

**UNIVERZITA PARDUBICE**  
Fakulta elektrotechniky a informatiky

**MODELÁŘSKÁ CNC FRÉZKA**

Martin Knížek

Bakalářská práce  
2015

Univerzita Pardubice  
Fakulta elektrotechniky a informatiky  
Akademický rok: 2014/2015

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Martin Knížek**  
Osobní číslo: **I12070**  
Studijní program: **B2646 Informační technologie**  
Studijní obor: **Řízení procesů**  
Název tématu: **Modelářská CNC frézka**  
Zadávací katedra: **Katedra řízení procesů**

### Z á s a d y   p r o   v y p r a c o v á n í :

Cílem bakalářské práce je návrh a realizace modelářské CNC frézky, včetně elektronické řídicí jednotky. Pro zajištění pohybu stroje budou použity bipolární krokové motory. Pro ovládání frézky bude použit standardní software, běžně využívaný pro ovládání CNC strojů (například software MACH3). Elektronická řídicí jednotka bude připojena k PC přes jeho paralelní port (případně přes jiný komunikační port osobního počítače). Ovládací signály portu počítače budou kompletně galvanicky odděleny od obvodů elektronické řídicí jednotky. Součástí práce bude kompletní výrobní dokumentace, včetně zdrojových kódů použitého software a ukázkového NC kódu pro demonstraci funkčnosti realizovaného zařízení.

Rozsah grafických prací:

Rozsah pracovní zprávy:

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

Seznam odborné literatury:

**Matoušek David, Práce s mikrokontroléry ATMEL AVR - 3. díl edice uP a praxe, 2. vydání, BEN - technická literatura, 2006, ISBN 80-7300-209-4**  
**PLÍVA Zdeněk Eagle Prakticky, BEN-technická literatura, 2010, ISBN 978-80-7300-252-7**

**BORSKÝ, V. Obráběcí stroje, ISBN 80-214-0470-1**

**BORSKÝ, V. Základy stavby obráběcích strojů, VUT Brno**

**MAREK, J. a kol. Konstrukce CNC obráběcích strojů, 2. rozšířené vydání; ISBN978-80-254-7980-3**

**ŠTULPA, M. CNC obráběcí stroje a jejich programování, ISBN: 80-7300-207-8**

Vedoucí bakalářské práce:

**Ing. Libor Havlíček, Ph.D.**

Katedra řízení procesů

Datum zadání bakalářské práce:

**18. prosince 2014**

Termín odevzdání bakalářské práce:

**11. května 2015**

prof. Ing. Simeon Karamazov, Dr.  
děkan



L.S.

Ing. Daniel Honc, Ph.D.  
vedoucí katedry

V Pardubicích dne 31. března 2015

## **Prohlášení**

Prohlašuji:

Tuto práci jsem vypracoval samostatně. Veškeré literární prameny a informace, které jsem v práci využil, jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

Byl jsem seznámen s tím, že se na moji práci vztahují práva a povinnosti vyplývající ze zákona č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména se skutečností, že Univerzita Pardubice má právo na uzavření licenční smlouvy o užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona, a s tím, že pokud dojde k užití této práce mnou nebo bude poskytnuta licence o užití jinému subjektu, je Univerzita Pardubice oprávněna ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložila, a to podle okolností až do jejich skutečné výše.

Souhlasím s prezenčním zpřístupněním své práce v Univerzitní knihovně.

V Pardubicích dne 03. 05. 2015

Martin Knížek

## **ANOTACE**

Práce se věnuje problematice konstrukcí CNC frézek a jejich řízení. Byla zkonstruována malá CNC frézka umožňující pohyb vřetena ve 3 osách. Pohyb zajišťují krokové motory. Jejich rotační pohyb je převeden na posuvný, motory jsou ovládány drivery s integrovanými obvody od firmy Toshiba. Celkové řízení zajišťuje software CNC-USB, který využívá řídicí desku s obvodem typu PIC. V práci je dále popsána obsluha software, konstrukce samotné frézky a její funkčnost.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

CNC, frézka, krokový motor, lineární vedení, CNC-USB

## **TITLE**

Small CNC milling machine

## **ANNOTATION**

The work is focused on construction and controlling of CNC milling machines. The small CNC milling machine was constructed and it allows the movement of spindle in 3 axes. The movement is secured by stepper motors and its rotational movement is transferred to shifting movement. Stepper motors are operated by ICs made by Toshiba. The whole controlling is secured by CNC-USB software, which is using controlling board with PIC type IC on it. The work is also focused on operations with software, specific milling machine construction and its functionality.

## **KEYWORDS**

CNC, milling machine, stepper motor, linear guides, CNC-USB

## Obsah

Seznam zkratk	10
Seznam značek	11
Seznam ilustrací	12
Seznam tabulek	13
ÚVOD	14
1 ÚVOD DO NC A CNC	15
1.1 REŠERŠE LITERATURY	15
2 DRIVER KROKOVÉHO MOTORU	16
2.1 PRINCIP KROKOVÉHO MOTORU	16
2.1.1 Hybridní krokový motor	16
2.2 DRIVER S TB6560AHQ	19
2.2.1 Omezení výstupního proudu	20
2.2.2 Vstup hodinového signálu	21
2.2.3 Pin ENABLE	22
2.2.4 Vstup RESET	22
2.2.5 Zemnicí piny	23
2.2.6 Vnější nastavení frekvence oscilátoru	23
2.2.7 Napájecí piny	23
2.2.8 Piny pro buzení motoru	23
2.2.9 Nastavení maximálního výstupního proudu	24
2.2.10 Stavové výstupy driveru	24
2.2.11 Řízení směru rotace	24
2.2.12 Nastavení režimu buzení	25
2.2.13 Nastavení decay	25
2.3 NAPÁJENÍ	26
2.4 DPS DRIVERU	26
3 ŘÍZENÍ DRIVERŮ	27
3.1 CNC-USB CONTROLLER	27
3.1.1 Připojení driverů	28
3.1.2 Koncové spínače	29
3.1.3 E-STOP	30
4 SOFTWARE	30

4.1 CNC-USB ZÁKLADNÍ FUNKCE .....	30
4.1.1 Hlavní okno .....	31
4.1.2 Panely pozice/stav/program .....	31
4.1.3 Grafická vizualizace programu .....	32
4.1.4 G-code okno a panel pro manuální zadávání .....	32
4.1.5 Panely nástrojů .....	33
4.2 CNC-USB NASTAVENÍ A KALIBRACE .....	33
4.2.1 Záložka General .....	34
4.2.2 Záložka Axes .....	34
4.2.3 Záložka Axes – Limits .....	35
4.2.4 Snímač délky nástroje .....	35
5 KONSTRUKCE FRÉZKY .....	36
5.1 VEDENÍ .....	36
5.1.1 Nepodepřené tyče .....	36
5.1.2 Podepřené tyče .....	37
5.1.3 Prizmatické vedení .....	37
5.2 POHYB LINEÁRNÍHO VEDENÍ .....	37
5.2.1 Trapézový šroub .....	38
5.2.2 Kuličkový šroub .....	38
5.2.3 Ozubený řemen .....	39
5.2.4 Ozubený hřeben .....	39
5.3 POHONY VEDENÍ .....	40
5.4 VŘETENO .....	40
5.5 CO <sub>2</sub> SVÁŘENÍ .....	41
5.6 VIZUALIZACE .....	41
5.6.1 Stůl pod frézku .....	41
5.6.2 Posuv v ose Y .....	42
5.6.3 Posuv v ose X .....	42
5.6.4 Posuv v ose Z .....	43
5.7 VLASTNÍ KONSTRUKCE .....	43
6 ZHODNOCENÍ .....	44
7 ZÁVĚR .....	46
LITERATURA .....	47
Seznam příloh .....	49

## Seznam zkratek

CLK	clock
CNC	Computer Numeric Control
CW/CCW	Clockwise/Counter clockwise
DIR	direction
DPS	deska plošných spojů
E-STOP	emergency stop
GND	ground
GUI	Graphical User Interface
HW	hardware
M	mode
MACH	Multi-User Communication Kernel
NC	Numerical Control
OUT	output
PM	permanentní magnet
TQ	torque
USB	Universal Serial Bus
VR	variabilní reluktance



## Seznam značek

$I$	elektrický proud, A
$R$	elektrický odpor, $\Omega$
$U$	elektrické napětí, V
$P$	výkon, W
$\varphi$	úhel natočení, $^\circ$
$z$	počet zubů
$f$	počet fází
$p$	počet pólů

## Seznam ilustrací

Obr. 2.1 – Konstrukce hybridního krokového motoru .....	17
Obr. 2.2 – Stator hybridního krokového motoru .....	17
Obr. 2.3 – Princip krokování u hybridního krokového motoru .....	18
Obr. 2.4 – TB6560AHQ .....	19
Obr. 2.5 – Zapojení pinů TQ1 a TQ2 .....	20
Obr. 2.6 – Vstup CLK .....	21
Obr. 2.7 – Pin ENABLE .....	22
Obr. 2.8 – Připojení pinu RESET .....	22
Obr. 2.9 – Připojení vnějšího kondenzátoru pro nastavení frekvence oscilátoru .....	23
Obr. 2.10 – Schéma zapojení stabilizátoru .....	26
Obr. 2.11 – Deska driveru .....	27
Obr. 3.1 – CNC-USB Controller .....	28
Obr. 3.2 – DPS a rozmístění součástek přídatné desky .....	29
Obr. 3.3 – Rozmístění vstupů koncových spínačů a mikrospínač ZIPPY .....	29
Obr. 4.1 – Hlavní okno programu .....	31
Obr. 4.2 – Horní panel nástrojů .....	33
Obr. 4.3 – Postranní panel nástrojů .....	33
Obr. 4.4 – Nastavení .....	34
Obr. 4.5 – Měření délky nástroje .....	35
Obr. 5.1 – Vozík s kuličkovým ložiskem a nepodepřená tyč .....	36
Obr. 5.2 – Otevřený vozík s ložiskem a podepřená tyč .....	37
Obr. 5.3 – Vozík a kolejnice prizmatického vedení .....	37
Obr. 5.4 – Trapézový šroub, matice a vozík pro matici .....	38
Obr. 5.5 – Kuličkový šroub .....	38
Obr. 5.6 – Lineární osa s řemenem .....	39
Obr. 5.7 – Ozubený hřeben s pastorkem .....	39
Obr. 5.8 – Přímá bruska DWT .....	40
Obr. 5.9 – Vizualizace stolu .....	41
Obr. 5.10 – Vizualizace posuvu v ose Y .....	42
Obr. 5.11 – Vizualizace posuvu v ose X .....	42
Obr. 5.12 – Vizualizace posuvu v ose X .....	43
Obr. 6.1 – Testovací obrobek .....	45

## Seznam tabulek

Tab. 2.1 – Nastavení velikosti výstupního proudu .....	19
Tab. 2.2 – Nastavení režimu decay .....	23
Tab. 2.3 – Nastavení režimu buzení .....	24
Tab. 6.1 – Výsledné parametry frézky .....	45

## ÚVOD

K automatizaci obráběcích a jiných strojů slouží číslicové řízení (NC). Toto řízení probíhá přes abstraktně programované příkazy. Počátky číslicového řízení byly ve 40. a 50. letech 20. století. Od té doby systémy již značně pokročily a přinášejí tak revoluci ve výrobních procesech. Hlavním cílem číslicového řízení obráběcích strojů je zvýšení přesnosti a rychlosti procesu výroby. Tato práce se zabývá konkrétním obráběcím strojem a to CNC frézku.

Frézka samotná je obráběcí stroj určený k frézování. Frézka obrábí rovinné a tvarové plochy. Hlavním nástrojem je fréza, obvykle se jedná o rotační nástroj souměrného tvaru s několika břity. Profesionální CNC frézky se cenově pohybují v řádech statisíců Kč, tudíž jsou nedostupné pro běžné použití.

Pro konstrukci vlastní CNC frézky jsem se rozhodl vlivem zájmu o automatizované stroje, chtěl jsem proniknout do problematiky konstrukce a řízení těchto strojů. Na ovládání krokových motorů jsem vybral driver Toshiba TB6560AHQ. Tento velice univerzální integrovaný obvod umožňuje řízení krokových motorů pomocí přivedeného signálu impulsů.

Řízení driverů zajišťuje software CNC-USB, ten pro řízení využívá desku USB CNC Mk.1. Deska komunikuje přes rozhraní USB. Řízení by bylo také možné provést přes software MACH 3.0 a paralelní rozhraní. Deska Mk1 umožňuje řízení až ve čtyřech osách. V této práci jsou využity pouze osy tři. Pohybem v osách rozumíme pohyb v běžném třírozměrném kartézském systému souřadnic.

Podstatná část práce se zabývá konstrukcí frézky, ta bude konstruována buď ze zakoupených hotových dílů, nebo z dílů vyrobených v domácí dílně. Použité díly a materiály jsou běžně dostupné.

Hlavní očekávání jsou přesnost, spolehlivá funkčnost a co nejmenší finanční náročnost.

# 1 ÚVOD DO NC a CNC

První NC stroje vykonávaly příkazy na základě programu uloženého na dřerném štítku, dřerné pásce nebo na magnetické pásce. NC stroje byly řízeny vlastním řidicím systémem uloženým v samostatné skřině umístěné poblíž stroje. Řízení se skládá z čtečky programu a převodníku programu, který generuje signály potřebné pro řízení daného stroje.

Po roce 1970 vznikly první CNC stroje, tyto stroje jsou vybaveny vlastním počítačem (nebo mikro počítačem), který řídí celý výrobní proces. Paměť počítače umožňuje uložení většího počtu programů a zároveň zpětnou vizuální kontrolu řízeného procesu. Dnes je běžně používaný standart pro programování CNC strojů G-Code (též RS-274). (VOŠ A SPŠ Žďár nad Sázavou, 2006)

## 1.1 REŠERŠE LITERATURY

Možné řešení konstrukce CNC frézky je předmětem bakalářské práce Josefa Knapila z VUT Brno. Jeho práce popisuje několik možností lineárního posuvu s využitím různých druhů kolejnic. Pro posuv používá krokové motory, jejichž rotační pohyb je převeden na posuvný pomocí trapézového šroubu a matice. Na posuv používá nepodepřené tyče, pravděpodobně pro jejich nízkou cenu a nenáročnost jeho řešení. Ovládání krokových motorů umožňuje driver od Dongguan Aerospace s nezávislými budiči Toshiba TB6560AHQ, které mohou řídit motory s proudem až 3,5A. Jako řidicí software byl použit program MACH 3, který komunikuje přes LPT rozhraní. Frézka má sloužit k modelářským účelům. (Knapil, 2013)

Projekt Shape Oko je stavebnice, kterou výrobce zašle poštou a lze tak sestavit CNC frézku doma. Výhodou bude zřejmě vysoká přesnost dodaných dílů a bezproblémové sestavení. Velkou nevýhodou je cena, která se u nejnovější verze pohybuje okolo tisíce dolarů a to bez dopravy, která může cenu značně navýšit. Tento způsob řešení byl zhodnocen jako nevyhovující a to jak pro vysokou cenu, tak i pro nízkou možnost využití vzhledem k již zmíněné ceně. (SHAPEOKO, 2015)

Článek Domácí CNC fréza na webu „RYU.cz“ se zabývá právě konstrukcí CNC frézky v domácím prostředí. Autorem projektu je Petr Holeček a využívá již zmíněný „Shape Oko kit“. Jeho konstrukce je tedy celkem snadná vzhledem k hotovým dílům. (Holeček, 2013)

## 2 DRIVER KROKOVÉHO MOTORU

Driver krokového motoru je ovládací zařízení, v tomto případě se jedná o DPS s integrovaným obvodem TB6560AHQ. Slouží zde pro řízení dvoufázového krokového motoru. Musí také zajistit šetrné zacházení s motorem. Krokový motor se může neúměrně zahřívat, pokud není v pohybu a není omezen proud protékající jeho vinutím.

### 2.1 PRINCIP KROKOVÉHO MOTORU

Jak vyplývá z názvu, krokový motor vykonává pohyb v krocích, tyto kroky se obvykle spojí v otáčivý pohyb. Jako většina motorů se skládá ze statoru a rotoru. Rotor je uložen ve dvou štítech s ložisky. Rotor tvoří buď železné jádro (variabilní reluktance) nebo permanentní magnet (PM). Možné je také hybridní řešení, kdy je permanentní magnet vložen do pevného nebo laminovaného železného jádra.

Stator se obvykle skládá z ocelových lamel s drážkami, v kterých se nacházejí měděná vinutí. V levnějších verzích je jako vinutí použito několik cívek.

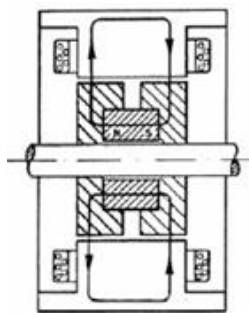
Motor s variabilní reluktancí má rotor vyrobený z měkkého železa a je vybaven řadou zubů. Při připojení proudu na vinutí statoru bude vybuzeno magnetické pole v jednom páru pólů. Pokud je proud k prvním párům pólů přerušen a aktivuje se druhý pár pólů, rotor se pootočí o jeden krok. Motor s variabilní reluktancí může dosáhnout vysokých otáček, ale s relativně malým točivým momentem. Tento typ motoru se dnes téměř nepoužívá.

Motor s permanentními magnety má rotor bez zubů, ale s integrovaným, permanentním magnetem. Jako v předchozím případě se bude motor pootáčet po jednotlivých krocích, když budou správně napájeny cívky statoru. PM motor má široké využití pro jeho velmi nízkou cenu a relativně velký točivý moment. Využívá se například pro inkoustové tiskárny, počítače, klimatizace, atd.

Motor vybraný pro CNC frézku je Nema23, s instalační délkou 41mm. Typ B označuje konstrukční řešení motoru s oboustrannou osou, což je vhodné pro využití manuálního posuvu. Konstrukční řešení motoru je výše zmíněné hybridní. Úhlový krok motoru je  $1,8^\circ$ , motor má 50 zubů rotoru a 50 zubů na statoru. Padesát zubů na rotoru umožňuje čtyři různé pozice na zub. (Pohonnatechnika.cz, 2007)

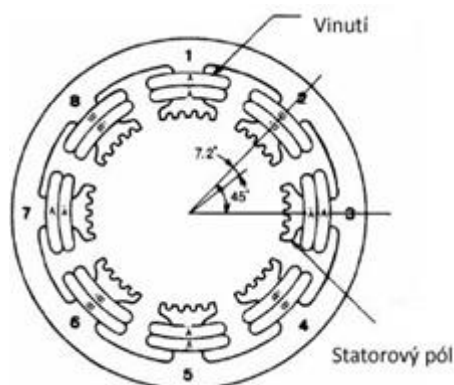
#### 2.1.1 Hybridní krokový motor

Hybridní motor kombinuje několik vlastností, je to spojení vysokorychlostního VR motoru a silného PM motoru.



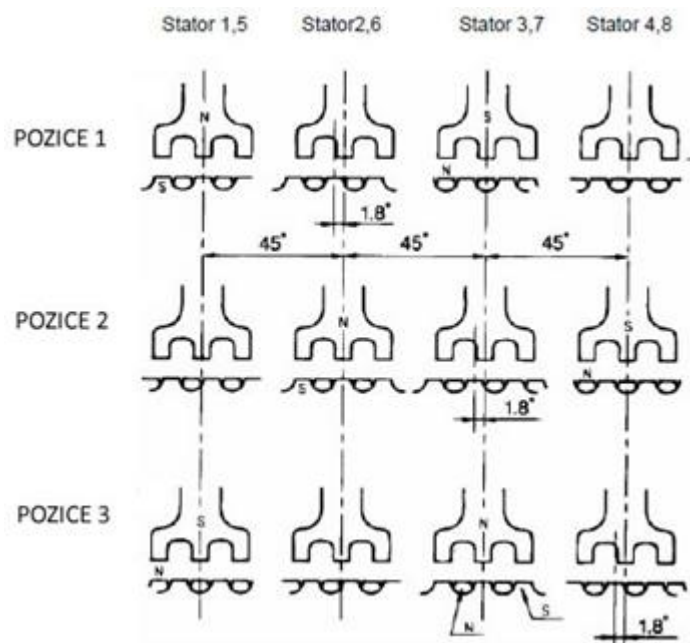
Obr. 2.1 – Konstrukce hybridního krokového motoru

Konstrukce hybridního krokového motoru sestává běžně z několika částí. Obvykle ji tvoří 8 statorových pólů, které jsou opatřeny zuby. Na každém pólu statoru jsou dvě vinutí, což magnetickému poli umožňuje být severním nebo jižním pólem, v závislosti na směru protékajícího proudu. (Pohonnatechnika.cz, 2007)



Obr. 2.2 – Stator hybridního krokového

Rotor hybridního krokového motoru se skládá ze dvou laminátových kol, podobných ozubeným kolům. Uvnitř kol je permanentní magnet vyrobený z neodymu. Každá laminátová polovina kola je pootočená tak, že zuby na jedné straně odpovídají vybraným zubům na straně druhé. První polovina je severním pólem a druhá polovina je pólem jižním. (Pohonnatechnika.cz, 2007)



Obr. 2.3 – Princip krokování u hybridního krokového motoru

Rotor v pozici 1 je přímo naproti statoru 1,5, který je pod napětím a vlivem protékajícího proudu vinutím je severní pól. Jižní pól statoru 3,7 je uprostřed proti severnímu pólu rotoru.

V pozici 2 jsou zmagnetizovány póly 2,6 a 4,8. Rotor se proto posune o  $\frac{1}{2}$  zubu, ve výsledku to znamená pootočení o  $1,8^\circ$ . Ve statoru vytvořené rotující magnetické pole způsobuje, že rotor najde několik samostatných stabilních pozic.

Pozice 3 je téměř shodná s pozicí 1, jediný rozdíl je posun rotoru o jeden celý zub oproti výchozí poloze.

Úhel  $\varphi$  jednoho kroku je vyjádřen vztahem

$$\varphi = \frac{360}{z \cdot f \cdot p} \quad (2.1)$$

kde  $z$  je počet zubů,

$f$  – počet fází,

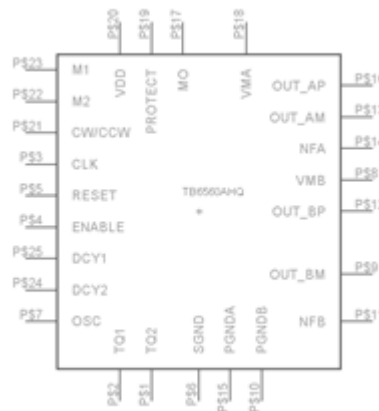
$p$  – počet pólů rotoru.

Pokud do vztahu dosadíme  $z = 50$ ,  $f = 2$  a  $p = 2$  vychází, že velikost jednoho kroku je  $1,8^\circ$ . Což nám dává na jedno celé otočení 200 kroků.



## 2.2 DRIVER S TB6560AHQ

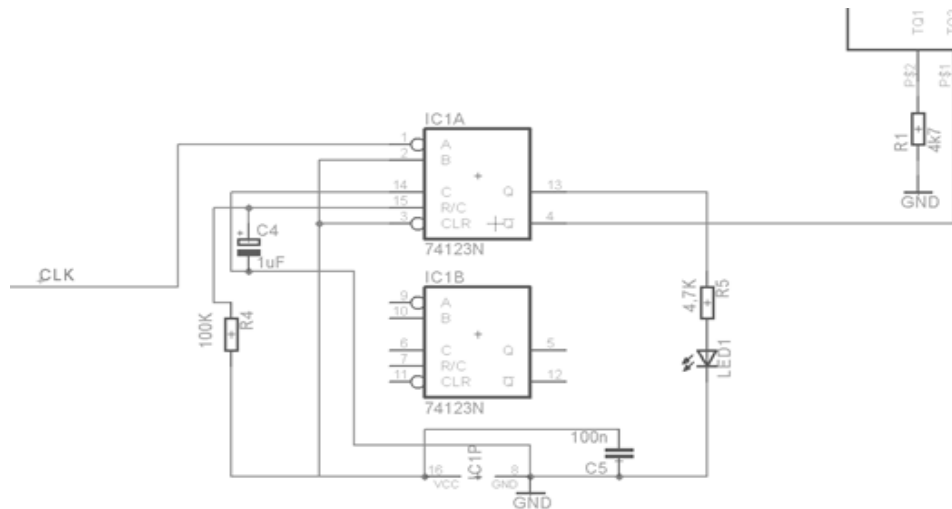
Na doporučení vedoucího práce byl vybrán obvod TB6560AHQ, je to integrovaný obvod navržený pro buzení dvoufázových krokových motorů. Může být použit pro následující budící režimy: 2-fázové, 1-2-fázové, 2W1-2-fázové a 4W1-2-fázové buzení. Obvod je schopen řídit dvoufázový motor s nízkým překmitem, vysokou spolehlivostí a to pouze s využitím obdélníkového budícího signálu, společně s příslušnými řídicími signály. Drivery budou celkem 3, každý bude budít jeden krokový motor pohonu jedné osy.



Obr. 2.4 – TB6560AHQ

Obvod umožňuje rotaci motoru oběma směry v závislosti na přivedeném řídicím signálu pro směr (DIR). Je konstruován pro výstupní napětí až 40 V. Maximální špičkový, výstupní proud je 3,5 A. Obvod pracuje s dvěma logickými úrovněmi napětí. Nízká úroveň (L), neboli logická „0“, se pohybuje v rozmezí -0,2 V až 0,8 V. Vysoká úroveň (H), neboli logická „1“, se pohybuje od 2,0 V až do výše napájecího napětí logické části obvodu. Na vstupu jsou vnitřní pull-down rezistory o hodnotě 100 k $\Omega$ , které nastavují vstupy na log. „0“. Obvod také obsahuje tepelnou ochranu proti přehřátí. (Toshiba, 2011)

## 2.2.1 Omezení výstupního proudu



Obr. 2.5 – Zapojení pinů TQ1 a

Vstupní piny TQ1 a TQ2 jsou využívány pro omezení velikosti výstupního proudu. Ve výchozím stavu, kdy není přiveden žádný hodinový signál (CLK), je negovaný výstup ( $\bar{Q}$ ) monostabilního klopného obvodu typu 74123N na úrovni logické „1“. Výstup  $\bar{Q}$  monostabilního klopného obvodu je přiveden na vstup TQ2. Vstup TQ1 je natrvalo nastaven na logickou „0“ rezistorem R1. Toto nastavení, dle tabulky 2.1, snižuje velikost výstupního proudu na 50% maximální hodnoty.

Tab. 2.1 – Nastavení velikosti výstupního proudu

TQ2	TQ	Velikost proudu
L	L	100%
L	H	75%
H	L	50%
H	H	20%

Jiná situace nastane ve chvíli, kdy na vstupu A je přiveden signál CLK, na logické „0“ signálu se monostabilní klopný obvod překlápí a výstup  $\bar{Q}$  bude nastaven na úroveň logické „0“. To způsobí, že proud motor v pohybu může být maximální a ve chvíli kdy není třeba s motorem pohybovat bude největší možný proud pouze 50% maximálního. Tento způsob zapojení dává motoru určitou ochranu proti nadměrnému zahřívání ke kterému dochází v okamžiku, kdy motor stojí a protéká jím příliš velký proud. Když by teplota rotoru dosáhla

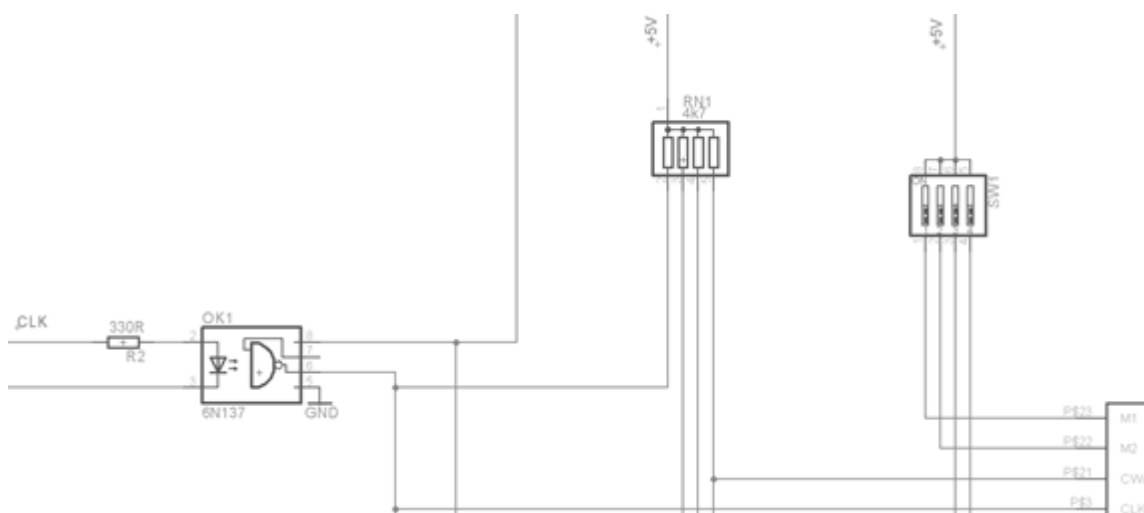
80°C neodýmový magnet uvnitř by ztratil své magnitecké vlastnosti a motor by nebyl nadále funkční.

Na výstup bez negace ( $Q$ ), monostabilního klopného obvodu typu 74123N, je připojena přes omezovací rezistor svítivá LED dioda LED1, která má signalizační funkci. Pokud není motor v provozu, tudíž proud je omezen na 50%, výstup  $Q$  má úroveň logické „0“ a LED dioda tedy nesvítí. Během provozu motoru, a možného maximálního proudu, LED dioda svítí a signalizuje tak aktivní stav driveru.

Aby monostabilní klopný obvod nereagoval na výchozí stav příliš rychle, je mezi piny  $C$  a  $R/C$  umístěn časovací kondenzátor s rezistorem (odpor  $R4$  a kondenzátor  $C4$ ), tato kombinace poskytuje dostatečné zpoždění reakce obvodu do následující náběžné hrany signálu CLK. Zabraňuje se tak nechtěnému omezování výstupního proudu během souvislého chodu motoru. (Toshiba, 2011; NXP Semiconductors, 2015)

### 2.2.2 Vstup hodinového signálu

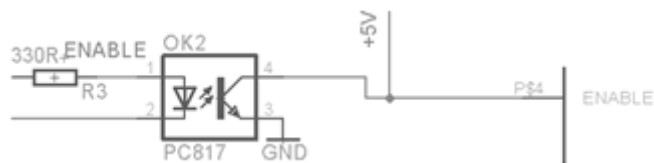
Signál CLK přivedený z řídicí desky, typu Mk1, je přes rezistor  $R2$  přiveden na vstup optočlenu OK1. Optočlen OK1 je integrován v obvodu 6N137, jeho výstupní signál je negován. Rezistor  $R2$  slouží jako předřadný, omezující rezistor, k infračervené diodě uvnitř optočlenu. Pro správnou funkci monostabilního klopného obvodu je vstup CLK připojen přes rezistorovou síť  $RN1$  na 5 V. Toto zapojení zajišťuje na vstupu monostabilního klopného obvodu hodnotu logické „1“. Optočlen samotný slouží pro galvanické oddělení logického signálu. (Toshiba, 2011)



Obr. 2.6 – Vstup CLK

### 2.2.3 Pin ENABLE

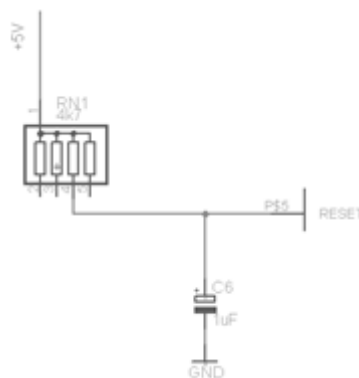
Vstup ENABLE slouží k zakázání/povolení výstupů driveru. Ve výchozím stavu je připojen na 5V přes odporovou síť RN1 (pull-up rezistory), což odpovídá úrovni logické „1“. To znamená, že všechny výstupy jsou povoleny. Pokud by na vstup optočlenu OK2 byl přiveden řídicí signál, infračervená dioda se rozsvítí, výstup bude uzemněn a vstup ENABLE nabude hodnotu logické „0“. V tomto stavu jsou všechny výstupy odpojené. Rezistor R3 opět plní roli předřadného odporu k infračervené diodě uvnitř optočlenu PC817. Optočlen opět slouží pro galvanické oddělení. (Toshiba, 2011)



Obr. 2.7 – Pin ENABLE

### 2.2.4 Vstup RESET

Tento pin při úrovni logické „0“ resetuje všechny výstupy do jejich počátečních hodnot. Je trvale připojen na odporovou síť RN1, která plní funkci pull-up rezistoru a nastavuje tak RESET na logickou „1“. Kondenzátor C6 vytvoří zpoždění asi 5ms. Důvod tohoto zpoždění bude vysvětlena v kapitole 2 2.16. (Toshiba, 2011)

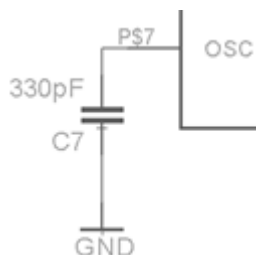


Obr. 2.8 – Připojení pinu RESET

### 2.2.5 Zemnicí piny

Všechny zemnicí piny jsou připojeny na záporný pól napájecího zdroje. U pinů PGNDA a PGNDB bylo třeba dbát širších cest, minimálně 1mm, proud těmito cestami může být až 3 A. (Toshiba, 2011)

### 2.2.6 Vnější nastavení frekvence oscilátoru



Obr. 2.9 – Připojení vnějšího kondenzátoru pro nastavení frekvence oscilátoru

Pro nastavení frekvence oscilátoru slouží kondenzátor C7, hodnota 330 pF odpovídá frekvenci 130 kHz. Pro tuto frekvenci musí být minimální šířka CLK pulsů 30 $\mu$ s. (Toshiba, 2011)

### 2.2.7 Napájecí piny

Napájecí pin VDD slouží pro napájení logické části obvodu. Od jeho hodnoty je odvozena maximální napěťová úroveň logické „1“. Obvod dovoluje použití napájecího napětí v rozmezí 4,5-5,5 V, v tomto konkrétním případě bylo zvoleno doporučené napájecí napětí 5 V.

Výkonové napájecí piny VM<sub>A</sub> a VM<sub>B</sub> napájí výkonovou část obvodu a slouží pro buzení cívek motoru. Proud těmito piny může být tedy až 3 A. Je proto nezbytné opět dbát na dostatečnou tloušťku spoje na DPS. Dle údajů výrobce toto napětí může být v rozmezí od 4,5 V do 40 V, použité napájecí napětí pro výkonovou část je 24 V. (Toshiba, 2011)

### 2.2.8 Piny pro buzení motoru

Na buzení motoru připojíme piny OUT<sub>BM</sub>, OUT<sub>BP</sub> a OUT<sub>AM</sub>, OUT<sub>AP</sub>. Každý pár na jednu skupinu vinutí. Jde opět o silové cesty, je tedy třeba volit větší šířku spoje na DPS. (Toshiba, 2011)

### 2.2.9 Nastavení maximálního výstupního proudu

Pro nastavení maximálního výstupního proudu výkonové části slouží piny obvodu  $N_{FA}$  a  $N_{FB}$ . Na tyto piny musí být připojeny rezistory a ty následně musí být připojeny na záporný pól napájecího zdroje. Je nezbytné, aby byly připojeny co nejkratší možnou cestou, kvůli možnému vzniku proudových smyček. Nežádoucí proudové smyčky mohou ovlivnit výstupní proud a to může způsobit ztrátu kroku motoru.

Výrobce udává maximální špičkový proud 3,5 A. Pro zvolený motor Nema23 je maximální proud 2,8 A. Hodnota rezistoru  $R$  pro nastavení proudu je dána vztahem

$$R = \frac{0,5}{I_{OUT}} \quad (2.2)$$

kde  $I_{OUT}$  je hodnota výstupního proudu. Pro zvolený proud 3 A je rezistor odpovídající hodnotě z rezistorové řady 0,15  $\Omega$ .

Proudové nastavení pracuje na principu snímání stavu pinu  $N_{FA}$  ( $N_{FB}$ ). Při zvyšování proudu na výstupech pro buzení motoru, stejný proud prochází referenčními rezistory, připojenými na pinech  $N_{FA}$  a  $N_{FB}$ . Je snímáno napětí na referenčních rezistorech a v okamžiku, kdy dosáhne 0,5V je dosaženo i maximálního dovoleného proudu. (Toshiba, 2011)

### 2.2.10 Stavové výstupy driveru

Výstupy  $M_O$  a PROTECT slouží pro indikaci stavů integrovaného obvodu TB6560AHQ. Oba výstupy jsou řešeny formou otevřeného kolektoru. Je proto nutné je připojit přes externí pull-up rezistor.

Výstup  $M_O$  indikuje správné zapnutí obvodu a připravenost driveru pokud je vše v pořádku je tento výstup uzemněn. Výstup PROTECT signalizuje případné přehřátí integrovaného obvodu. Při překročení teploty 170°C je obvod vnitřně vypnut a výstup PROTECT je uzemněn. (Toshiba, 2011)

### 2.2.11 Řízení směru rotace

Pro řízení směru rotace motoru slouží vstup CW/CCW. Pokud je na vstupu log. „0“ motor se točí ve směru hodinových ručiček. Při log. „1“ proti směru hodinových ručiček. Tento signál je galvanicky oddělen přes optočlen 4N25M (ve schématu označen jako OK3). (Toshiba, 2011)

### 2.2.12 Nastavení režimu buzení

Vstupní piny M1 a M2 slouží k nastavení režimu buzení, pro univerzálnost jsou připojeny na přepínače umístěné na DPS. Pokud by bylo třeba změnit režim buzení stačí je přenout do správné polohy. Možnosti nastavení buzení jsou v tabulce 2.3.

Tab. 2.2 – Nastavení režimu buzení

Vstupy		Režim buzení
M2	M1	
L	L	2-fázové
L	H	1-2-fázové
H	L	4W1-2-fázové
H	H	2W1-2-fázové

Pro použitý dvoufázový motor zůstanou přepínače vypnuté a na vstupech bude tedy nízká úroveň napětí vlivem vnitřních pull-down rezistorů. (Toshiba, 2011)

### 2.2.13 Nastavení decay

Běžně trvá až 4 oscilační cykly než klesne výstupní proud. Pro urychlení tohoto děje má obvod integrovanou funkci tzv. decay. Decay nastavují vstupní piny DCY1 a DCY2. Způsoby nastavení jsou v tabulce 2.2.

Tab. 2.3 – Nastavení režimu decay

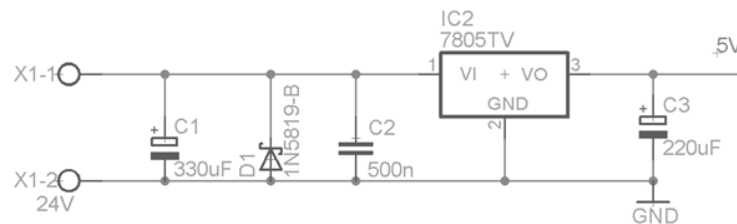
Vstupy		Nastavení úbytku proudu
DCY2	DCY1	
L	L	normální 0%
L	H	25%
H	L	50%
H	H	100%

Při 25% nastavení je úbytek proudu zvýšen ve čtvrtém cyklu. Nastavení 50% zvyšuje úbytek ve třetím a čtvrtém cyklu a při 100% je úbytek zvýšen od druhého do čtvrtého cyklu. Nastavení opět probíhá přes přepínače umístěné na DPS. (Toshiba, 2011)

## 2.3 NAPÁJENÍ

Pro dosažení zvoleného napájecího napětí byl použit spínaný průmyslový zdroj, výstupní napětí 24 V a trvalý výstupní výkon 350 W. Spínaný zdroj nabízí, v porovnání se spojitě regulovanými zdroji několik předností. Má vyšší energetickou účinnost (okolo 70 %), menší hmotnost vzhledem k výkonu a vyšší měrný výkon (výkon na jednotku objemu).

Na driveru je kromě 24 V, potřeba napájet logickou část a to napětím 5 V. Toho bylo dosaženo pomocí zapojení se stabilizátorem LM7805. Jelikož je z něj odebíraný proud v rámci mA, stačí pro jeho chlazení jen malý násuvný chladič. (Zaplatílek, 2015)



Obr. 2.10 – Schéma zapojení stabilizátoru

## 2.4 DPS DRIVERU

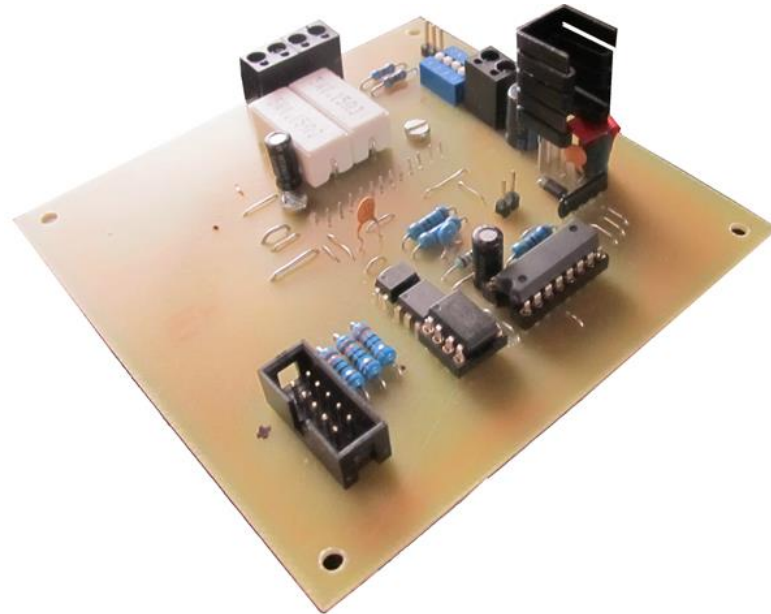
Při návrhu DPS, bylo třeba dbát na správné šířky spojů sloužících pro napájení výkonové části. Důraz byl také kladen na dostatečné mezery mezi cestami, aby nedošlo k nežádoucím zkratům. Nejmenší šířka cesty na desce je 0,6 mm. Byla také snaha minimalizovat počet propojek a vyhnout se propojkám ve výkonové části, což bohužel nebylo v případě zemnicích pinů úplně možné.

Integrovaný obvod TB6560AHQ je umístěn netradičně ze strany spojů, důvodem tohoto řešení je snadnější chlazení při tomto umístění. Teplo vytvářené obvodem se přes teplovodivou samolepící fólii přenáší do železného plechu o tloušťce 5 mm a z něho následně na celou konstrukci frézky.

Vzhledem k výrobnímu postupu je DPS jednovrstvá. Použitá metoda pro přenesení návrhu plošných spojů na měděnou vrstvu funguje za pomoci speciální fólie a laserové tiskárny. Návrh se nejdříve zrcadlově natiskne laserovou tiskárnou na fólii se speciální vrstvou. Takto připravená předloha se nažehluje na cuprexit přibližně 30 minut za teploty 130-140°C. Pro nažehlování byla použita běžná žehlička. Po vychladnutí desky se fólie lehce sloupne a místa, kde byl nanesen toner z laserové tiskárny, se od fólie odlepí a zůstanou na



cuprexitu. Deska byla leptána v roztoku chloridu železitého. Kompletní nákras schématu, DPS, seznam a rozmístění součástek je v příloze (B).



Obr. 2.11 – Deska driveru

### 3 ŘÍZENÍ DRIVERŮ

Pro obsluhu již zmíněných driverů využíváme tři řídicí signály, jsou to CLK, CW/CCW a ENABLE. Tyto signály musí být správně generovány, aby výsledný vyfrézovaný předmět odpovídal požadovanému. Vhodné a levné řešení nabízí čínská verze CNC-USB Controller Mk1. Řídicí deska je dodávána i se softwarem CNC-USB. Velkou výhodou je také komunikace přes USB rozhraní, jiná řešení totiž nabízí komunikaci přes LPT port a ten se již na běžných nových počítačích nenachází.

#### 3.1 CNC-USB CONTROLLER

V následující části bude popsána vybraná řídicí deska USB-CNC Controller Mk1, její hlavní části a jejich základní zapojení. Obsluhu vstupů a výstupů zajišťuje mikropočítač PIC18F4550. Deska tedy umožňuje pohyb až ve 4 osách, běžné X, Y, Z a potom osa A, která může sloužit například k rotaci stolu. Maximální frekvence kroků, kterou deska umožňuje, je 25 kHz s minimální šířkou pulsů 12  $\mu$ s. Mimo hlavních výstupů jsou tu i výstupy OUT1-OUT3, dají se využít například pro zapnutí/vypnutí vřetene nebo spuštění čerpadla chladicí kapaliny. (PlanetCNC, 2014)



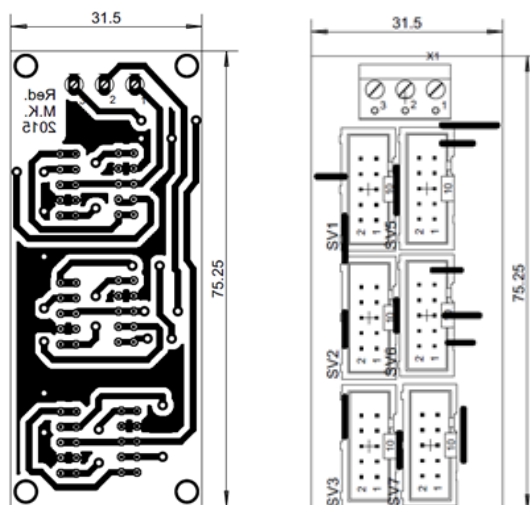
Obr. 3.1 – CNC-USB Controller

Dále má deska několik vstupů, velmi důležitým je vstup pro koncové spínače os. Potřebným vstupem je také E-STOP, neboli nouzové zastavení frézky. Deska má také vstup pro manuální ovládání posunu v jednotlivých osách, pomocí klávesnice.

Samozřejmě deska samotná potřebuje ještě řídicí software. K této desce patří software CNC-USB, který je popsán v kapitole (4.1). Komunikace se softwarem je realizována pomocí rozhraní USB, toto rozhraní slouží zároveň jako napájení celé desky. Kromě rozhraní USB je možnost komunikace s ostatními zařízeními přes sběrnici I<sub>2</sub>C. (PlanetCNC, 2014)

### 3.1.1 Připojení driverů

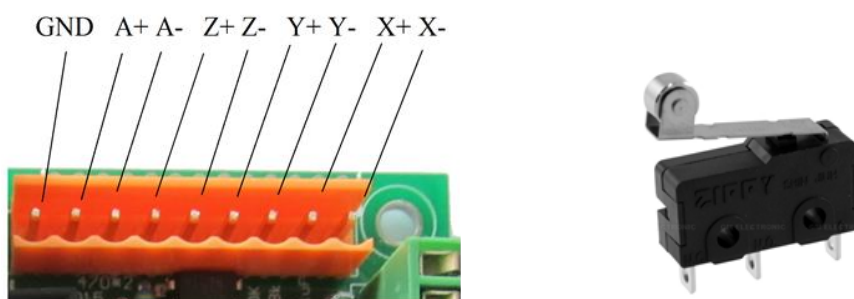
Driver pro každou osu je s řídicí deskou propojen plochým kabelem s deseti vodiči přes konektor MLW10G. Využívá se vždy dvou pinů konektoru pro jeden signál. Dvojice pinů jsou spojeny již na řídicí desce. Bohužel řídicí deska nemá na tomto konektoru výstup ENABLE, ten se softwarově dá přenést na jeden výstup OUT3. Proto je třeba mezi řídicí desku a driver zařadit desku, která bude na nevyužitý pin přidávat signál ENABLE. (PlanetCNC, 2014)



Obr. 3.2 – DPS a rozmístění součástek přídatné desky

### 3.1.2 Koncové spínače

Aby bylo zabráněno mechanickému poškození frézky v situaci, kdy se pojezd v dané ose dostane na konec vedení a tak tlačí proti konstrukci, jsou na konce pojezdů umístěny koncové spínače. Spínač se sepne ve chvíli, kdy jsme v dané ose téměř na konci vedení, to způsobí zastavení motoru v dané ose. Jako koncové spínače byly použity páčkové mikrospínače s kladkou od výrobce ZIPPY, typ SM-5S-05A0-Z. Kladka zajišťuje plynulý chod páčky po dorazové ploše. Zapojení spínačů je velice jednoduché, jeden pól spínačů vede společně na pin GND řídicí desky. A druhý na příslušný pin označený buď jako kladný nebo jako záporný konec dané osy. (PlanetCNC, 2014)



Obr. 3.3 – Rozmístění vstupů koncových spínačů a mikrospínač ZIPPY

### **3.1.3 E-STOP**

Nouzové zastavení (Emergency Stop), slouží pro okamžité přerušení činnosti zařízení. Používá se například při poruše stroje nebo úrazu obsluhy. Pro aktivaci nouzového přerušení stačí spojit dva příslušné kontakty na řídicí desce. Funkčnost má jednu zásadní podmínku a to je povolení nouzového přerušení v softwarovém nastavení. (PlanetCNC, 2014)

## **4 SOFTWARE**

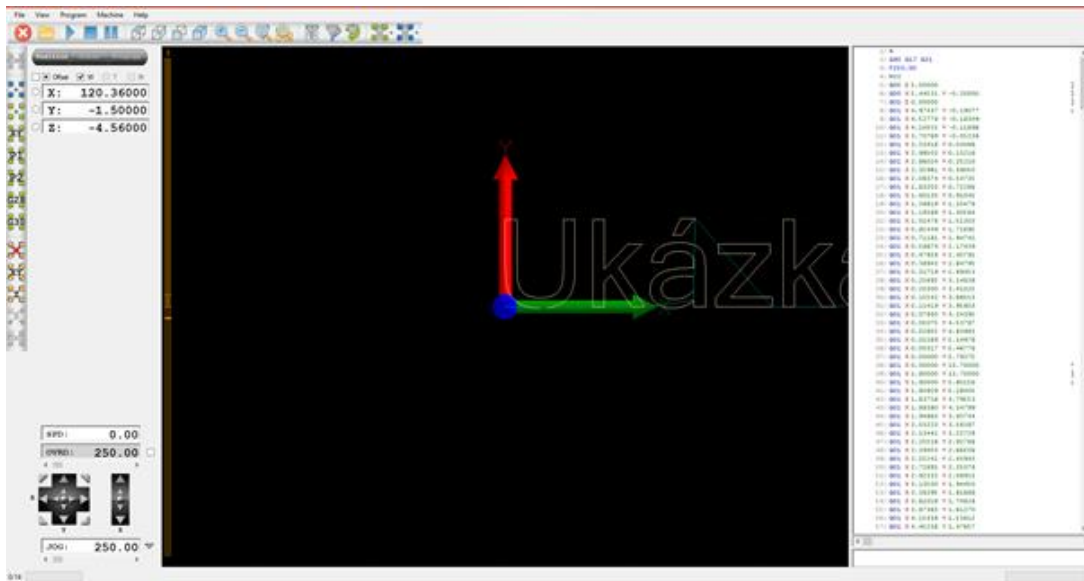
Pro softwarovou obsluhu řídicí desky CNC-USB Controller Mk1 slouží software CNC-USB. Pokud by byla použita jiná řídicí deska, například s LPT portem mohl by pro SW obsluhu sloužit program MACH3. Tento program je často využíván právě u doma vyráběných frézek. Jeho obsluha je jednoduchá a podporuje programování frézky ve standartu G-Code. Mezi řídicí SW patří také EMC2 pro Linux (jeho GUI rozšíření AXIS), starší CNCZeus pro MSDOS a mnoho dalších.

### **4.1 CNC-USB ZÁKLADNÍ FUNKCE**

Software CNC-USB je speciálně navržen pro práci s CNC-USB Controller deskou. Umožňuje tvorbu programů přes standartní G-code, ale nabízí také import souborů např.: DXD, PLT/HPGL, Gerber, NC Drill, obrázky, texty a další. Jedna z jeho funkcí je převod běžného 2D obrázku na G-code, to znamená, že není nutná znalost programovacího jazyka.

Možnosti konfigurace dovolují maximální přizpůsobivost uživateli. Nechybí zde podpora automatického měnění nástrojů. Simulační prvky slouží pro rychlé ověření správnosti programu. Simulace může probíhat automaticky nebo pod kontrolou uživatele. Během simulace se lze dívat z různých úhlů pohledů. Software má velice užitečné funkce co se týče manipulací a transformací G-code. Dokáže také měnit G-code dle nastaveného nástroje. Program napsaný nebo vygenerovaný v G-code může být lehce uložen buď přímo jako G-code nebo vyexportován například do souboru typu CSV. (PlanetCNC, 2014)

## 4.1.1 Hlavní okno



Obr. 4.1 – Hlavní okno programu

Při spuštění CNC-USN se zobrazí hlavní okno programu. V okně sedm různých oblastí, každá poskytuje specifické informace o vykonávání programu. Jsou to: panely position (pozice)/state (stav)/ program, vizualizace programu, G-code okno, panel pro manuální zadávání dat, menu a panel nástrojů, ukazatel stavu a funkční ikony. Pokud není připojena manuální klávesnice, jsou tu i tlačítka pro manuální řízení pohybu. (PlanetCNC, 2014)

## 4.1.2 Panely pozice/stav/program

Panel pozice ukazuje současné offsety v jednotlivých osách, polohu stroje a rychlost. Jsou zde již zmíněná tlačítka pro ruční posuv, u něho si můžeme nastavit i rychlost posuvu. Pokud do ukazatelů aktuální polohy napíšeme ručně nějakou hodnotu, program to vyhodnotí jako příkaz pro přesun na zadanou pozici.

Panel stav ukazuje například, v jakých jednotkách program ukazuje pozice, jestli je pozice absolutní nebo relativní a také informace o používaném nástroji.

Na posledním panelu program se uživatel dozví maximální rychlosti posuvu, které bude dosaženo, jaký bude přírůstek v jednotlivých osách a také dobu běhu spuštění současného programu. (PlanetCNC, 2014)

### 4.1.3 Grafická vizualizace programu

Toto okno ve 3D reprezentuje výsledný obraz zadaného programu. Lze zde vidět hranice posuvů, šipky os pro orientaci ve 3D prostoru, současnou polohu vřetena a také křivku po které se bude nástroj pohybovat. Takto přímá vizualizace velice usnadňuje uživateli práci, může si předem simulovat, jak bude probíhat jeho program a odstranit patrné chyby a nedostatky, aniž by přitom hrozila ztráta materiálu, nebo poškození nástroje (PlanetCNC, 2014)

### 4.1.4 G-code okno a panel pro manuální zadávání

V pravé části hlavního okna je zobrazen program v G-code. Barevné značení ulehčuje orientaci v programu. Červené řádky znamenají pauzu v programu. Speciálními znaky jsou označeny řádky způsobující zrychlení nebo zpomalení posuvu. Některé řádky jsou označeny jako odstraněné a nebudou v programu provedeny, je to způsobeno automatickou optimalizací programu. Následující příklad G-code tvoří čtverec:

```
%  
M3  
G01 X0 Y0  
G01 Z-3  
G01 Z3  
G01 X-150 Y-150  
G01 Z-3  
G01 X150 Y-150  
G01 X150 Y150  
G01 X-150 Y150  
G01 X-150 Y-150  
G01 Z3  
G01 X0 Y0  
M5  
%
```

Pod oknem G-code je pole pro ruční zadávání příkazů, příkazy budou vykonány ihned po potvrzení zadaného kódu. Lze tu používat i zkratky mimo G-code například příkazem „/101“ bude proveden příkaz otevřít soubor. (PlanetCNC, 2014)

#### 4.1.5 Panely nástrojů



Obr. 4.2 – Horní panel nástrojů

Vysvětlení jednotlivých tlačítek na obrázku (4.1) bude probíhat zleva. První tlačítko je nouzové zastavení má stejnou funkci jako externí E-STOP. Druhé tlačítko otevře pro výběr souboru s programem. Tlačítka play, stop a pause odpovídají funkci svému názvu, jsou tedy pro start, stop a pozastavení programu. Další čtyři tlačítka slouží k přepínání pohledů, pohled se přepne dle zvýrazněné části na krychli. Následující oddíl slouží k přibližování nebo oddalování, symbol „+“ označuje přiblížení a symbol „-“ oddálení. Vedlejší tlačítko z této skupiny znamená přiblížení na současnou pozici vřetena a poslední tlačítko přiblíží místo současného vykonávání programu. Poslední oddíl slouží ke kontrole chladiva a rotace vřetena. (PlanetCNC, 2014)



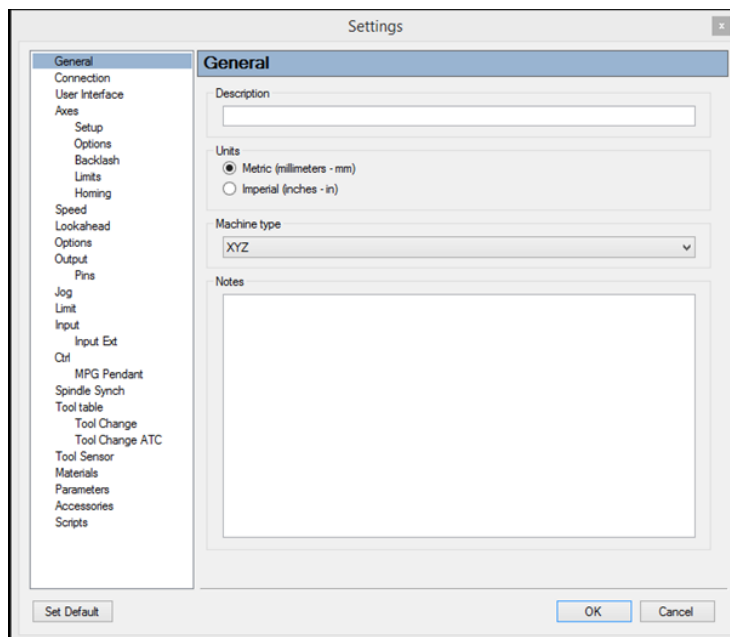
Obr. 4.3 – Postranní panel nástrojů

Popis opět zleva, první tlačítko vrátí vřeteno na výchozí polohu (není aktivní, protože není nastaveno). Druhé tlačítko nastaví současnou polohu jako nulovou ve všech osách. Další tlačítko slouží k přesunu do nulových hodnot (pokud je nastaven offset, tak je použit). Tlačítko „XY“ přesune vřeteno na pozice nula v osách X a Y. Tlačítka P1, P2, G28, G30 přesouvají na uživatelem zvolené pozice. Tlačítko s červeným „X“ vynuluje offsety. Vedlejší tlačítko nastaví aktuální pozici v osách X a Y jako pracovní offset. Další tlačítko dělá totéž, ale pro osu Z. Dvě poslední funkce slouží pro měření délky nástroje, první využívá statický senzor a druhá posuvný. (PlanetCNC, 2014)

## 4.2 CNC-USB NASTAVENÍ A KALIBRACE

Pod položkou File>Settings lze zde najít rozsáhlé nastavení, výběr jednotek, rychlost posuvu, kalibraci, koncové spínače, výměnu nástrojů a další. Kompletní přehled všech

nastavení je v uživatelském manuálu. V následujících kapitolách budou uvedeny pouze ty základní. (PlanetCNC, 2014)



Obr. 4.4 – Nastavení

#### 4.2.1 Záložka General

Jde o záložku se základním nastavením. Je zde nastavení jednotek, uživatel si vybere mezi milimetry a palci. A také vybere princip stroje, pro účel frézky je to princip „XYZ“. Ale je zde také například možnost „Printer“. (PlanetCNC, 2014)

#### 4.2.2 Záložka Axes

V tomto oddíle se nastavuje několik věcí. Nejdříve je zde nastavení počtu os, pokud by byla použita novější verze desky, je k dispozici až 9 os. Pro účely této práce jsou využity osy 3. Dále se zde nastavuje zpoždění mezi signálem pro směr motoru a signálem CLK (pulzy pro buzení motoru). Také se zde povoluje využití signálu ENABLE (lze signál i invertovat). Je tu také přehled povolených os, u každé osy je možnost invertovat pulzy a obrátit smysl otáčení.

Velmi důležitou funkcí na této záložce je kalibrace osy. Kliknutím na tlačítko „Calibration...“ je zahájena kalibrace, následuje výběr osy, která má být kalibrována, dále musí být zadána vzdálenost, o kterou by se měla frézka v dané ose posunout. Po potvrzení zadané hodnoty se vykoná daný posuv, nyní je třeba změřit skutečnou vzdálenost, kterou vřeteno urazilo. Skutečná vzdálenost se zadá do připraveného pole a program dopočítá, o kolik se změní počet kroků na jednotku. Vzhledem k tomu že se nemění vztah mezi



veličinami, které jsou indikovány, ale pouze se nastavuje číselná konstanta, tak aby hodnota odpovídala skutečnosti, jde zde spíše o adjustaci než o kalibraci. (PlanetCNC, 2014)

### 4.2.3 Záložka Axes – Limits

Podstatná podkategorie záložky Axes je nastavení Limits. V tomto nastavení se povolují koncové spínače. Je zde také možnost programového ohraničení pracovního prostoru, tento způsob je označen jako měkký (soft) limit. Při dosažení pozice měkkého limitu může být motor pomalu zastaven nebo náhle jako je tomu při sepnutí koncových mikropsínačů. (PlanetCNC, 2014)

### 4.2.4 Snímač délky nástroje

Jelikož nástroj není v hlavě nikdy přesně usazen je potřeba po každé výměně nástroje provést měření délky nástroje. To je realizováno pod položkou v nastavení „Tool Sensor“.

Zprv je třeba toto měření povolit zaškrtnutím pole Enable. Pod tímto polem lze nastavit rychlost, s jakou se budou pohybovat jednotlivé osy během měření.

Následuje nastavení pro statický senzor. Je třeba nastavit jeho pozici v osách X,Y, a také bezpečnou výšku v ose Z, aby nedošlo k poškození nástroje. Pro pohyblivý senzor stačí nastavit jeho výšku a velikost. (PlanetCNC, 2014)

The screenshot shows the 'Tool Sensor' configuration window. It is divided into three main sections:

- Enable:** A checkbox that is currently unchecked.
- Speed:** A numeric input field set to 0.00.
- Tool Sensor Fixed:** This section is for a fixed sensor and includes:
  - Location:** X and Y coordinates, both set to 0.0000.
  - Move:** X and Y coordinates, both set to 0.0000.
  - Safe Height:** Set to 100.0000.
  - Direction:** A radio button selection with '-' selected and '+' unselected.
  - Set Position Z:** Set to 0.0000.
  - Return Distance:** Set to 5.0000.
  - Return:** A checked checkbox.
- Tool Sensor Movable:** This section is for a movable sensor and includes:
  - Size:** Set to 3.0000.
  - Retract:** Set to 15.0000.
  - Height:** Set to 1.6000.
  - Return Distance:** Set to 5.0000.

Obr. 4.5 – Měření délky nástroje

## 5 KONSTRUKCE FRÉZKY

Před začátkem konstrukce bylo třeba zvolit způsob, jakým bude probíhat posuv jednotlivých osách. Také bylo třeba rozhodnout, jaké způsoby posunů je vhodné použít. Největší roli v rozhodování hrála cena. Takže bylo zvoleno co nejlepší řešení v poměru cena/kvalita. Byla také snaha o to, aby co nejvíc dílů bylo vyrobeno spíše vlastními silami než zakoupeno. Jako hlavní materiál je použita ocel v různých tvarových úpravách, jako jsou L-profil, válcované plechy, pásová ocel a jechl.

### 5.1 VEDENÍ

Základním prvkem pro stavbu CNC strojů je lineární vedení umožňující stabilní a plynulý posuv stroje. V rámci této práce budou popsány pouze levnější varianty, vhodné pro menší CNC stroje. Základními faktory pro dobré vedení jsou minimální třecí odpor a nepohyblivost vedení v jiném směru než je směr osy. Důležitým pravidlem, které musí být bezpodmínečně dodrženo, je nutnost podepření vedení rámem konstrukce. Vedení samotné nesmí sloužit jako nosný prvek konstrukce.

#### 5.1.1 Nepodepřené tyče

Toto vedení je nejlevnější druh posuvu, používaného v CNC strojích. Tvoří ho broušená, povrchově kalená ocelová tyč a na ní se pohybující vozík s kuličkovým ložiskem. Použití je značně omezené, při běžných průměrech tyčí by neměla délka tyče přesáhnout 500 mm. Delší tyče by znamenaly příliš velký průhyb. Další nevýhodou je nízká tuhost vedení. (Knapil, 2013; 4isp, 2014)



Obr. 5.1 – Vozík s kuličkovým ložiskem a nepodepřená tyč

### 5.1.2 Podepřené tyče

Podepřená tyč řeší problém průhybu nepodepřené tyče. Je to tedy optimální cesta mezi nepodepřenou verzí a profesionálním prizmatickým vedením, které je cenově až třikrát dražší. Protože vozíky u toho vedení jsou vlivem podepření otevřené, je třeba při větší zátěži použít vozíků více nebo jeden delší. Pokud by došlo k přetížení, může to vést k rozlomení vnitřního ložiska. (Knapil, 2013; 4isp, 2014)



Obr. 5.2 – Otevřený vozík s ložiskem a podepřená tyč

### 5.1.3 Prizmatické vedení

Prizmatické vedení nabízí lineární odpor a velmi vysokou přesnost. Jeho profilovaný tvar umožňuje eliminovat vůle v jiných směrech než je směr pohybu osy. Vedení tohoto typu dokáží snést velkou zátěž i při malých rozměrech. (Knapil, 2013; 4isp, 2014)



Obr. 5.3 – Vozík a kolejnice prizmatického vedení

## 5.2 POHYB LINEÁRNÍHO VEDENÍ

Jelikož lineární vedení slouží k pohybu přímočarému, tak je třeba převést rotační pohyb motorů na přímočarý. K tomu nám slouží právě pohony lineárního vedení.

Nejdůležitějšími parametry lineárního vedení jsou: malá vůle, dostatečná tuhost a konstantní hodnota součinitele tření.

### 5.2.1 Trapézový šroub

Trapézový šroub je nejlevnější varianta pro pohon lineárního vedení. Jeho lichoběžníkový závit v kombinaci s matkou ze speciálního plastu nabízí omezenou přesnost a rychlost. Jeden konec je pomocí pružné spojky spojen s motorem a druhý je uložen v ložiskovém domku. Největším problémem je rychlé opotřebení, za kterým následuje velké snížení přesnosti. Toto je řešení tedy vhodné pouze při obrábění dřeva a měkkých kovů. (4isp, 2014)



Obr. 5.4 – Trapézový šroub, matice a vozík pro matici

### 5.2.2 Kuličkový šroub

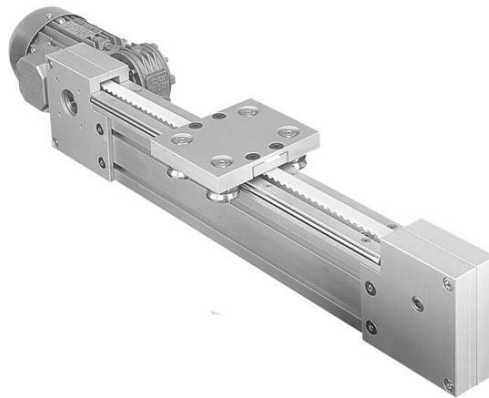
Pokud je třeba vysoké přesnosti a je třeba obrábět kovy, pak je kuličkový šroub samozřejmostí. Při jeho použití použití kvalitní matice zaručují plynulý a hladký chod. Je třeba dbát na dokonalou rovnoběžnost matice s osou šroubu. Kuličkové šrouby vynikají vysokou přesností a jsou nejpoužívanějším pohonem lineárních posuvů. Jejich cena se ale pohybuje mnohonásobně výše než cena trapézového šroubu. (4isp, 2014; Admin E-konstruktor, 2013)



Obr. 5.5 – Kuličkový šroub

### 5.2.3 Ozubený řemen

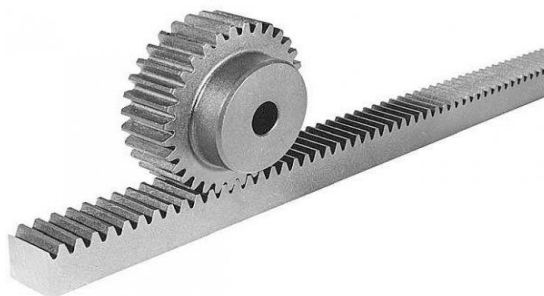
Hlavní výhodou lineární osy s řemenem je tichý chod a rychlost až 3 m/s. Řemen je uvnitř vybaven ocelovým vláknem, které zvyšuje jeho pevnost a zabraňuje vytahání. Maximální délka osy při použití tohoto náhonu se pohybuje okolo sedmi metrů, při větší vzdálenosti vzniká problém s dostatečným napnutím řemenu. Pro převod rotačního posuvu se využívá právě ozubeného řemenu a šnekové převodovky. Pokud je tento způsob použit v prostředí s vyššími teplotami nahrazuje se řemen řetězem. Řetěz je sice hlučnější, ale zabrání se tak nechtěnému přeskočení zubu, ke kterému může dojít vlivem velké teplotní roztažnosti řemene. (KELLER, 2005; T.E.A. TECHNIK, 2007)



Obr. 5.6 – Lineární osa s řemenem

### 5.2.4 Ozubený hřeben

Ozubené hřebeny s přímým ozubením a pastorkem jsou využívány pro dlouhé posuvy. Posuv není vzdáleností nijak omezen. Ovšem je zde větší náročnost mazání a oproti ozubenému řemenu je zde menší přesnost. (REM-Technik, 2013)



Obr. 5.7 – Ozubený hřeben s pastorkem

### 5.3 POHONY VEDENÍ

Pohon zajišťuje přeměnu dodané elektrické energie na mechanickou požadovaných parametrů. Zde konkrétně motor vykonává rotační pohyb. V CNC odvětví se používají pro pohon motory krokové, nebo servomotory. Je to z důvodu přesného polohování a tuhého držení nastavené polohy. V konstrukci, kterou tato práce popisuje, je použit motor krokový.

### 5.4 VŘETENO

Vřeteno obráběcího stroje vykonává hlavní činnost, pomocí v něm upevněné frézy je obráběn materiál. Je zde tedy kladen požadavek na výkon a otáčky. V profesionálních strojích jsou používány 3 základní typy vřeten. První má přímý náhon a využívá se pro vysokorychlostní obrábění. Druhou možností je náhon s vloženým převodem, který se používá pro převedení velkého výkonu motoru. Jiný princip využívá ztv.: „elektrovřeteno“, je to přímý rotační motor, který nemá konstantní výkon v celém rozsahu otáček. Má využití ve velmi vysokých otáčkách, ale při nízkých ztrácí moment. (Lábus, 2008)

Zvolené vřeteno není původně určeno jako vřeteno pro frézování, ale jako ruční přímá bruska. Nicméně jeho parametry pro obrábění dřeva a měkkých kovů postačí. Bylo vybráno vzhledem k ceně profesionálních vřeten, která začínají na deseti tisících Kč, bruska je přibližně na desetinu jejich ceny. Jako vřeteno je tedy použita přímá bruska GS06-27V značky DWT. Prodejce udává jmenovitý výkon 600 W, napájecí napětí 230 V. Bruska umožňuje plynulou regulaci otáček od 12000 do 27000 ot/min. Pro uchycení nástroje slouží kleština, která zapíná nástroje s průměrem hřídele 6 mm. (Bezva-náradí.cz, 2015)



Obr. 5.8 – Přímá bruska DWT

## 5.5 CO<sub>2</sub> SVÁŘENÍ

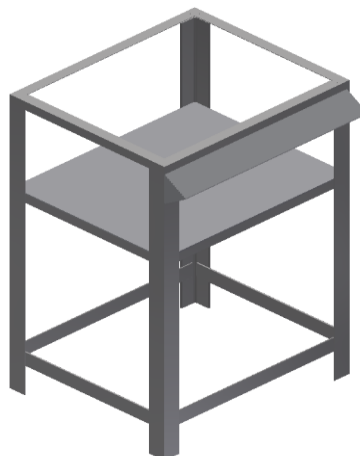
Pro výrobu některých dílů bylo třeba je pevně spojit z menších částí. K tomu byla použita oblouková svářečka s tavící se elektrodou, využívající ochranu atmosféru plynu CO<sub>2</sub>. Ochranná atmosféra zajišťuje ochranu svárové lázně a také napomáhá stabilizaci elektrického oblouku. Další výhodou je automatické podávání svařovacího drátu, to značně urychluje sváření, oproti běžné obloukové svářečce, kde je třeba měnit elektrody. Díky ochranné atmosféře také nevzniká téměř žádná struska. Nemalou výhodou toho způsobu sváření je také jednoduchost, i člověk, který nemá znalosti v oblasti sváření elektrickým obloukem, se může během krátké doby naučit obstojně svářet. (Automig, 2012)

## 5.6 VIZUALIZACE

Před započítím výroby bylo třeba nejdříve celou konstrukci navrhnout. Proto byla CNC frézka nejdříve vizualizována v prostředí Autodesk Inventor 2014 od společnosti Autodesk. Tento software je profesionální nástroj pro tvorbu 3D modelů, lze zde navrhnout jakoukoliv součástku a z takto navržených součástek lze poté sestavit do výsledného stroje.

### 5.6.1 Stůl pod frézku

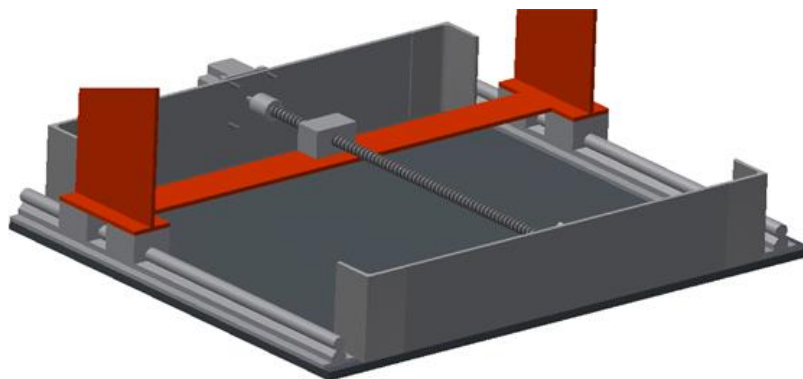
Prvním úkolem na začátku návrhu, bylo navrhnout pevné ustavení frézky. Tento problém byl vyřešen návrhem a výrobou masivního železného stolu. Na tento stůl byl také umístěn jednoduchý panel s indikačními LED, nouzovým tlačítkem a hlavním vypínačem. Stůl je 1 m vysoký a tak umožňuje lehký přístup a manipulaci s frézku. Do stolu byla také umístěna police pro řídicí elektroniku a spínaný zdroj. Celá frézka je tedy integrována na tomto stole.



Obr. 5.9 – Vizualizace stolu

### 5.6.2 Posuv v ose Y

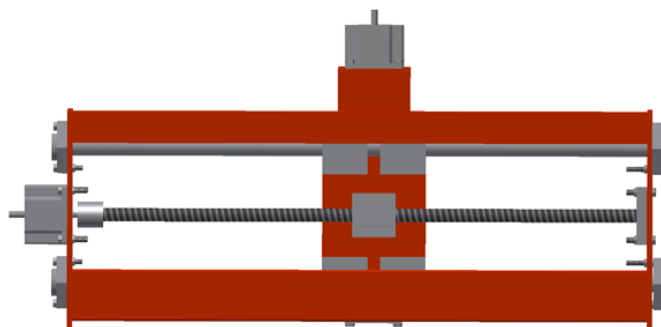
Jako základ pro konstrukci slouží 10 mm silná ocelová deska. Na každé straně jsou umístěny podepřené tyče, s průměrem 16 mm, ty společně se čtyřmi otevřenými vozíky tvoří posuv v ose Y. Tyto vozíky jsou spojeny pásovou ocelí o tloušťce 5 mm a šířce 50 mm. Na které je zároveň umístěn domek s matkou, matkou prochází trapézový šroub na jedné straně spojený s motorem pomocí pružné spojky. Na druhé straně trapézového šroubu je jeho konec ukotven v ložiskovém domku, který zajišťuje plynulé otáčení šroubu a zároveň jej udržuje v ose. Mezi podepřnými tyčemi jsou umístěny sloupky z L-profilu. Do vzniklých čelních prostorů jsou umístěny plechy pro uchycení motoru a ložiskového domku.



Obr. 5.10 – Vizualizace posuvu v ose Y

### 5.6.3 Posuv v ose X

Dva boční plechy spojené pásovou ocelí a L-profilem tvoří základny pro broušené nepodepřené tyče. Broušené tyče jsou uchyceny k ramenům pomocí hliníkových vertikálních podpor. Na broušených tyčích je opět čtveřice vozíků, tentokrát uzavřených. K jejich spojení slouží 8 mm silná pásová ocel.

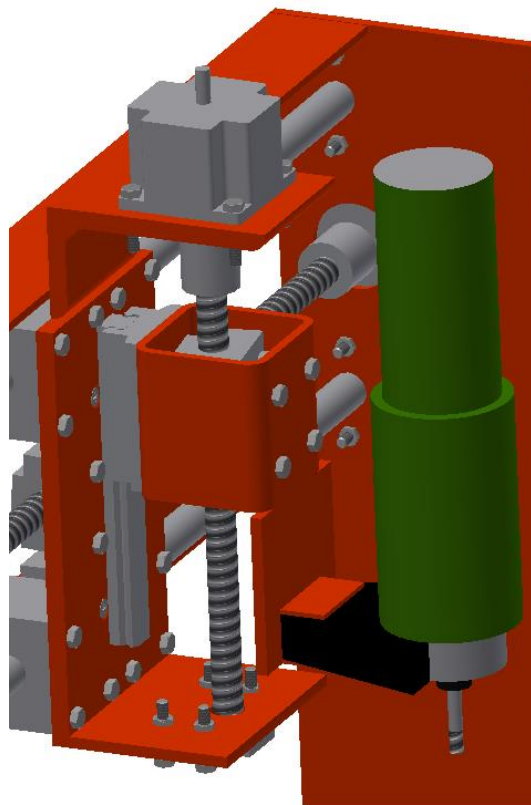


Obr. 5.11 – Vizualizace posuvu v ose X



#### 5.6.4 Posuv v ose Z

Posuv v poslední ose zajišťuje prizmatické vedení, tento posuv je nejkratší. Vedení je umístěno na 8 mm silné pásové oceli. Na vrchní části této oceli je L-profil pro umístění motoru, v dolní části je v úhlu 90° ocelový plech sloužící pro uchycení ložiskového domku. Na vozíčku prizmatického vedení je přišroubován jekl, uvnitř kterého je šrouby s podložkami uchycen domek s maticí pro trapézový šroub. Jekl s přidaným držákem, slouží také pro uchycení přímé brusky.



Obr. 5.12 – Vizualizace posuvu v ose X

### 5.7 VLASTNÍ KONSTRUKCE

Postup během konstrukce byl analogický s vizualizací, nejdřív byl svařen stůl a na něho byly postupně přidávány další díly. Zobrazená vizualizace je zpětně upravená, aby odpovídala skutečnosti. Původní vizualizace byla změněna pro některé konstrukčně nebo výrobně náročné části. Dále byly přidány některé části, které vizualizace nezobrazuje například nožičky s nastavitelnou výškou, které zabezpečují lepší stabilitu frézky i na nerovném podkladu.

Pro uspořádání vodičů jsou použity plastové kabelové řetězy, stahovací kabelové pásky a kabelové přichytky. Veškeré vodiče vystavené ohýbání musí být lanka.

Veškerá vedení, motory a další věci, které vyžadují vysokou přesnost, byly zakoupeny v internetovém obchodě 4ISP. Firma provozující tento obchod se dále zabývá návrhem a konstrukcí CNC strojů. (4isp, 2014)

Během konstrukce se objevilo několik komplikací, první při vrtání díry pro obrubu motoru, průměr 38 mm je daleko za standardními rozměry vrtáků. Ale při nízkých otáčkách a neustálém chlazení byly i tyto velké průměry úspěšně vyvrtány. Další komplikací byla potřeba přesného orýsování ocelových dílů. K přesnému orýsování byl použit stojan s upevněnou rýsovací jehlou.

Problém se také objevil po nanesení několika vrstev barvy. Vlivem nerovnoměrné tloušťky nástřiku došlo k mírné změně rozměrů. I tyto nepatrné změny vedly k vyosení některých posuvů, tyto odchylky byly minimalizovány drobnými úpravami uložení posuvů.

## **6 UVEDENÍ DO PROVOZU**

Po sestavení celé konstrukce z vyrobených, nebo zakoupených dílů, bylo třeba frézku seřídít a vyzkoušet.

Pro správnou funkci je potřeba správně nakonfigurovat řídicí software. Byla tedy použita již zmíněná funkce Axes Calibration, kterou program nabízí. Pomocí koncových spínačů byly určeny hranice posuvu v jednotlivých osách.

Než bylo započato samotné frézování, byla místo nástroje upevněna obyčejná tužka. Je to ochrana před zničením nástroje pokud by došlo k nečekanému pohybu stroje. Test s tužkou proběhl úspěšně. Kontrola funkčnosti byla provedena nejdříve ručním posuvem, poté programově. Dalším testem už bylo samotné frézování. Jako testovací obrobek bylo zvoleno vyfrézování jednoduchého obrobku. A to drážky tvaru čtverce do smrkové palubky. Zvoleným nástrojem byla frézka se čtyřmi břity a průměrem 3mm. Výsledný tvar byl vyfrézován s přesností na 0,1 mm.



Obr. 6.1 – Testovací obrobek

Výsledná nepřesnost frézky tedy není ideální, je to zřejmě způsobeno nevhodným uchycením vřetena. To je uchyceno v objímce, kterou tvoří kombinace plastu a kovu, ta může mít příliš velkou vůli a dochází tak k vychýlení vřetena. Výsledné parametry frézky jsou v tabulce 6.1.

Tab. 6.1 – Výsledné parametry frézky

Parametr	Hodnota
Pracovní rozsah (x, y, z)	(380×350×90) mm
Rozlišení	0,01 mm
Přesnost polohování	± 0,1 mm
Výkon vřetene	600 W
Otáčky vřetene	(12000 – 27000) min <sup>-1</sup>
Motory	Nema23
Řídící software	CNC-USB
Hmotnost	95 kg

## 7 ZÁVĚR

Cílem bakalářské práce bylo navrhnout a zrealizovat modelářskou CNC frézku. Ve fázi návrhu byla celá konstrukce předem vizualizována. Vizualizace byla použita jako technická předloha pro výrobu dílů. Vizualizace je na CD nosiči v příloze.

Během návrhu řídicí elektroniky, konkrétně driveru s TB6560AHQ, se objevily nemalé potíže. Tento obvod je velice citlivý na přepětí a při přetížení nebo zkratování výstupů dojde k okamžitému zničení obvodu. Během vývoje bylo několik těchto obvodů zničeno. Například pro nevhodné použití transilů na výkonovém výstupu obvodu, transil se při přepětí chová jako zkrat, což vedlo ke zničení obvodu. Proto byl tento způsob ochrany odstraněn z výsledného zapojení.

Použitý ovládací software CNC-USB se ukázal jako vhodné řešení pro řízení. Práce s ním je velmi jednoduchá a intuitivní. Umožňuje řízení frézky jak manuálně tak automaticky přes ovládací program.

Byla navržena a zkonstruována modelářská CNC frézka a příslušná řídicí elektronika. Cíle bakalářské práce byly splněny. Ale jak již bylo zmíněno, přesnost frézky není příliš ideální, bude tedy nezbytné do budoucna vyměnit uchycení vřetena za jiné, vhodnější. Dále by bylo vhodné přidat odsávání pilin. Pokud by se piliny dostali do závitů trapézového šroubu, mohlo by to vést ke zničení matice a tím i k disfunkci celého stroje.

Při další konstrukci podobného stroje by bylo třeba změnit několik věcí. Konkrétně lépe předem rozvrhnout cílový pracovní prostor, aby velikost pracovního rozsahu v ose Z byla úměrná vzhledem ke zbylým pracovním rozsahům. Poučení pro příští práce je také ve vhodnější volbě pohonu, trapézový šroub s plastovou matkou má příliš velkou vůli.

## Literatura

- 4isp. 2014. *CO<sub>2</sub> lasery, vláknové lasery, laserové gravírky, CNC frézky, CNC stroje a komponenty* [online]. [cit. 2015-05-18]. Dostupné z: <http://cnc.inshop.cz/>
- Admin E-konstrukter. 2013-09-19. *Jak vybrat vhodný kuličkový šroub* [online]. [cit. 2015-05-18]. Dostupné z: <http://e-konstrukter.cz/novinka/jak-vybrat-vhodny-kulickovy-sroub>
- Automig, ©2012. *MIG/MAG (CO<sub>2</sub>)* [online]. [cit. 2015-05-19]. Dostupné z: <http://automig.cz/o-svarovani/metody/migmag-co2/>
- Bezva-náradí.cz. ©2015. *Přímá bruska s regulací DWT GS06-27 V* [online]. [cit. 2015-05-18]. Dostupné z: <http://www.bezva-naradi.cz/prima-bruska-s-regulaci-dwt-gs06-27-v-p5451>
- HOLEČEK, P. 2013-09-04. *Domácí CNC* [online]. [cit. 2015-05-12]. Dostupné z: <http://www.ryu.cz/projekty/domaci-cnc-frezka/zacinam-stavet-vlastni-cnc/>
- KELLER, P. ©2005. *Programování a řízení CNC strojů* [online]. [online]. [cit. 2015-05-18]. Dostupné z: [http://www.kvs.tul.cz/download/cnc\\_cadcam/pnc\\_2.pdf](http://www.kvs.tul.cz/download/cnc_cadcam/pnc_2.pdf)
- KNAPIL, J. 2013. *Konstrukce a výroba CNC frézky pro modelářské účely* [online]. Bakalářská práce. Brno: Vysoké učení technické v Brně – Fakulta strojního inženýrství. Ústav strojírenské technologie. [cit. 2015-05-12]. Vedoucí práce: M. Kalivoda. Dostupné z: [https://www.vutbr.cz/www\\_base/zav\\_prace\\_soubor\\_verejne.php?file\\_id=65488](https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=65488)
- LÁBUS, M. 2008. *Deskripce vřeten u HSC obráběcích strojů* [online]. Bakalářská práce. Brno: Vysoké učení technické v Brně – Fakulta strojního inženýrství. Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky. [cit. 2015-05-18]. Vedoucí práce: Ing. Petr Blecha, Ph.D. Dostupné z: [https://www.vutbr.cz/www\\_base/zav\\_prace\\_soubor\\_verejne.php?file\\_id=5296](https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=5296)
- NXP Semiconductors. 2015-01-19. *74HC123 Product data sheet* [online]. [cit. 2015-05-19]. Dostupné z: [http://www.nxp.com/documents/data\\_sheet/74HC\\_HCT123.pdf](http://www.nxp.com/documents/data_sheet/74HC_HCT123.pdf)
- VOŠ A SPŠ Žďár nad Sázavou. ©2006-2014. *Programování – základní pojmy* [online]. [cit. 2015-05-12]. Dostupné z: <http://sstzr.cz/download/cat1/ucebnicecnc.pdf>
- PlanetCNC. 2014-06-12. *CNC USB Controller Mk1 – User manual* [online]. [cit. 2015-05-17]. Dostupné z: <http://www.planet-cnc.com/files/CNCUSBControllerMk1.pdf>
- Pohonnatechnika.cz. ©2007-2015. *Princip – krokový motor* [online]. [cit. 2015-05-12]. Dostupné z: <http://www.pohonnatechnika.cz/skola/motory/krokovy-motor>
- REM-Technik. 2013. *Systém přídatného pastorku ZV a hřebenu* [online]. [cit. 2015-05-18]. Dostupné z: <http://www.rem-technik.cz/pohyb-pohony-prevody/pohon-s-ozubenym-hrebenem/system-pridavneho-pastorku-zv-a-hrebenu-844.html>
- SHAPEOKO. ©2015. *SHAPEOKO 3 a robust cnc router for your workshop* [online]. [cit. 2015-05-12]. Dostupné z: <http://www.shapeoko.com/>
- T.E.A. TECHNIK. ©2007. *Lineární osa s řemenem AD* [online]. [cit. 2015-05-18]. Dostupné z: <http://www.teatechnik.cz/osa-remenem-ad/>
- Toshiba. 2011-01-18. *Datasheet TB6560AHQ, TB6560AFG* [online]. [cit. 2015-05-12]. Dostupné z: [https://www.toshiba.com/taec/components2/Datasheet\\_Sync/201103/DST\\_TB6560-TDE\\_EN\\_27885.pdf](https://www.toshiba.com/taec/components2/Datasheet_Sync/201103/DST_TB6560-TDE_EN_27885.pdf)

ZAPLATÍLEK, K. 2005-12-23. *Spínané zdroje* [online]. [cit. 2015-05-19]. Dostupné z:  
[http://user.unob.cz/zaplatilek/Obecne/Skripta\\_napajeci%20zdroje/%C4%8C%C3%A1st4.doc](http://user.unob.cz/zaplatilek/Obecne/Skripta_napajeci%20zdroje/%C4%8C%C3%A1st4.doc)

## **Přílohy**

**A** - CD

**B** - Fotografie frézky, schémata a nákresy DPS

**C** - Seznam součástek a zakoupených dílů

**Příloha bakalářské práci**

Modelářská CNC frézka

Martin Knížek

**CD**



**Obsah CD:**

1. Bakalářská práce ve formátu pdf
2. Vizualizace konstrukční části práce

**Příloha k bakalářské práci**

Modelářská CNC frézka

Martin Knížek

**FOTOGRAFIE FRÉZKY, SCHÉMATA  
A NÁKRESY DPS**

## **Obsah**

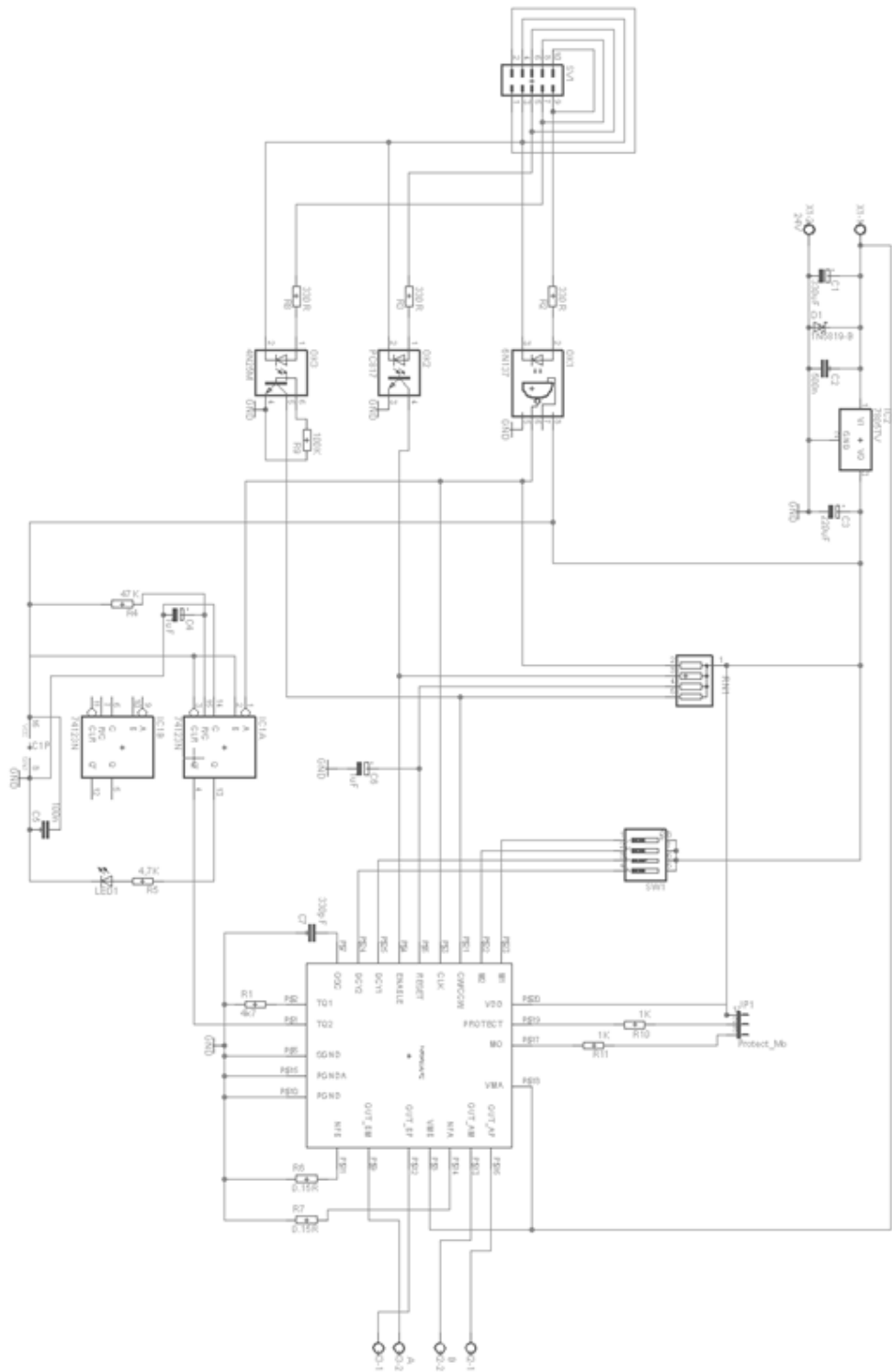
Seznam ilustrací .....	2
------------------------	---

## Seznam ilustrací

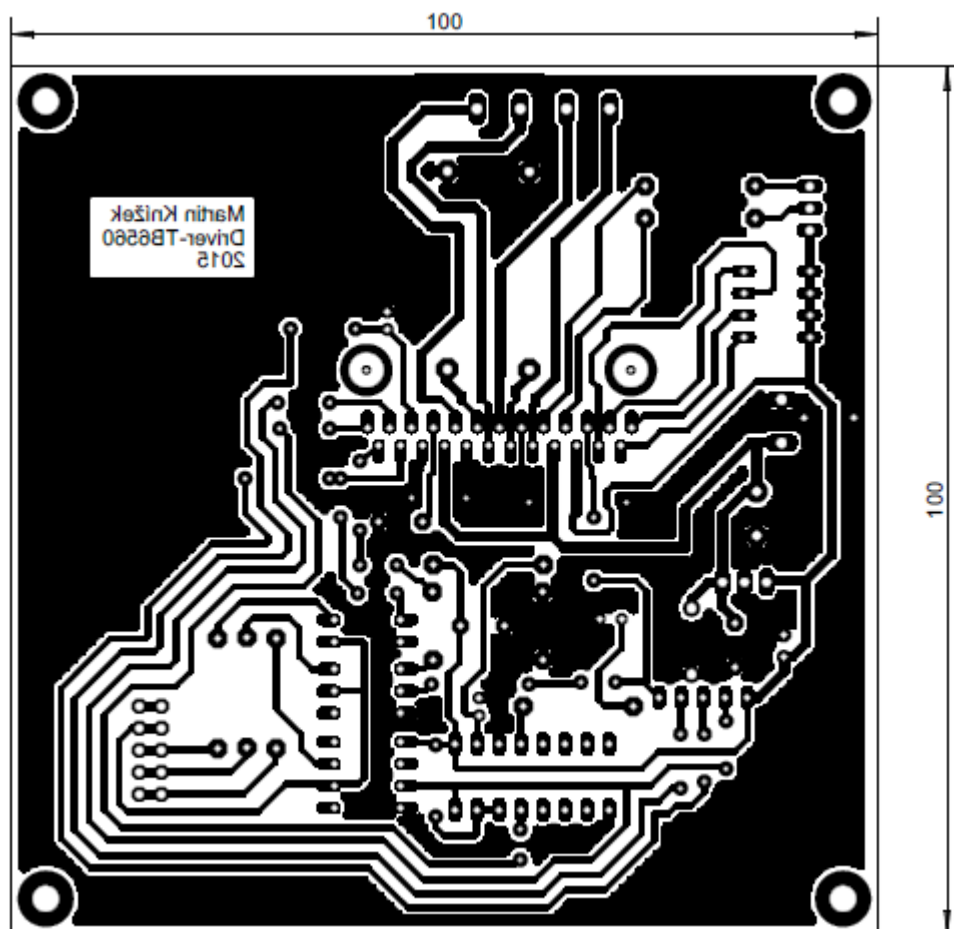
Obr. B1 – Kompletní frézka .....	3
Obr. B2 – Schéma driveru .....	4
Obr. B3 – DPS driveru .....	5
Obr. B4 – Rozmístění součástek driveru .....	6
Obr. B5 – Schéma přídavné desky .....	7
Obr. B6 – DPS přídavné desky .....	7
Obr. B7 – Rozmístění součástek přídavné desky .....	8



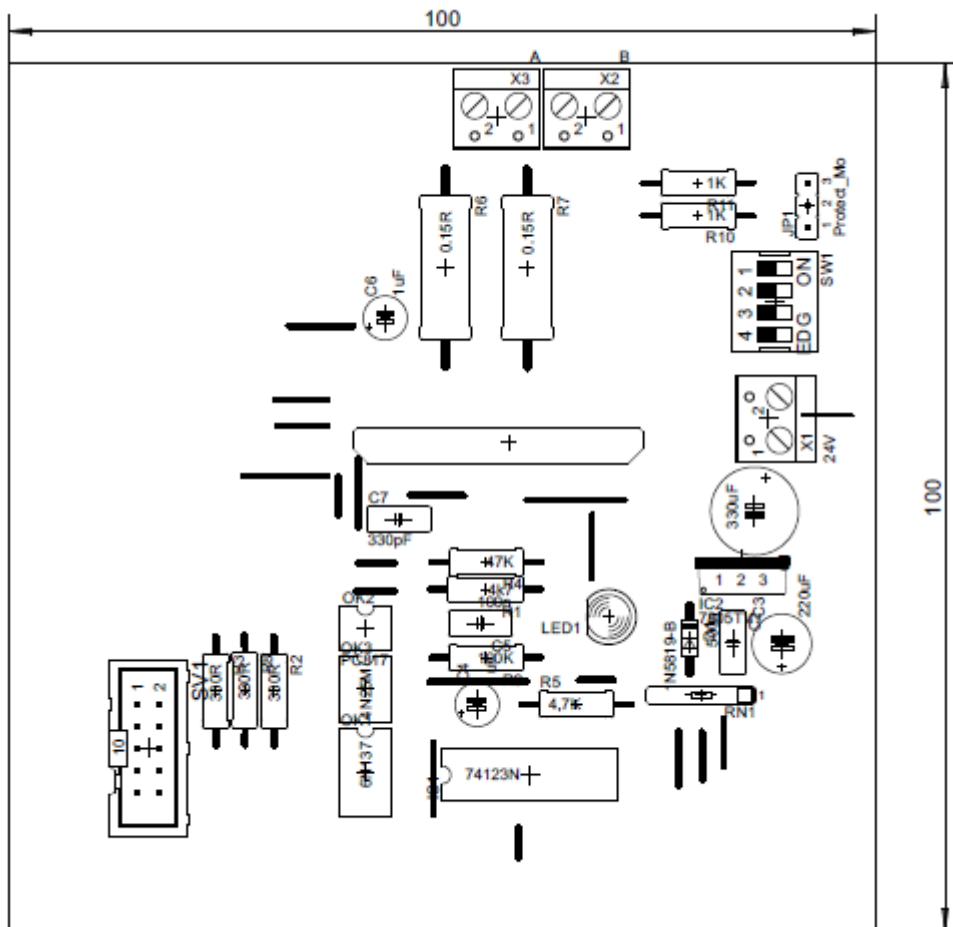
Obr. B1 – Kompletní frézka



Obr. B2 – Schéma driveru

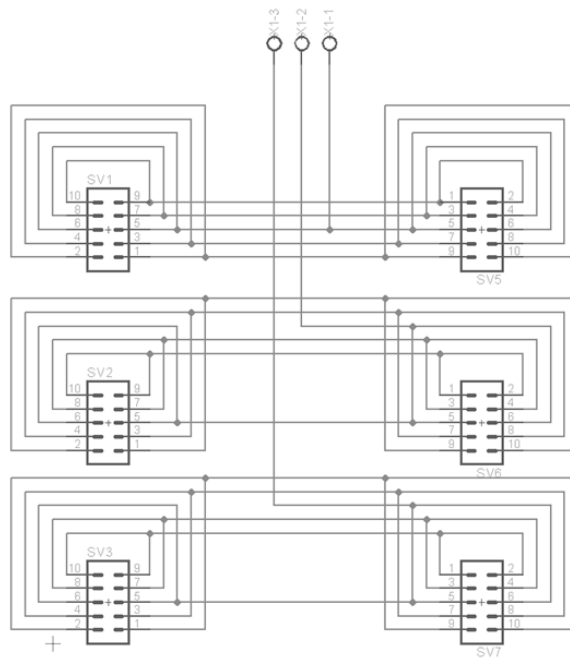


Obr. B3 – DPS driveru

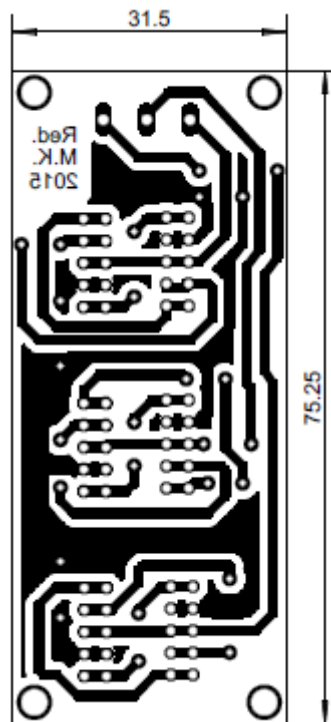


Obr. B4 – Rozmístění součástek driveru

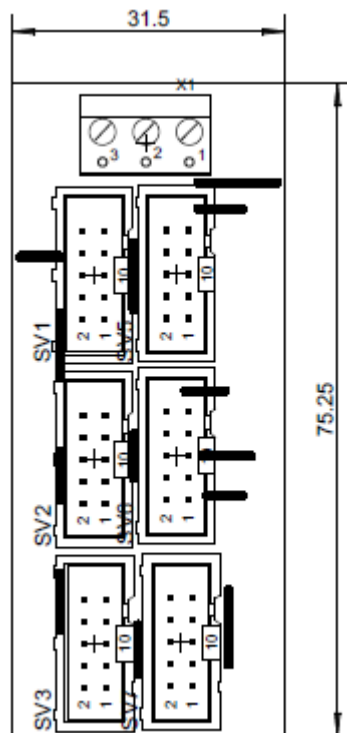




Obr. B5 – Schéma přídatné desky



Obr. B6 – DPS přídatné desky



Obr. B7 – Rozmístění součástek přídatné desky

**Příloha k bakalářské práci**

Modelářská CNC frézka

Martin Knížek

**SEZNAM SOUČÁSTEK  
A ZAKOUPENÝCH DÍLŮ**

## **Obsah**

Seznam tabulek .....	2
----------------------	---

## **Seznam tabulek**

Tab. C.1 – Seznam součástí .....	3
Tab. C.2 – Seznam zakoupených dílů .....	4

Tab. C.1 – Seznam součástek

Označení	Hodnota	Typ	Počet kusů
C1	330uF	elektrolytický kondenzátor	3
C2	500n	elektrolytický kondenzátor	3
C3	220uF	elektrolytický kondenzátor	3
C4, C6	1uF	elektrolytický kondenzátor	6
C5	100n	keramický kondenzátor	3
C7	330pF	keramický kondenzátor	3
D1	1N5819-B	dioda	3
IC1	74123N	monostabilní klopný obvod	3
IC2	7805TV	stabilizátor napětí	3
JP1	-	jumper	3
I.01	-	LED	3
OK1	6N137	optočlen	3
OK2	PC817	optočlen	3
OK3	4N25M	optočlen	3
R1, R4, R5	4k7	rezistor	9
R2, R3, R8	330R	rezistor	9
R6, R7	0.15R	rezistor	6
R9	100K	rezistor	3
R10, R11	1K	rezistor	6
RN1	4k7	rezistorová síť	3
SV1	ML10	konektor na plochý kabel	9
SW1	DIP-4	přepínače do DPS	3
U1	TB6560AHQ	integrováný obvod	3
X1, X2, X3	-	svorkovnice	9

Tab. C.2 – Seznam zakoupených dílů

Název	Počet	Množstevní jednotka
Krokový motor s přírubou Nema23, 41 mm, Typ B	3	ks
Plastová matice trapézová - Průměr 12 mm, stoupání 3 mm	3	ks
Vozík pro instalaci trapézové matice 12 mm	3	ks
TR-1203 Trapézový šroub průměr 12 / stoupání 3 mm	1,5	m
Kolejnice lineárního vedení HLH 15mm	0,145	m
Přírubový vozík lineárního vedení 15 mm	1	ks
Pružná spojka řezaná 24x25 mm	3	ks
Podepřená tyč / kolejnice 16 mm	1	m
Broušená tyč 16 mm	1,5	m
Jednoduchý otevřený linearset pro SBR-16	4	ks
Vertikální podpora pro broušenou tyč 16 mm	4	ks
Jednoduchý linearset pro S-16	4	ks
Napájecí zdroj průmyslový 24 V 350 W	1	ks
Kabelový řetěz 10x15 mm	1,5	m
Ložiskový domek volný pro BS-XX – 12 mm	3	ks
Přímá bruska DWT	1	ks

Byly uvedeny pouze nejhlavnější díly, spojovací materiál jako jsou šrouby a matice není uveden, stejně tak materiál pro výrobu dílů mechanické konstrukce.