poslední částí mojí práce a ověření funkčnosti frézky bylo vytvoření modelu, který obsahoval tvary, na kterých se dala ověřit kolmost a rovnoběžnost stran, délky stran, poloměry oblouků, popřípadě délky a hloubky drážek. Proto jsem vytvořil model, vytvořil CNC program na obrobení a nechal vyrobít na frézce posuvem 300mm/min, hloubkou třísky 3mm a otáčkami 30.000 ot/min.. Po necelé půl hodině práce dvoubřitou 12mm stopkovou dvoubřitou frézou na dřevo bylo hotovo. Poté jsem výrobek oměřil a získané hodnoty jsem porovnal s rozměry modelu.



*obr.6. výroba modelu
(v pozadí obrobek, vlevo Inventor-výkres,
vpravo Inventor-model)*

Měřením jsem dosáhl výsledku, že frézka je schopna najíždět s přesností 0.1mm v osách X a Y. V ose Z je to díky trapézovému šroubu Tr12x6 pouhých 0.05mm. Kolmost os X a Y je uspokojivá. Pohybuje se do 0.6° ($0^\circ 36'$). Kolmosti os X a Y jsem dosáhl pomocí přesnosti výroby využitých CNC strojů. Kolmosti os X a Y je dosažena pomocí přefrézování pracovního stolu samotným strojem. Výsledky měření jsou uspokojivé a lze frézku použít pro obrábění dřevěných materiálů.

6 Rozpočet použitého materiálu

Název	Kč / ks (m, m ²)	počet ks	cena
Výsuv kuličkový 17x10x406mm	17 Kč	12	204 Kč
Axiální kuličkové ložisko 51100	54 Kč	1	54 Kč
radiální kuličkové ložisko 60000	40 Kč	4	160 Kč
Překližka 15mm (m ²)	530 Kč	0,35	186 Kč
Překližka 20mm včetně formátování (m ²)	1 200 Kč	1	1 200 Kč
profil T50 (m)	143 Kč	1,68	240 Kč
driver krokových motorů pro 3 osy	1 444 Kč	1	1 444 Kč
krokový motor NEMA23 (56mm)	474 Kč	1	474 Kč
krokový motor NEMA23 (76mm)	542 Kč	2	1 084 Kč
zdroj 24V	675 Kč	1	675 Kč
trapézový šroub Tr12x6 (m)	148 Kč	0,6	89 Kč
trapézová matice Tr12x6	138 Kč	1	138 Kč
pružná spojka 24x25mm	108 Kč	1	108 Kč
řemenice 15-05M-15 6F(23,87mm)	32 Kč	4	128 Kč
řemen 05M-10 PU HTD (m)	127 Kč	3	381 Kč
vřeteno 700W, 30.000 ot./min	920 Kč	1	920 Kč
strojní svěrák	310 Kč	1	310 Kč
šrouby a elektroinstalace	500 Kč	1	500 Kč
poštovné	120 Kč	4	480 Kč
	Celkem		8 775 Kč

Závěr

Při vytváření svojí práce jsem se naučil základní pojmy z oboru frézování. Okrajově jsem nahlédl do problémů spojených s návrhem konstrukce a složitosti výpočtů. Vytvořil 3D model, který jsem později otestoval pomocí pevnostní analýzy. Jednotlivé díly jsem jeden po druhém postupně vyráběl na CNC frézce a skládal dohromady. Při sestavování konstrukce jsem se naučil, že ani funkční 3D model není stoprocentní. Musel jsem dodatečně do spodní desky a příčnicku (viz. výkresy v příloze) dodělat otvor kvůli montáži unašeče stolu nebo vřeteníku (viz. výkresy v příloze).

Dále jsem se naučil ovládat základní funkce CNC programu MACH3 a jeho propojení se strojem. Naučil jsem se princip fungování krokových motorů a řízení pomocí STEP-DIR instrukcí. Naučil jsem základy CNC programování, ovládání CNC frézky a základní poznatky z obrobitelnosti materiálů.

Na svém projektu bych chtěl dále pokračovat a osadit jednotlivé osy referenčními spínači. Jako referenční spínače pro jednotlivé použiji optozávory, které umožní referenci stroje s přesností až 0.01mm.