

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAHE
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ



Návrh a riadenie CNC
Design and control of CNC

Bakalárska práca

Marek Antoška

Vedúci práce: Ing. Michal Brejcha

České vysoké učení technické v Praze
Fakulta elektrotechnická
katedra elektrotechnologie

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Student: **Marek Antoška**

Studijní program: Elektrotechnika, energetika a management
Obor: Aplikovaná elektrotechnika

Název tématu: **Návrh a řízení CNC**

Pokyny pro vypracování:

- 1) Prozkoumejte konstrukční možnosti výroby hobby cnc zařízení.
- 2) Navrhněte konstrukci jednoduchého cnc obráběcího stroje.
- 3) Navrhněte řídicí elektronický obvod.

Seznam odborné literatury:


- [1] VLACH, Jaroslav. *Řízení a vizualizace technologických procesů*. 1. vyd.
Praha: BEN - technická literatura, 1999, 159 s. ISBN 80-86056-66-X.
- [2] VLACH, Jaroslav a Viktorie VLACHOVÁ. *Počítačová rozhraní: Přenos dat a řídicí systémy*. 2., rozšíř. vyd. Praha: BEN - technická literatura, 1999, 175 s.
ISBN 80-730-0010-5.

Vedoucí: Ing. Michal Brejcha

Platnost zadání: do konce letního semestru 2014/2015


doc. Ing. Pavel Mach, CSc.
vedoucí katedry




prof. Ing. Pavel Ripka, CSc.
děkan

V Praze dne 11. 3. 2014

Čestné prehlásenie

Čestne prehlasujem, že som predloženú bakalársku prácu vypracoval samostatne s použitím uvedenej literatúry a ďalších informačných zdrojov.

V Prahe, 23. mája 2014

Abstrakt

Bakalárska práca sa zaoberá návrhom a realizáciou hobby CNC frézky. Tematicky je rozdelená 5 častí. V prvej sú popísané konštrukčné možnosti stavby hobby CNC strojov. V druhej je obsiahnutý vlastný návrh a realizácia mechanickej konštrukcie CNC frézky. Tretia časť je venovaná návrhu ovládacieho obvodu k frézke. V štvrtej časti je veľmi krátko popísaný software. Posledná piata časť je o základnom overení funkcie frézky.

Kľúčové slová

CNC, CNC frézka, lineárne vedenie, krokový motor, L297, L298, ovládač krokového motora, Mach 3

Abstract

The Bachelor thesis is about design and construction of hobby CNC milling machine. It is divided into 5 parts. In the first part construction possibilities of hobby CNC machines are described. The design and realization of custom CNC milling machine mechanical construction are presented in the second part of the thesis. In the third part is the design of electronic control circuit. The short software description is in the fourth part. The last part is about basic function test of milling machine.

Keywords

CNC, CNC milling machine, linear guides, stepper motor, L297, L298, stepper motor controller, Mach 3

Podakovanie

Týmto by som chcel poďakovať svojmu vedúcemu bakalárskej práce Ing. Michalovi Brejchovi za jeho čas, cenné rady a pripomienky.

Obsah

Úvod	10
1. Konštrukčné možnosti hobby CNC	11
1.1 Rámy obrábacích strojov	11
1.1.1 Konzolová konštrukcia	11
1.1.2 Portálová konštrukcia s pohyblivým rámom	12
1.1.3 Portálová konštrukcia s pevným rámom	12
1.2 Lineárne vedenia	13
1.2.1 Nepodopreté tyče	13
1.2.2 Podopreté tyče	14
1.2.3 Profilované lišty	14
1.4 Vlečenie osí	15
1.4.1 Gulôčková skrutka	15
1.4.2 Trapézová závitová tyč	15
1.4.3 Metrická závitová tyč	15
1.4.4 Ozubené alebo ploché remene	16
1.5 Pohon osí	16
1.5.1 Krokové motory	16
1.5.2 Servomotory	17
1.6 Pružné spojky	18
1.7 Koncové snímače	19
2. Návrh konštrukcie jednoduchého CNC obrábacieho stroja	20
2.1 Koncept	20
2.2 Materiál	20
2.3 Lineárne vedenie	20
2.3.1 Vodiacetyče	21
2.3.2 Úchyty tyčí	21
2.3.3 Bloky s lineárnymi ložiskami	22
2.4 Vlečenie osí	23
2.4.1 Trapézové tyče	23
2.4.2 Trapézové matice	24
2.4.3 Pružné spojky	25
2.5 Elektrické zapojenie	26
2.5.1 Konektory DIN	26
2.5.2 Krokové motory	27
2.5.3 Koncové spínače	27
2.6 Hotová frézka	28
3. Návrh ovládacej elektroniky	29
3.1 Ovládač krokového motora L297	29
3.2 Dvojité kompletný H-mostík L298	31
3.3 Prepojenie s PC	33
3.4 Popis návrhu	34
3.5 Schéma zapojenia	36
3.6 Doska plošných spojov	37
3.7 Zdroj	39

4. Riadenie CNC	40
4.1 Proces programovej prípravy	40
4.2 Mach3	41
4.2.1 Import G-kódu	41
4.2.2 Ručné polohovanie	42
4.2.3 Sprievodcovia	42
5. Overenie funkčnosti	43
5.1 Nastavenie programu Mach3	43
5.1.1 Ovládacie signály motorov	43
5.1.2 Vstupné signály	44
5.1.3 Výstupné signály	44
5.1.4 Ladenie motorov	45
5.2 Frézovanie textu do drevotrieskovej dosky	46
5.3 Frézovanie DPS	48
Záver	51
Zdroje	52
Zoznam príloh	55

Zoznam obrázkov

- Obr. 1.1: Schéma základných konštrukcii rámov
- Obr. 1.2: Konzolová konštrukcia [3]
- Obr. 1.3: Portálová konštrukcia s pohyblivým rámom [4]
- Obr. 1.4: Portálová konštrukcia s pevným rámom [5]
- Obr. 1.5: Prvky vedenia tvorené nepodoprenou tyčou [7,8]
- Obr. 1.6: Vedenie tvorené podopretou tyčou [9]
- Obr. 1.7: Vedenie tvorené profilovanou lištou [10]
- Obr. 1.8: Gulôčková skrutka a rez gulôčkovou maticou [12]
- Obr. 1.9: Trapézová závitová tyč a trapézová matica s prírubou [13]
- Obr. 1.10: Metrická závitová tyč
- Obr. 1.11: Systém s ozubeným remeňom
- Obr. 1.12: Krokový motor [16]
- Obr. 1.13: Servomotor [17]
- Obr. 1.14: Bloková schéma servomotora
- Obr. 1.15: Príklady tvarov pružných spojok [19]
- Obr. 1.16: Mechanický snímač [21]
- Obr. 1.17: Optický snímač [22]
- Obr. 1.18: Magnetický snímač [23]
- Obr. 2.1: Hliníkový úchyt [24]
- Obr. 2.2: Detail spojenia hliníkového úchytu a vodiacej tyče
- Obr. 2.3: Blok s lineárnym ložiskom [25]
- Obr. 2.4: Detail bloku s lineárnym ložiskom a vodiacej tyče
- Obr. 2.5: Tvar trapézovej tyče [26]
- Obr. 2.6: Detail uloženia tyče osi X a Y v zahĺbenom ložisku
- Obr. 2.7: Trapézová matica na ocelevej pásovine
- Obr. 2.8: Detail trapézovej tyče a matice s pásovinou
- Obr. 2.9: Pružná spojka [27]
- Obr. 2.10: Detail pripojenia trapézovej tyče k motoru cez pružnú spojku
- Obr. 2.11: Zapojenie konektorov DIN
- Obr. 2.12: Detail konektorov DIN
- Obr. 2.13: Schéma zapojenia krokových motorov
- Obr. 2.14: Schéma zapojenia koncových spínačov
- Obr. 2.15: Detail umiestnenia koncového spínača
- Obr. 2.16: Hotová frézka
- Obr. 3.1: Konceptia riadenia CNC stroja
- Obr. 3.2: Púzdro obvodu L297 [28]
- Obr. 3.3: Vnútoraná štruktúra obvodu L297 [28]
- Obr. 3.4: Púzdro obvodu L298 [29]
- Obr. 3.5: Vnútoraná štruktúra obvodu L298 [29]
- Obr. 3.6: Zapojenie konektoru D-SUB
- Obr. 3.7: Bloková schéma CNC ovládača
- Obr. 3.8: Schéma zapojenia ovládača
- Obr. 3.9: Doska plošných spojov (strana spojov)
- Obr. 3.10: Doska plošných spojov (strana súčiastok)
- Obr. 3.11: Rozmiestnenie súčiastok
- Obr. 3.12: Vizualizácia finálneho vzhľadu (bez chladiča)
- Obr. 3.13: Schéma zapojenia zdroja
- Obr. 4.1: Schéma programovej prípravy

Obr. 4.2: Pracovné prostredie Mach3
Obr. 4.3: Obrazovka sprievodcu na frézovanie kruhových vačkov
Obr. 5.1: Nastavenie ovládacích signálov motorov
Obr. 5.2: Nastavenie vstupných signálov
Obr. 5.3: Nastavenie výstupných signálov
Obr. 5.4: Nastavenie rýchlostného profilu osi X
Obr. 5.5: Nastavenie rýchlostného profilu osi Y
Obr. 5.6: Nastavenie rýchlostného profilu osi Z
Obr. 5.7: Obrazovka sprievodcu Text Engraving v4
Obr. 5.8: Frézovanie textu
Obr. 5.9: Vyfrézovaný text
Obr. 5.10: Plošný spoj nakreslený v EagleCAD
Obr. 5.11: Prostredie doplnku PCB to G-code
Obr. 5.12: Náhľad vygenerovanej dráhy nástroja
Obr. 5.13: Frézovanie DPS
Obr. 5.14: Hotová DPS

Zoznam tabuliek

Tab. 2.1: Parametre vodiacich tyčí
Tab. 2.2: Parametre hliníkových úchyto (jednotky sú milimetre)
Tab. 2.3: Parametre ložiskových blokov (jednotky sú milimetre)
Tab. 2.4: Rozmery trapézových tyčí
Tab. 2.5: Rozmery pružných spojok
Tab. 3.1: Názov a funkcia pinov obvodu L297 [28]
Tab. 3.2: Názov a funkcia pinov obvodu L298 [29]
Tab. 3.3: Prehľad zapojenia konektora D-SUB

1. Úvod

Vždy ma fascinovala sofistikovaná práca CNC strojov a ich schopnosť vytvárať najrôznejšie predmety opracovaním nejakého materiálu. Zároveň som sa zamýšľal, v čom všetkom by mi vedeli, ako domácemu majstrovi, pomôcť.

Napríklad, často som vyrábal dosky plošných spojov, a to fotolitografickou metódou. Tento proces mi trval vždy okolo dvoch hodín, výsledná kvalita závisela od veľmi veľa faktorov a nie vždy sa mi to podarilo bezchybne.

Preto som si chcel nejaký takýto stroj zaobstaráť. Komerčne vyrábané CNC stroje stoja ale rádovo desaťtisíce korún, čo je momentálne mimo rozsah mojich finančných možností, preto som sa rozhodol v rámci bakalárskej práce zoznámiť sa s nimi bližšie a vyrobiť si stroj vlastný.

Po naštudovaní problematiky som si stanovil cieľ vyrobiť trojosú frézku, určenú k opracovávaniu dreva, plastov a dosiek plošných spojov. Ďalej som musel vyrobiť ovládací obvod frézky, ktorý slúžil ako interface medzi osobným počítačom.

Práca je rozdelená na 5 častí. V prvej a štvrtej časti práce sa zaoberám konštrukčnými možnosťami a softvérovými prostriedkami hobby CNC strojov vo všeobecnosti. V druhej, tretej a piatej sa už venujem môjmu vlastnému návrhu.

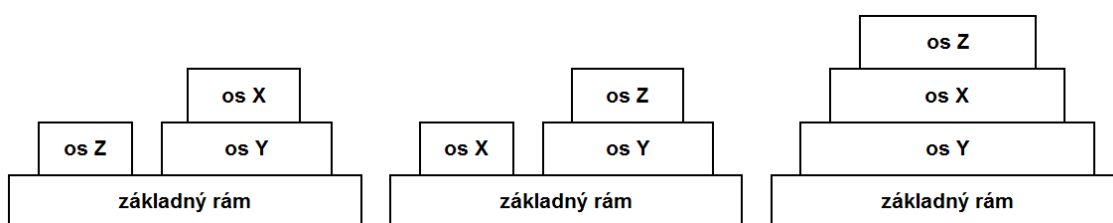
1. Konštrukčné možnosti hobby CNC

Obsahom tejto kapitoly je popis najčastejšie používaných konštrukčných možností hobby CNC strojov a to predovšetkým rámy obrábacích strojov, lineárne vedenia, vlečenie osí, pohon osí a snímače. Konštrukcie profesionálnych strojov sú rádovo zložitejšie, a preto nie sú v tejto kapitole rozoberané.

1.1 Rámy obrábacích strojov

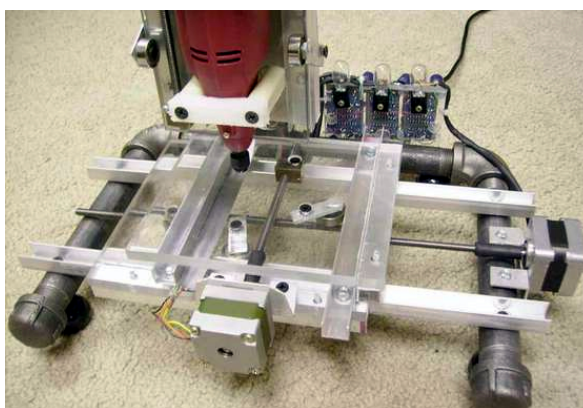
Existuje niekoľko základných druhov rámov používaných pre CNC stroje. Typ použitého rámu závisí predovšetkým od účelu využitia stroja a požiadaviek na kvalitu finálneho výrobku. Základné konštrukcie sú:

- konzolová
- portálová s pohyblivým rámom
- portálová s pevným rámom



Obr. 1.1: Schéma základných konštrukcií rámov: vľavo konzolová, v strede portálová s pevným rámom, vpravo portálová s pohyblivým rámom

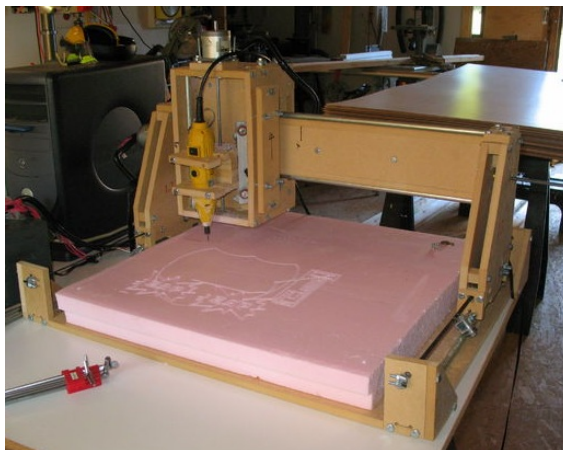
1.1.1 Konzolová konštrukcia



Obr. 1.2: Konzolová konštrukcia

Konzolová konštrukcia má os Z pripevnenú priamo k rámu a osi X a Y sú tvorené krížovým stolom. Výhodou takéhoto riešenia je vyššia tuhosť, preto je vhodnejšie na opracovávanie tvrdších materiálov. Nevýhodou sú veľké rozmery vzhľadom k možnej obrábacej ploche. [1,2]

1.1.2 Portálová konštrukcia s pohyblivým rámom



Obr. 1.3: Portálová konštrukcia s pohyblivým rámom

Hlavnou časťou tejto konštrukcie je pohyblivý portál tvoriaci os Y. Os X sa pohybuje po dĺžke portálu a na jej konštrukcii je primontovaná ešte os Z. Táto konštrukcia má opačné vlastnosti ako konzolová. Výhodou je teda veľká obrábacia plocha vzhľadom k rozmerom a nevýhodou zas nízka tuhosť, čo ju predurčuje na obrábanie menej tvrdých materiálov, gravírovanie alebo na laserové rezanie. [1,2]

1.1.3 Portálová konštrukcia s pevným rámom



Obr. 1.4: Portálová konštrukcia s pevným rámom

Pevný portálový rám je kompromisom medzi konzolovým a portálovým pohyblivým rámom. V porovnaní s konzolovou konštrukciou má menšie rozmery pri možnosti obrábania rovnakoveľkej plochy, ale zas nižšiu tuhosť. Naopak oproti pohyblivému portálu má väčšie rozmery a vyššiu tuhosť. Po portáli sa pohybuje os X a na nej je ešte os Z. Os Y je pod portálom a umiestňuje sa na ňu obrobok. [1,2]

1.2 Lineárne vedenia

Pre hobby CNC stroje existujú tri základné typy vedení. Všetky pre zníženie trenia využívajú guľôčkové ložiská:

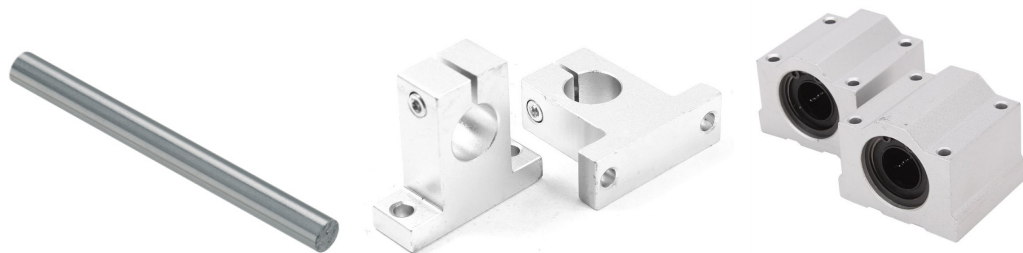
- Nepodopreté tyče
- Podopreté tyče
- Profilované lišty

Uvedené typy vedení sú zoradené podľa ceny od najlacnejšieho po najdrahšie, ale zároveň aj podľa zvyšujúcej sa schopnosti odolávať prehybu pod záťažou. Preto čím je požadovaná väčšia tuhosť konštrukcie, tým je použité riešenie viac nákladné.

Na dosiahnutie čo najlepšej stability a odolnosti proti torzným silám je vhodné, aby každá os mala minimálne dve koľajnice. [6]

1.2.1 Nepodopreté tyče

Vedenie tvorené nepodopretou tyčou sa skladá z okrúhlej tyče plného prierezu, podperami na koncoch tyče a obvykle dvomi ložiskovými blokmi.



Obr. 1.5: Prvky vedenia tvorené nepodoprenou tyčou. V ľavo - vodiaca tyč, v strede - koncové podpery, v pravo - bloky s plnokruhovými lineárnymi ložiskami

Určitou výhodou je, že ložiskový blok je uzatvorený, a preto je ho možné zaťažovať vo všetkých smeroch. Ďalšou výhodou týchto tyčí je, že môžu byť integrálnou súčasťou konštrukcie rámu, čo znamená, že môžu tvoriť dve strany pravouhlého rámu. Tým je možné ušetriť na nákladoch, znížiť hmotnosť a teda aj zjednodušiť design.

Keďže sú tyče podopreté iba na koncoch, sú náchylné na ohýbanie, preto by mali byť použité iba pre kratšie pracovné rozsahy a menej namáhané stroje. [6]

1.2.2 Podopreté tyče

Vedenie s podopretými tyčami je podobné vedeniu s nepodopretými tyčami. Rozdielom oproti nepodopretému vedeniu je podopretie tyče pozdĺž celej jej dĺžky. Z tohto dôvodu nie je možné ložiskom plne obopnúť tyč a je potrebné použiť otvorený ložiskový blok.

Keďže sú pri tomto druhu vedenia nevyhnutné otvorené ložiskové bloky, je potrebné, aby smer ich najväčšej záťaže bol v smere kolmom na tyč. Toto obmedzenie ich predurčuje predovšetkým na X-ovú a Y-ovú os.



Obr. 1.6: Vedenie tvorené podopretou tyčou

Podopreté tyče sú pripevnené priamo o konštrukciu, čím ju zároveň aj vystužujú. Vedenie je oproti nepodopretému oveľa tuhšie a menej sa ohýba, preto je vhodnou voľbou pre stredne až vysoko namáhané stroje. [6]

1.2.3 Profilované lišty

Profilové lišty môžu mať rôzne tvary, napríklad prizmatické, rybinové alebo ploché. Oproti tyčovým vedeniam ponúkajú vyššiu nosnosť, presnosť a tuhosť. Na druhej strane sú veľmi drahé, a pri ich použití sa môže jednať o najdrahšiu časť celého stroja. [6]



Obr. 1.7: Vedenie tvorené profilovanou lištou

1.4 Vlečenie osí

1.4.1 Gulôčková skrutka

Medzi najefektívnejšie spôsoby vlečenia osí patria nepochybne gulôčkové skrutky. Pozostávajú z troch častí: gulôčkovej skrutky, gulôčkovej matice a samotných gulôčok. Veľkou prednosťou gulôčkových skrutiek je vysoká tuhosť, presnosť a odolnosť použitých materiálov. Účinnosť tohto prevodu môže byť až 98%. Hoci majú veľmi dobré vlastnosti, sú pre jednoduché CNC stroje príliš drahé. [11]



Obr. 1.8: Gulôčková skrutka a rez gulôčkovou maticou

1.4.2 Trapézová závitová tyč

Lacnejším riešením je použitie trapézových závitových tyčí. Tie však majú jednu nepríjemnú vlastnosť, takzvanú „mŕtvolu“. Jedná sa o vôľu vzniknutú zmenou smeru otáčania, ktorá znižuje celkovú presnosť stroja. Ďalej majú vyššiu mieru opotrebenia a ich účinnosť je iba okolo 60%.



Obr. 1.9: Trapézová závitová tyč a trapézová matica s prírubou

1.4.3 Metrická závitová tyč

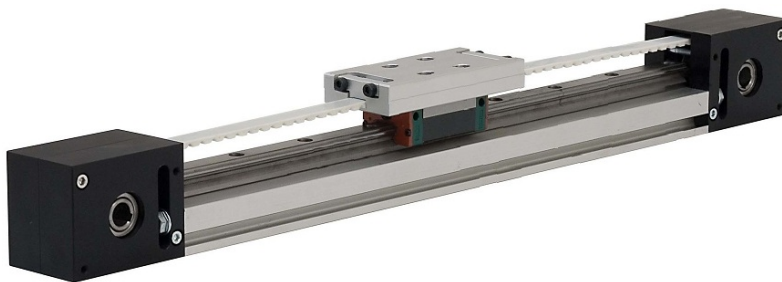
V amatérskych strojoch dosť používaný, lacný a zároveň najnevhodnejší spôsob realizácie je pomocou klasických metrických závitových tyčí. Takéto riešenie je možné iba v konštrukciách nepožadujúcich veľkú presnosť a rýchlosť, navyše dochádza veľkému opotrebovaniu materiálu a ich účinnosť je veľmi nízka.



Obr. 1.10: Metrická závitová tyč

1.4.4 Ozubené alebo ploché remene

Remene slúžia na prenos výkonu na vyššiu vzdialenosť, kde by nemuselo byť efektívne použitie dlhých tyčí. Dokážu polohovať s vysokou dynamikou a zároveň slúžia aj ako tlmiaci člen a vyrovnávajú ťahové napätie vzniknuté pôsobením motora. Ozubené remene sa používajú najmä pri prenose vysokých výkonov, kde nesmie dochádzať k preklzavaniu remeňa. Účinnosť prevodu remeňom je okolo 93%. Ich nevýhodou je tepelná rozťažnosť, čo sa prejavuje v zníženej presnosti stroja. Ďalšou nevýhodou môže byť radiálne zaťažovanie poháňacieho alebo poháňaného člena, čím dochádza k vyššiemu opotrebeniu ložísk. [11]



Obr. 1.11: Systém s ozubeným remeňom

1.5 Pohon osí

Existujú dve možnosti pohonu CNC stroja:

- Krokovými motormi
- Servomotormi

Obidva druhy motorov môžu poháňať os cez pohybovú skrutku, remeň alebo pastorok. Použitý mechanický prevod stanovuje žiadaný krútiaci moment a rýchlosť motoru.

1.5.1 Krokové motory

Krokový motor je jednosmerný bezkomutátorový elektrický stroj, ktorý rozdeľuje jednu otáčku do niekoľkých rovnakých krokov. Otáčanie alebo státie motora môže byť riadené bez snímača spätnej väzby.



Obr. 1.12: Krokový motor

Otáčanie krokového motora sa dosahuje správnou postupnosťou zapínania a vypínania jednotlivých cievok statora s ohľadom na polaritu prúdu v cievkach. Pohyb motora je pri nízkych rýchlostiach nespojitý, preto sa obvykle používajú ovládače schopné deliť krok na mikrokroky, aby bol zaistený plynulý chod hriadeľa. Prechodom hriadeľa do novej polohy, nastáva krátky mechanický prechodný dej. Pri frekvencii prepínania statorových cievok blízkej frekvencii tohto prechodného deja alebo jej násobku dochádza k rezonancii, ktorá môže viesť k strate kroku alebo zastaveniu motora. Preto táto frekvencia obmedzuje minimálnu rýchlosť krokového motora. Maximálna rýchlosť je daná poklesom momentu so zvyšujúcimi sa otáčkami.

Uhol jedného kroku predstavuje natočenie hriadeľa pri prechode jedného riadiaceho impulzu a je daný konštrukciou motora. Počet krokov na jednu otáčku je možné vypočítať podľa vzorca:

$$N = \frac{360^\circ}{\alpha}$$

kde α je uhol jedného kroku. Obvyklý počet krokov je medzi 40 až 200. [15]

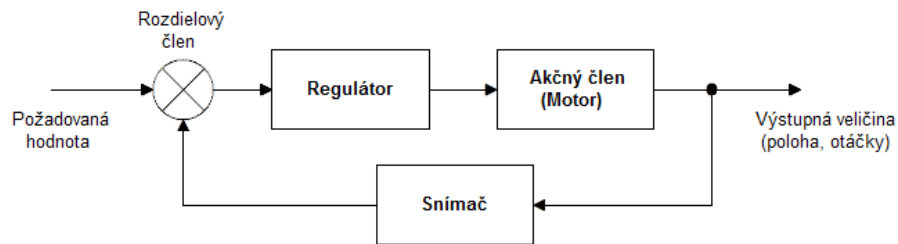
1.5.2 Servomotory

Servomotor je točivý pohon, ktorý umožňuje presné ovládanie uhlovej polohy, rýchlosti a zrýchlenia. Skladá sa z vhodného motora spojeného so snímačom pre polohovú spätnú väzbu.



Obr. 1.13: Servomotor

Signál zo snímača polohy je privedený pomocou spätnej väzby na rozdielový člen, ktorý porovnáva skutočné hodnoty motora s požadovanými. Na základe rozdielu týchto hodnôt regulátor riadi motor. Regulátor servomotora býva často veľmi zložitý.



Obr. 1.14 Bloková schéma servomotoru

Moderné servomotory používajú optické snímače, ktoré môžu byť absolútne alebo inkrementálne. Absolútne snímače sú schopné zistiť svoju polohu hneď po zapnutí zariadenia, ale sú značne komplikované a drahé. Inkrementálne snímače sú jednoduchšie, lacnejšie a je ich možné použiť aj pri vyšších rýchlostiach. Vo veľmi jednoduchých a lacných servomotoroch je ako snímač polohy použitý potenciometer, ktorý sa však opotrebuje a je na ňom elektrický šum.

Motor v servomoteore môže byť rôzneho druhu od malých jednosmerných motorčekov s permanentnými magnetmi až po veľké priemyselné striedavé motory. [15, 17]

1.6 Pružné spojky

Pružné spojky prenášajú krútiaci moment z hnacieho hriadeľa na hnaný hriadeľ, pričom výrazne tlmia vibrácie a rázy pri prevádzke stroja. Ďalej slúžia k vyrovnaniu drobných nesúosostí a vyrovnávajú uhlové odchýlky spojených hriadeľov. [18]

Spojky sa vyrábajú v mnohých tvaroch a veľkostiach s rôznymi priermi vrtania na oboch stranách. Hriadele sú v nich fixované väčšinou pomocou zvieracej skrutky.



Obr. 1.15: Príklady tvarov pružných spojok

1.7 Koncové snímače

Koncové snímače slúžia na ochranu lineárneho vedenia pred možným polohovaním mimo navrhnutú pracovnú oblasť, a tak zabráňujú poškodeniu stroja. Hoci je možné stroj prevádzkovať aj bez koncových snímačov, aj malá chyba v nastavení ho môže vážne poškodiť. Štandardne sa tieto snímače umiestňujú na konce dráhy osy, ale tiež je konštrukčne možné použiť iba jeden vhodne umiestnený snímač pre obidve krajné polohy.

Jednotlivé osy môžu obsahovať aj referenčný snímač, ktorý slúži na absolútne definovanie polohy stroja. V prípade že os nie je osadená referenčným snímačom, je ju potrebné polohovať ručne do východiskovej polohy iba odoka. Referenčný snímač môže byť umiestnený v ľubovoľnej časti dráhy osy.

Použité snímače môžu byť mechanické, optické alebo magnetické. Každý typ má svoje výhody a nevýhody. Napríklad mechanické sa jednoducho pripájajú a nastavujú, avšak sú najmenej presné. Optické senzory nevyžadujú kontakt, preto majú vyššiu presnosť, ale sú viac náchylné na znečistenie prachom a špinou. Magnetické snímače, ako napríklad Hallové sondy, sa jednoducho kalibrujú a sú veľmi presné a spoľahlivé, avšak ich použitie nie je vhodné pri obrábaní feromagnetických materiálov, nakoľko železné piliny môžu senzor zmiestiť.



Obr. 1.16: Mechanický snímač



Obr. 1.17: Optický snímač



Obr. 1.18: Magnetický snímač

Po zopnutí koncového snímača zabezpečí riadiaca jednotka okamžité zastavenie stroja a je potrebný zásah operátora. V praxi je celkom jedno, či dôjde k zopnutiu koncového spínača na začiatku alebo konci vedenia, preto je možné pre zjednodušenie zapojenia použiť oba snímače zapojené v sérii. Pri vhodnom nastavení riadiacej jednotky je dokonca možné použiť jeden z koncových snímačov ako referenčný snímač.

Stroj je nutné po každom spustení zreferovať. Referenčná poloha nemusí byť striktno nulová, záleží od konštrukcie stroja a najmä uloženia referenčného snímača. Po zopnutí referenčného snímača sa stroj v danej osi reverzuje a pomalou rýchlosťou sa od snímača vzdaluje až do odpadnutia snímača. Vtedy je daná os zreferovaná a jej absolútna súradnica je nastavená na nulu alebo na inú prednastavenú hodnotu. [20]

2. Návrh konštrukcie jednoduchého CNC obrábacieho stroja

2.1 Koncept

Prvá vec pri návrhu stroja bola moja úvaha, na čo bude vyrobený stroj slúžiť, akú bude mať aktívnu pracovnú plochu a v neposlednom rade moje finančné možnosti.

Nakoniec som sa rozhodol, že budem vyrábať frézku, ktorá bude slúžiť na opracovávanie dreva, plastov, dosiek plošných spojov a iných mäkkých materiálov. Vzhľadom na to, že celú frézku som konštruoval na vysokoškolskom internáte, jej vonkajšie rozmery boli dané veľkosťou internátnej skrine, kde by ju bolo možné skladovať. Po odpočítaní rozmerov konštrukčných prvkov som odhadom určil aktívnu plochu na 400x300 mm. Pracovnú výšku som si stanovil aspoň na 70 mm.

Samotná konštrukcia rámu je portálového typu s pohyblivým portálom. To znamená, že Y-ová os je nosnou pre X-ovú, a tá je zas nosná pre Z-ovú. Túto konštrukciu som zvolil pre skrátenie lineárneho vedenia pri zachovaní rovnako veľkej aktívnej plochy.

2.2 Materiál

Na hlavnú konštrukciu som použil laminovanú drevotrieskovú dosku hrúbky 18 mm. Jej výhodou je najmä nízka cena, dobrá dostupnosť a dobrá opracovateľnosť. Vďaka lepeným vrstvám je odolná voči vzdušnej vlhkosti a má vyššiu hmotnosť.

Okrem drevotriesky som použil aj hliníkové plechy hrúbky 5 mm pre konštrukciu osi Z. Dôvodom bolo zníženie hmotnosti vertikálne vedenej časti a predovšetkým možnosť precíznejšieho nastavovania rovnobežnosti a kolmosti namontovaných komponentov.

Výkresy konštrukčných dielov z drevotriesky a hliníkového plechu sa nachádzajú v prílohe 1.

2.3 Lineárne vedenie

Ako vedenie som použil cenovo najdostupnejší spôsob, teda nepodopreté tyče. Tyče sú uchytené na svojich koncoch úchytní. Po každej tyči sa pohybujú dva bloky s lineárnymi ložiskami. Úchyty pre tyče ako aj bloky s lineárnymi ložiskami je možné kúpiť v špecializovaných obchodoch s CNC potrebami.

2.3.1 Vodiace tyče

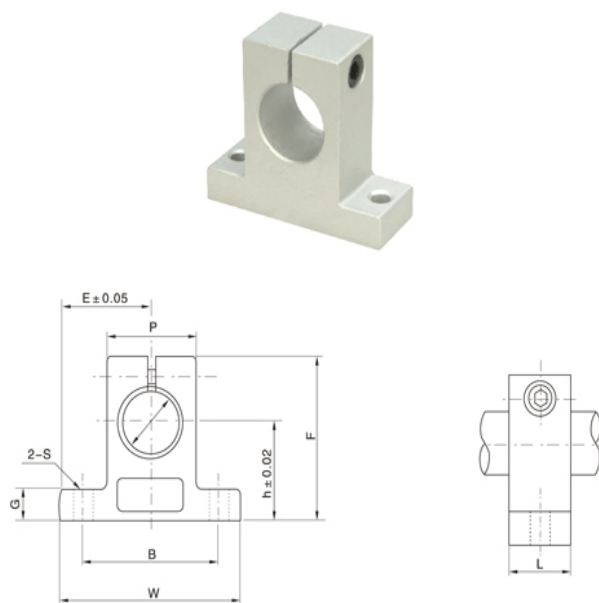
Použité tyče som zohnal v obchode s hutnými materiálmi. Sú kruhového prierezu, vyrobené z nerezovej ocele a majú nasledujúce parametre:

	počet tyčí	priemer	dĺžka
os X	2 ks	12 mm	510 mm
os Y	2 ks	16 mm	600 mm
os Z	2 ks	10 mm	230 mm

Tab. 2.1: Parametre vodiacich tyčí

2.3.2 Úchyty tyčí

Úchyty zaisťujú tyč pomocou zaisťovacej skrutky a umožňujú mechanické pripevnenie tyče k podkladovému materiálu. Materiálom je hliník a ich tvar popisuje obrázok 2.1 a tabuľka 2.2.



Obr. 2.1: Hliníkový úchyt

velkosť	h	E	W	L	F	G	P	B	S	otvory
10	20	21	42	14	32,8	6	18	32	5,5	M5
12	23	21	42	14	37,5	6	20	32	5,5	M5
16	27	24	48	16	44	8	25	38	5,5	M5

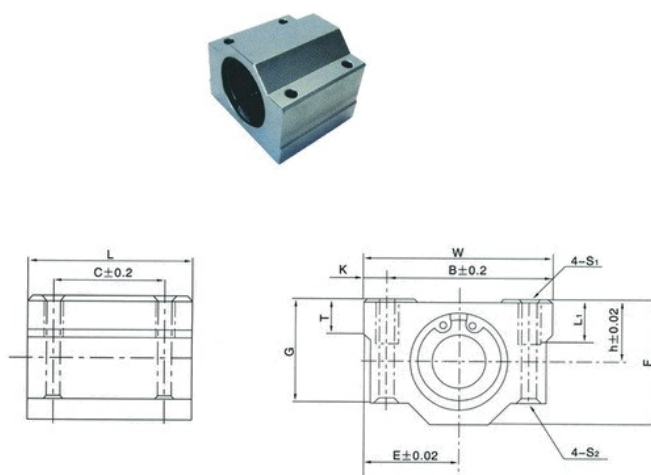
Tab. 2.2: Parametre hliníkových úchytov (jednotky sú milimetre)



Obr. 2.2: Detail spojenia hliníkového úchyty a vodiacej tyče

2.3.3 Bloky s lineárnymi ložiskami

Blok s lineárnym ložiskom je konštrukčný prvok, ktorý obopína lineárne guľôčkové ložisko. Spolu s ložiskom sa potom pohybujú po vodiacej tyči. Tieto bloky sa predávajú v rôznych veľkostiach a už s osadenými ložiskami. Použil som bloky z hliníku, ktoré majú rozmery uvedené v tabuľke 2.3.



Obr. 2.3: Blok s lineárnym ložiskom

veľkosť	h	E	W	L	F	G	B	C	K	T	S1	S2	L1
10	13	20	40	35	26	21	28	21	6	8	M5	4,3	12
12	15	21	42	36	28	24	30,5	26	5,75	8	M5	4,3	12
16	19	25	50	44	38,5	32,5	36	34	7	9	M5	4,3	12

Tab. 2.3: Parametre ložiskových blokov (jednotky sú milimetre)

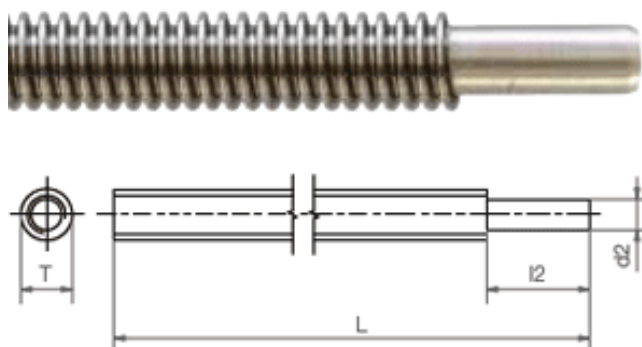


Obr. 2.4: Detail bloku s lineárnym ložiskom a vodiacej tyče

2.4 Vlečenie osí

Vlečenie osí som riešil pomocou trapézových závitových tyčí a matic. Všetky osi sú vybavené rovnakou závitovou tyčou rôznej dĺžky a rovnakou maticou. Tyče aj matice sú vyrobené z ocele a majú pravý závit.

2.4.1 Trapézové tyče



Obr. 2.5: Tvar trapézovej tyče

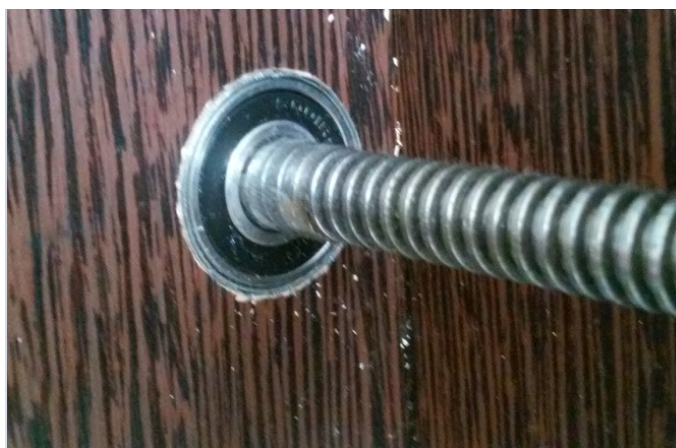
	T	L	l2	d2
os X	12 mm	525 mm	10 mm	8 mm
os Y	12 mm	615 mm	10 mm	8 mm
os Z	12 mm	220 mm	10 mm	8 mm

Tab. 2.4: Rozmery trapézových tyčí

Každá jedna tyč je primontovaná na hriadeľ krokového motora pomocou pružnej spojky. Pružné spojky, ktoré som mal k dispozícii mali menší priemer pre uchytenie tyče, preto bolo potrebné tyče na jednom konci zosústružiť na požadovaný priemer.

Druhý koniec tyčí osi X a Y som uložil do ložiska rovnakej veľkosti a ložisko zahĺbil do drevotriesky.

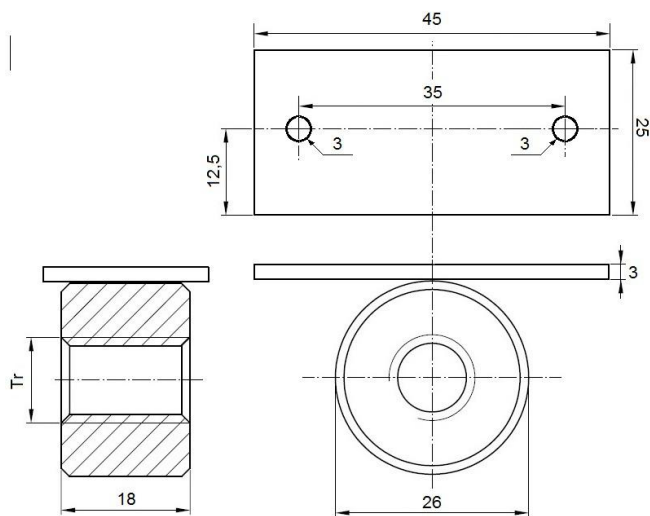
Riešenie pre os Z bolo komplikovanejšie, lebo som mal menej manipulačného priestoru pre montáž ložiska a najmä koniec tyče bolo treba vertikálne podoprieť, aby váha konštrukcie osi a prípadne aj obrábacieho nástroja nebola zavesená iba na hriadeľ motora. Nakoniec som sa rozhodol navrtáť do osi tyče malú dierku a vložiť do nej ložiskovú guľôčku aby vyčnievala z tyče. Takto je tyč podopretá a dochádza iba k minimálnemu treniu.



Obr. 2.6: Detail uloženia tyče osi X a Y v zahĺbenom ložisku

2.4.2 Trapézové matice

Aby bolo možné matice pripevniť k poháňanej konštrukcii osi, privaril som ich na ocelové pásoviny. Do každej pásoviny som ešte navrtal dva otvory cez ktoré boli prichytávané.



Obr. 2.7: Trapézová matica na ocelovej pásovine



Obr. 2.8: Detail trapézovej tyče a matice s pásovinou

2.4.3 Pružné spojky

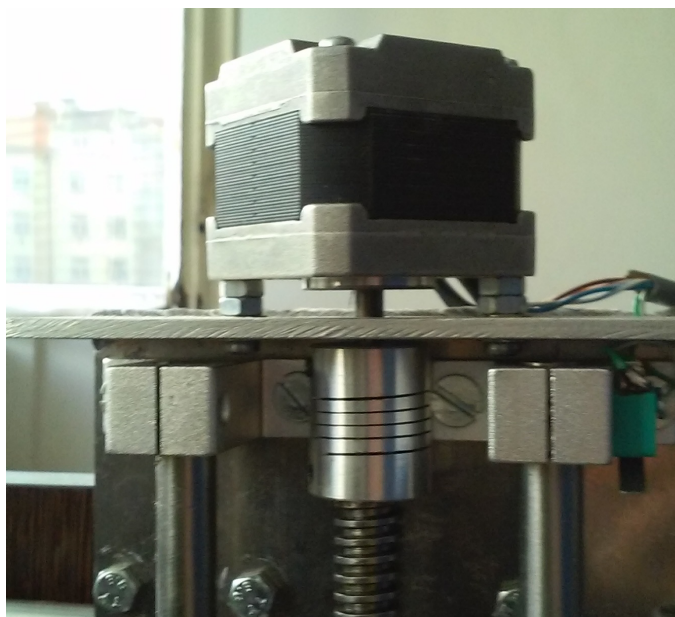
Použité pružné špirálové spojky majú dva rôzne veľké otvory pre nasadenie trapézovej tyče a hriadeľa motora. Priemer všetkých trapézových tyčí bol síce rovnaký, ale priemer jedného hriadeľa použitého krokového motora bol iný ako u ostatných dvoch, preto som musel použiť dve rôzne spojky.



Obr. 2.9: Pružná spojka

	vrtanie A	vrtanie B	vonkajší priemer	dĺžka
os X	8 mm	5 mm	20 mm	25 mm
os Y	8 mm	6,3 mm	20 mm	25 mm
os Z	8 mm	5 mm	20 mm	25 mm

Tab. 2.5: Rozmery pružných spojok

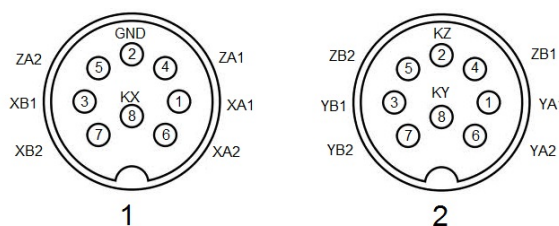


Obr. 2.10: Detail pripojenia trapézovej tyče k motoru cez pružnú spojku

2.5 Elektrické zapojenie

2.5.1 Konektory DIN

S ohľadom na dobrú manipulovateľnosť s frézku som navrhol možnosť odpojenia jej prepojovacích vodičov s ovládacou elektronikou, a to pomocou konektoru. Motory majú spolu 12 vodičov, koncové spínače 4, preto bolo nutné zohnať 16 kontaktný konektor. Takýto konektor, ktorý musí mať aj vyššiu prúdovú zatažiteľnosť, by bol dosť drahý, preto som použil dva 8 kontaktné konektory DIN.



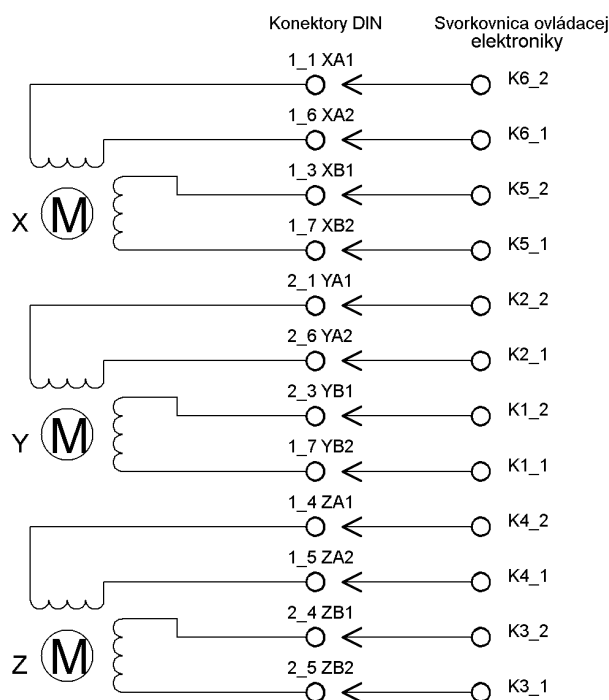
Obr. 2.11: Zapojenie konektorov DIN



Obr. 2.12: Detail konektorov DIN

2.5.2 Krokové motory

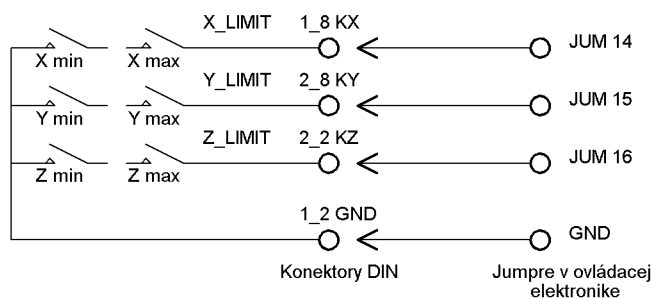
Všetky tri použité krokové motory sú bipolárne. Dva z nich pochádzajú z mojich „šuplíkových“ zásob a jeden som musel zakúpiť. Z každého sú vyvedené 4 vodiče, ktoré sú vyvedené na konektory DIN.



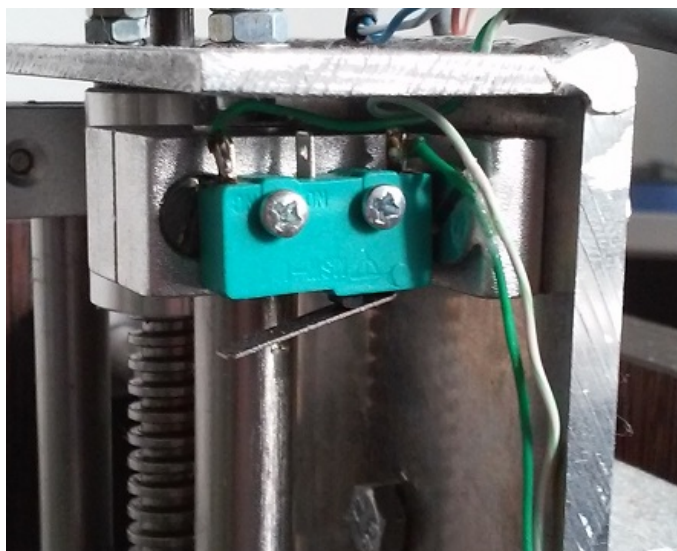
Obr. 2.13: Schéma zapojenia krokových motorov

2.5.3 Koncové spínače

Za najrozumnejšie som považoval použiť klasických mechanických koncových spínačov, najmä kvôli ich jednoduchému zapojeniu. Elektricky sú tieto spínače v rámci jednej osi zapojené ako rozpínacie a medzi sebou sú spojené sériovo, takže po rozopnutí ľubovoľného z nich je jasné, že frézka sa dostala do krajnej polohy. (nie je dôležité ktorej, lebo stroj sa zastaví a čaká na obsluhu).



Obr. 2.14: Schéma zapojenia koncových spínačov



Obr. 2.15: Detail umiestnenia koncového spínača

2.6 Hotová frézka

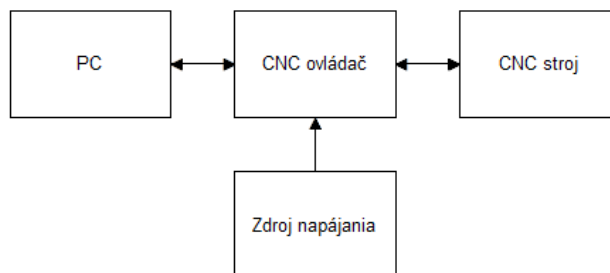
S využitím prvkov popísaných v predchádzajúcich častiach som skonštruoval CNC frézku. Hotový funkčný stroj je vyfoteny na obrázku 2.15.



Obr. 2.16: Hotová frézka

3. Návrh ovládacej elektroniky

Navrhnutá konštrukcia CNC stroja obsahuje 3 krokové motory a 6 koncových spínačov. Aby bolo možné tento stroj rozumne používať bolo potrebné navrhnuť vhodný riadiaci elektronický obvod. Hobby CNC stroje sa vo väčšine prípadov ovládajú priamo z osobného počítača, preto som tomuto prispôbil aj môj návrh ovládacej elektroniky.



Obr. 3.1: Konceptia riadenia CNC stroja

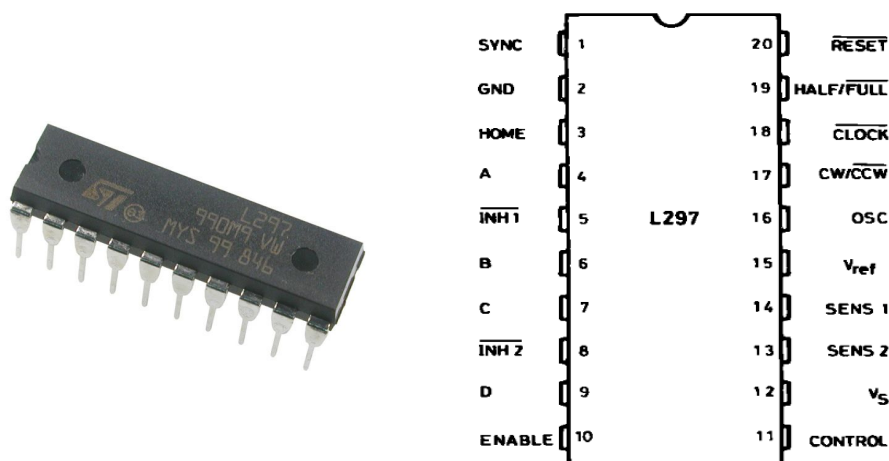
Existuje mnoho typov obvodov slúžiacich na riadenie krokových motorov. Ja som sa si zvolil obvodovú dvojicu L297 a L298, ktorá je ľahko zohratelná, cenovo dostupná a zároveň vystačuje mojím požiadavkám.

Komunikáciu s počítačom som riešil použitím paralelného portu LPT, čo bolo pre mňa asi jediné možné riešenie, nakoľko bežne dostupné riadiace softwary inú možnosť ani neponúkajú a to z dôvodu potreby veľmi presného časovania, ktorú napríklad USB rozhranie nespĺňa.

3.1 Ovládač krokového motora L297

L297 integruje riadiace štruktúry potrebné na ovládanie bipolárneho alebo unipolárneho krokového motora. Použitý s dvojitém H-mostíkom, napríklad s L298, tvorí kompletne rozhranie medzi počítačom a bipolárnym krokovým motorom. Obvod môže byť použitý aj pre unipolárny krokový motor, kedy by mohol byť L297 použitý napríklad spolu so štvoritým darlingtonovým polom.

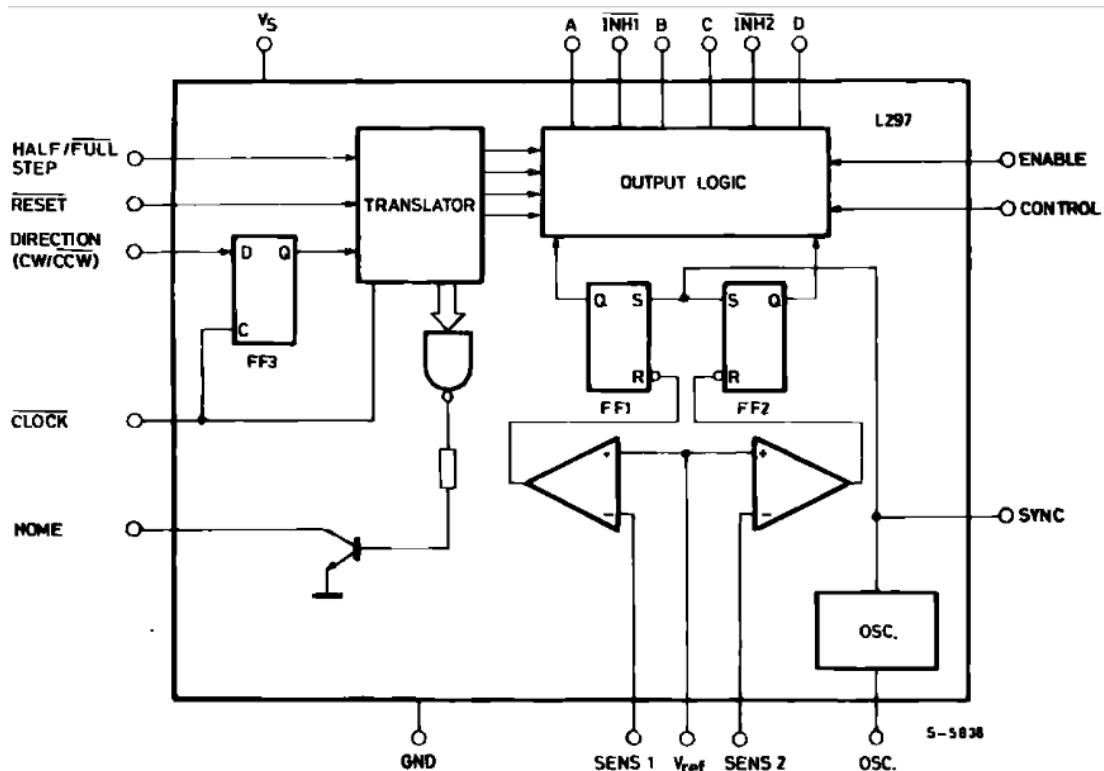
Obvod L297 prijíma ovládacie signály z riadiaceho systému, ktorým môže byť napríklad počítač alebo mikroprocesor a jeho výstupom sú budiace signály pre výkonový budič. Vstupné riadiace signály sú STEP a DIR. Signál STEP má impulzný priebeh a pri každom impulze dochádza k pootočeniu motora. Smer pootočenia závisí od logickej hodnoty signálu DIR. Ďalej je možné nastaviť výber polovičného alebo plného kroku a pri plnom kroku vybrať medzi jednofázovým alebo dvojfázovým riadením. Toto nastavenie sa vykonáva správnou logickou úrovňou konkrétneho pinu obvodu. [28]



Obr. 3.2: Púzdro obvodu L297

pin	funkcia	názov	popis
1	výstup	SYNC	Synchronizácia pre pre ostatné L297
2	napájanie	GND	Zem
3	výstup	HOME	Indikácia stavu ABCD = 0101
4	výstup	A	Fázový signál motora A
5	výstup	$\overline{\text{INH1}}$	Blokovací signál pre budič
6	výstup	B	Fázový signál motora B
7	výstup	C	Fázový signál motora C
8	výstup	$\overline{\text{INH2}}$	Blokovací signál pre budič
9	výstup	D	Fázový signál motora D
10	vstup	ENABLE	Povolenie výstupov A, B, C, D, $\overline{\text{INH1}}$ a $\overline{\text{INH2}}$
11	vstup	CONTROL	Spôsob blokovania budiča
12	napájanie	V_c	Napájanie, 5V
13	vstup	SENS_2	Vstup napätia z budiča
14	vstup	SENS_1	Vstup napätia z budiča
15	vstup	V_{ref}	Nastavenie výstupného prúdu z budiča
16	vstup	OSC	Vstup synchronizačnej frekvencie
17	vstup	$\text{CW}/\overline{\text{CCW}}$	Smer otáčania motora
18	vstup	$\overline{\text{CLOCK}}$	Krokovanie motora
19	vstup	$\overline{\text{HALF/FULL}}$	Výber medzi plným a polovyčným krokom
20	vstup	$\overline{\text{RESET}}$	Nastave stavu ABCD = 0101

Tab. 3.1: Názov a funkcia pinov obvodu L297

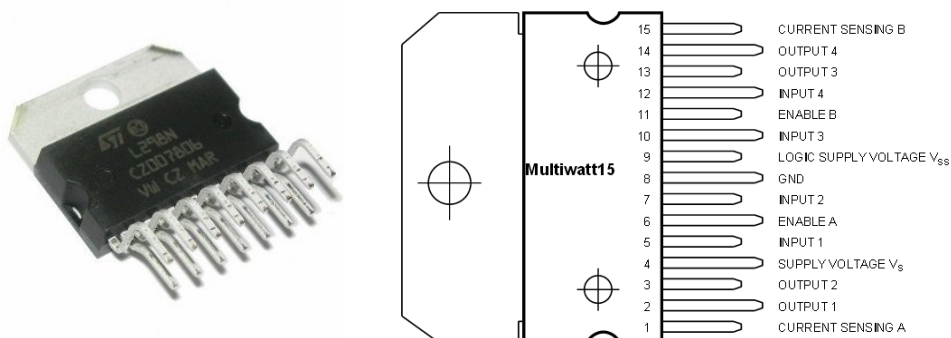


Obr. 3.3: Vnútorná štruktúra obvodu L297

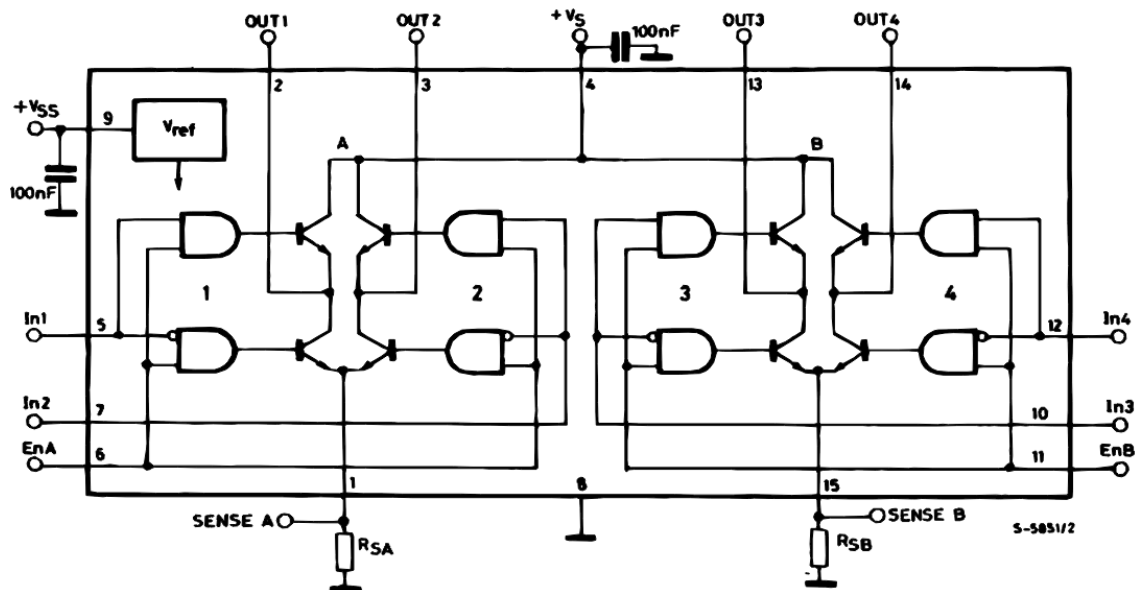
3.2 Dvojitý kompletný H-mostík L298

L298 je integrovaný obvod v púzdre Multiwatt15. Obsahuje dva rovnaké kompletné H-mostíky použiteľné napríklad pre prácu s krokovými motormi, jednosmernými motormi, selenoidmi atď. Maximálny ustálený prúd pre každý mostík je 2A a maximálne napätie 50V.

Vstupné logické hodnoty INPUT 1 až INPUT 4 sú pomocou H-mostíkov prevedené na silové prúdy na výstupoch OUTPUT 1 až OUTPUT 4 schopné napájať požadovanú výkonovú aplikáciu. Každý mostík je možné nezávisle blokovat pomocou vstupných signálov ENABLE. Spodný koniec mostíka nie je priamo pripojený na zem ale na pin SENSE, a to z dôvodu možnosti merania prúdu mostíka. Prúd sa vyhodnocuje z napätia na rezistore pripojeného medzi pin SENSE a GND. [29].



Obr. 3.4: Púzdro obvodu L298



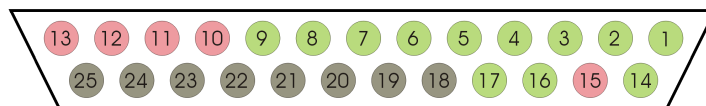
Obr. 3.5: Vnútorná štruktúra obvodu L298

pin	funkcia	názov	popis
1	výstup	SENSE A	Výstup meracieho prúdu
2	výstup	OUTPUT 1	Priame pripojenie krokového motora
3	výstup	OUTPUT 2	Priame pripojenie krokového motora
4	napájanie	V_s	Napájanie silovej časti, max. 50V
5	vstup	INPUT 1	Budený vstup 1
6	vstup	ENABLE A	Povolenie výstupu OUTPUT3 a 4
7	vstup	INPUT 2	Budený vstup 2
8	napájanie	GND	Zem
9	napájanie	V_{ss}	Napájanie logickej časti, 5V
10	vstup	INPUT 3	Budený vstup 3
11	vstup	ENABLE B	Povolenie výstupu OUTPUT3 a 4
12	vstup	INPUT 4	Budený vstup 4
13	výstup	OUTPUT 3	Priame pripojenie krokového motora
14	výstup	OUTPUT 4	Priame pripojenie krokového motora
15	výstup	SENSE B	Výstup meracieho prúdu

Tab. 3.2: Názov a funkcia pinov obvodu L298

3.3 Prepojenie s PC

Komunikáciu ovládača s osobným počítačom som z dôvodu uvedeného v úvode tejto kapitoly riešil pomocou paralelného portu. Ten na strane PC používa 25-pinový konektor D-SUB, preto som rovnaký konektor navrhol použiť aj na ovládač. Takto bolo možné na prepojenie ovládača s PC použiť štandardný predlžovací kábel paralelného portu.



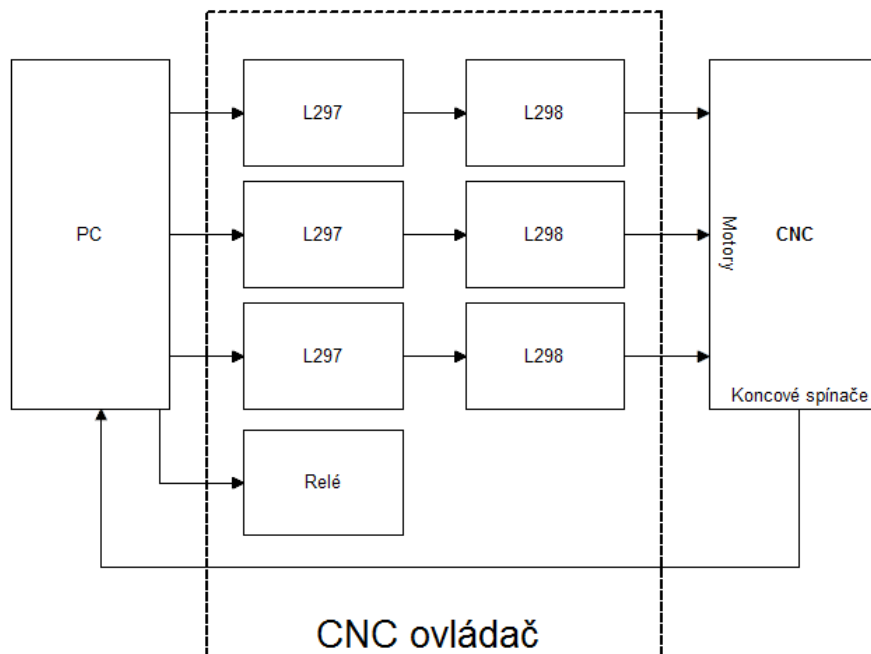
Obr. 3.6: Zapojenie konektoru D-SUB

Pin	Typ pinu	Funkcia	Popis
1	výstup	Výstup_1	ovládanie relé
2	výstup	Y_STEP	krokovanie motora osi Y
3	výstup	Z_STEP	krokovanie motora osi Z
4	výstup	X_STEP	krokovanie motora osi X
5	výstup	A_STEP	možné budúce rozšírenie
6	výstup	Y_DIR	smer otáčania osi Y
7	výstup	Z_DIR	smer otáčania osi Z
8	výstup	X_DIR	smer otáčania osi X
9	výstup	A_DIR	možné budúce rozšírenie
10	vstup	Vstup_1	vstup, zatiaľ nevyužitý
11	vstup	Y_LIMIT	koncové spínače osi Y
12	vstup	Z_LIMIT	koncové spínače osi Z
13	vstup	X_LIMIT	koncové spínače osi X
14	výstup	-	neapojené
15	vstup	A_LIMIT	možné budúce rozšírenie
16	výstup	Výstup_2	výstup, zatiaľ nevyužitý
17	výstup	-	nezapojené
18	zem	GND	
19	zem	GND	
20	zem	GND	
21	zem	GND	
22	zem	GND	
23	zem	GND	
24	zem	GND	
25	zem	GND	

Tab. 3.3: Prehľad zapojenia konektora D-SUB

3.4 Popis návrhu

Obvod pozostáva z troch rovnakých celkov, zložených z integrovaných obvodov L297 a L298.



Obr. 3.7: Blokovaná schéma CNC ovládača

Pomocou konektora D-SUB (X2) alebo vstupných obojstranných kolíkov JUM12, JUM13 sú do zapojenia privádzané logické hodnoty, slúžiace pre ovládanie obvodov L297 (IC3, IC5, IC6), pre spínanie relé REL1 alebo pre logické spínanie iného externého obvodu pomocou kolíkov JUM19. Zopnutie relé je indikované diódou D27.

Zapojenie ovládača je navrhnuté s možnosťou jeho rozšírenia na ovládanie o jednu os navyše. Na tento účel slúži kolíková lišta JUM11.

Každý obvod L297 je ovládaný dvomi signálmi z konektora D-SUB, dvomi polohami skratovacích prepojek a polohou odporového trimra.

Signály z konektora D-SUB sú STEP a DIR a ich funkcia je vysvetlená v kapitole o L297. K obvodu L297 sú pripojené na pin $\overline{\text{CLOCK}}$ a $\overline{\text{CW/CCW}}$.

Skratovacie prepojky slúžia k prepojeniu dvoch susedných kolíkov na kolíkovej lište, ktorá zoskupuje kolíky v poradí +5V, pin, GND. Správnou polohou skratovacej prepojky je možné priviesť na vstupný pin obvodu vysokú alebo nízku logickú hodnotu. Takéto prepojky obsahuje každý obvod L297 dve a pomocou nich sa nastavujú plný alebo polovičný krok (JUM2, JUM4, JUM6) a spôsob blokovania budiča L298 pri prekročení budiaceho prúdu (JUM1, JUM3, JUM5). Budič L298 možno blokovat signálmi $\overline{\text{INH1}}$ a $\overline{\text{INH2}}$ alebo signálmi A, B, C, D.

Maximálny budiaci prúd budiča sa nastavuje odporovým trimrom (P1, P2 a P3).

Spomenuté skratovacie prepojky a poloha trimra sa nastavujú iba raz a počas prevádzky sa motory ovládajú iba dvomi signálmi STEP a DIR.

Jeden z obvodov L297 (IC6) má na pin OSC privedený RC člen, určujúci pracovnú frekvenciu všetkých obvodov a k ostatným obvodom je táto frekvencia privedená vzájomným prepojením pinov SYNC všetkých obvodov L297. Ostatné obvody majú pin OSC pripojený k GND.

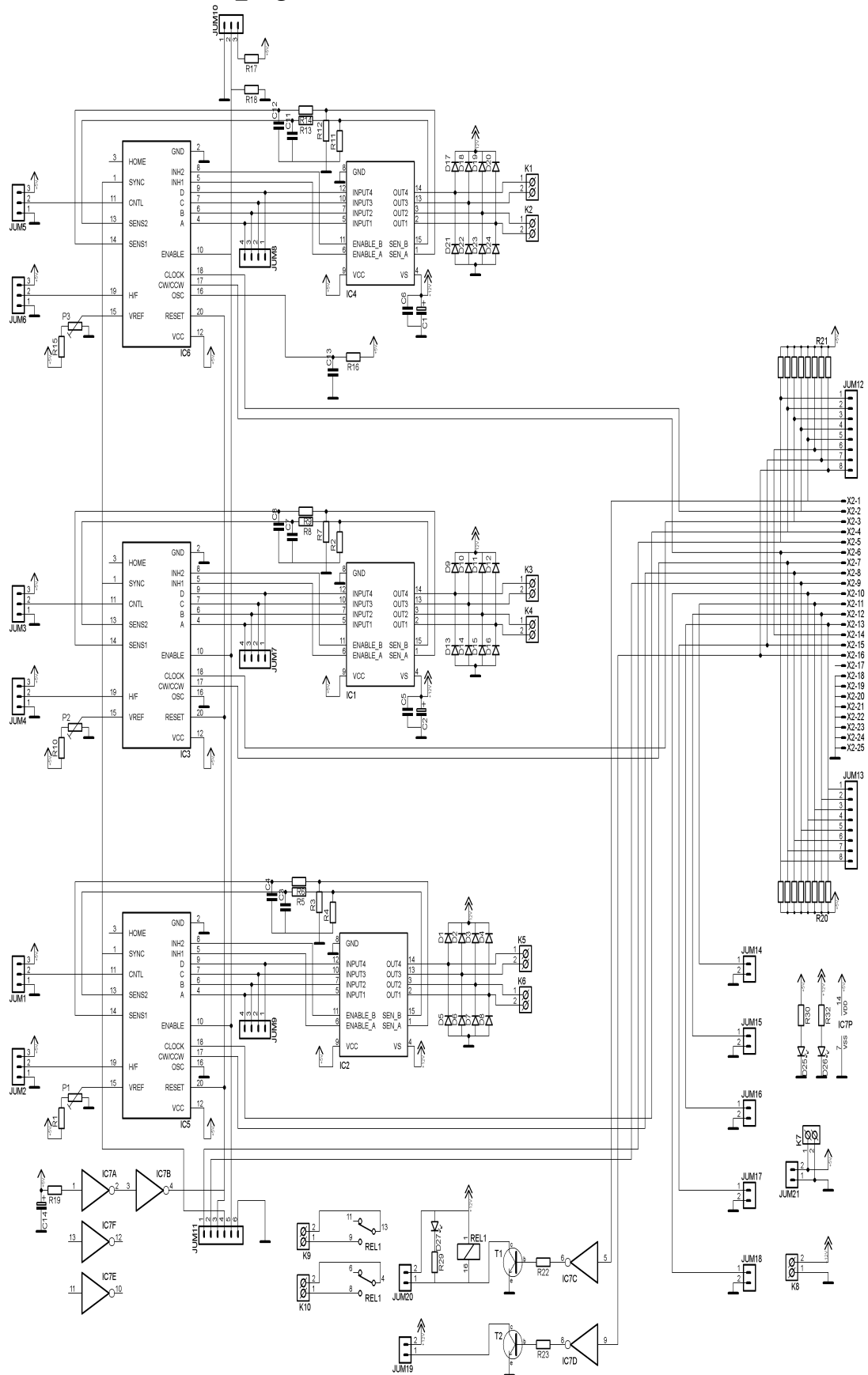
V prípade potreby ručného posuvu osí je potrebné „odbrzdiť“ krokové motory zablokovaním budiča. Túto situáciu riešia piny ENABLE jednotlivých obvodov L297. Pre zjednodušenie sú piny ENABLE všetkých troch obvodov prepojené a vyvedené ako jeden pin na kolíkovú lištu (JUM10) s možnosťou pripojenia pomocou skratovacej prepojky k vysokej alebo nízkej logickej úrovni.

Výstupné signály A,B,C,D jednotlivých obvodov L297 sú prepojené s budenými vstupmi L298 (IC1, IC2 a IC4) a zároveň sú tieto signály vyvedené na kolíkové lište (JUM7, JUM8 a JUM9) pre potreby merania. Okrem signálov A, B, C, D sú tieto obvodové dvojice medzi sebou prepojené aj signálmi $\overline{INH1}$ (ENABLE A) a $\overline{INH2}$ (ENABLE B) poskytujúcimi možnosť blokovať budič a ďalej signálmi $SENS_1$ (SENSE A) a $SENS_2$ (SENSE B) na meranie prúdu vo vinutiach krokových motorov. Výstupy budičov L298 je možné pripojiť priamo cez svorkovnice (K1-K6) na krokové motory. Výstup L298 je chránený proti prepätiu ôsmimi diódami SF26. Zapojenie vyžaduje napájanie 5V a 12V, a je indikované LED diódami.

Chladenie je zabezpečené väčším hliníkovým chladičom a dvomi malými ventilátormi pripojenými na 12V

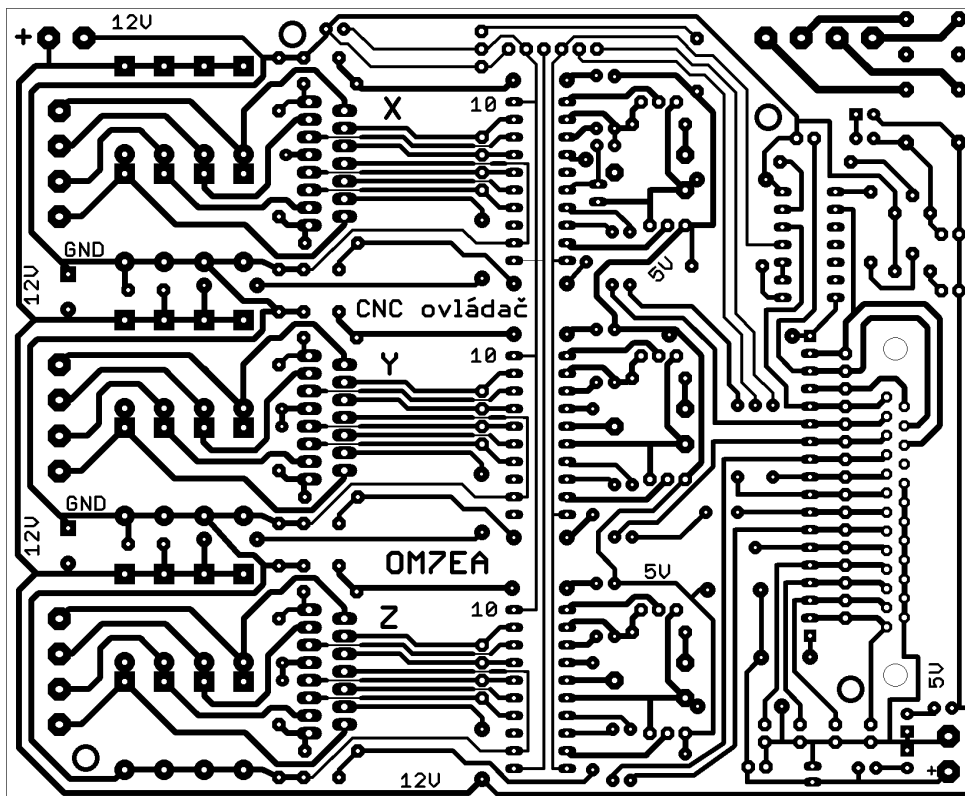
Podrobný zoznam použitých súčiastok sa nachádza v prílohe 2.

3.5 Schéma zapojenia

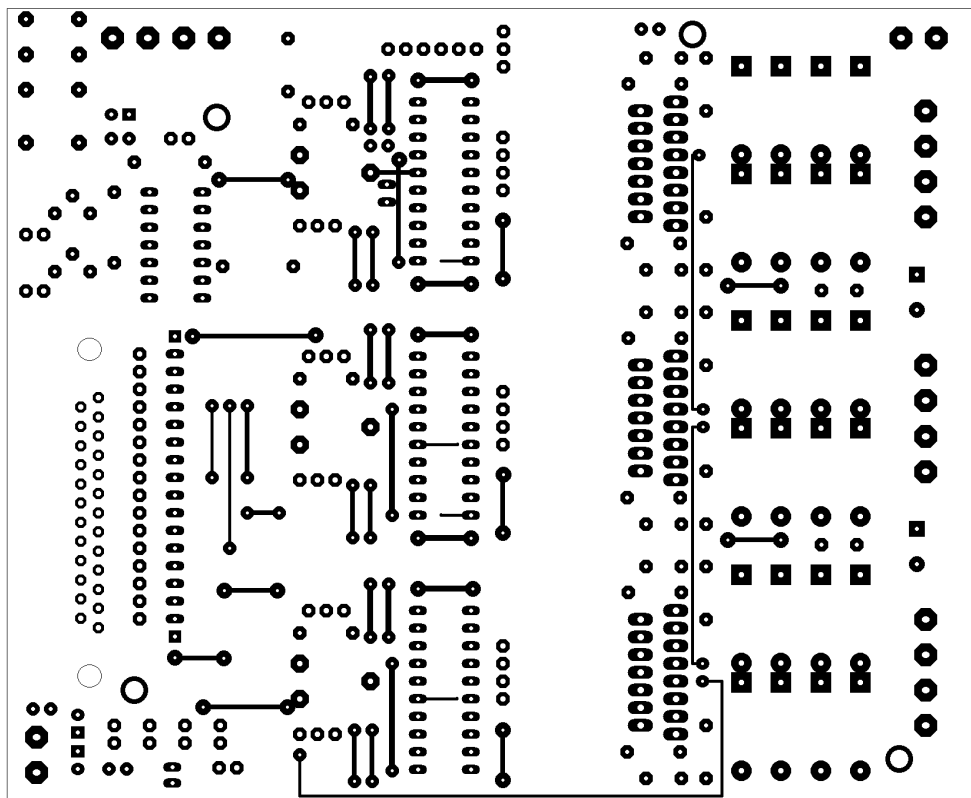


Obr. 3.8: Schéma zapojenia ovládača

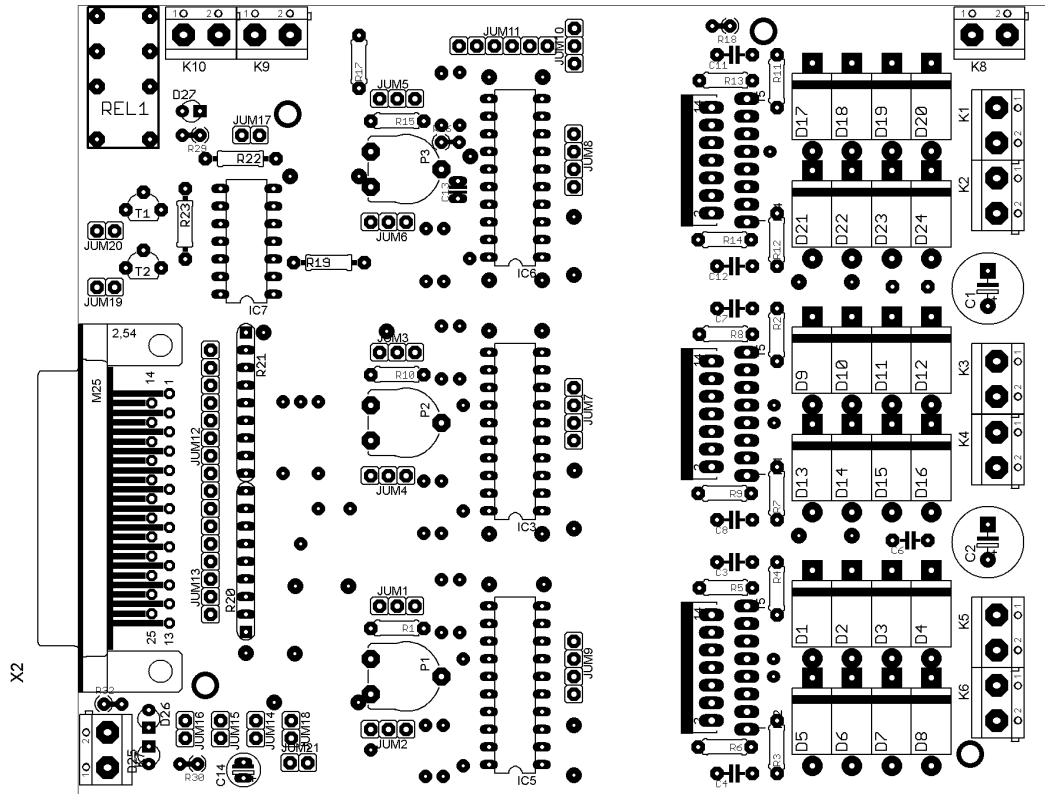
3.6 Doska plošných spojov



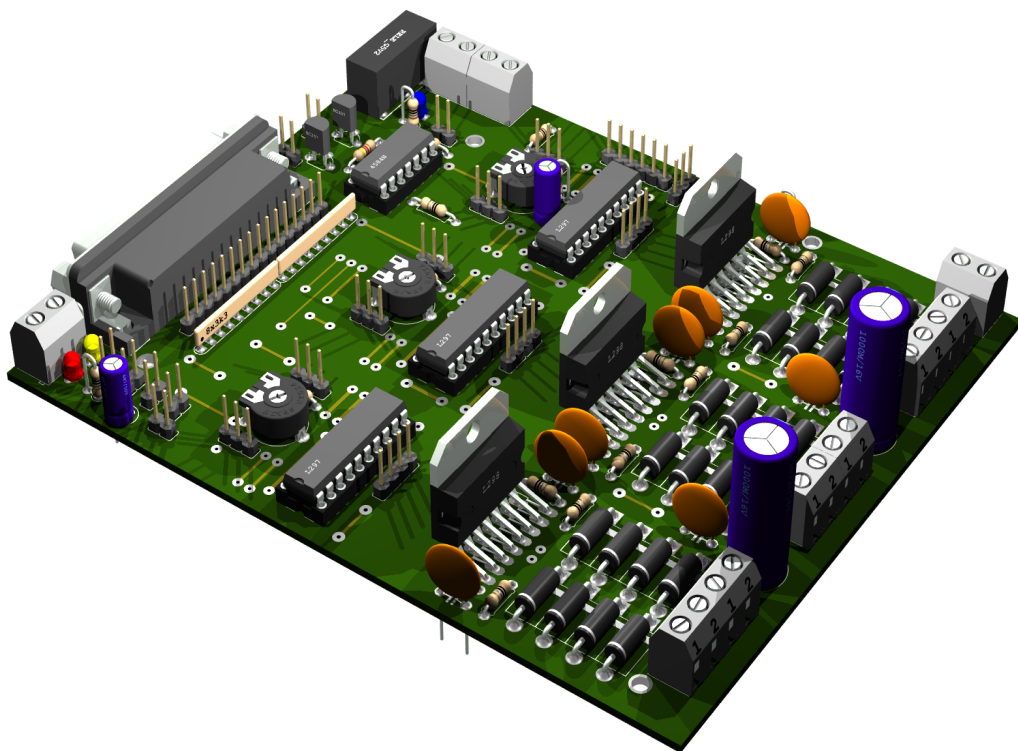
Obr. 3.9: Doska plošných spojov (strana spojov)



Obr. 3.10: Doska plošných spojov (strana súčiastok)



Obr. 3.11: Rozmiestnenie súčiastok



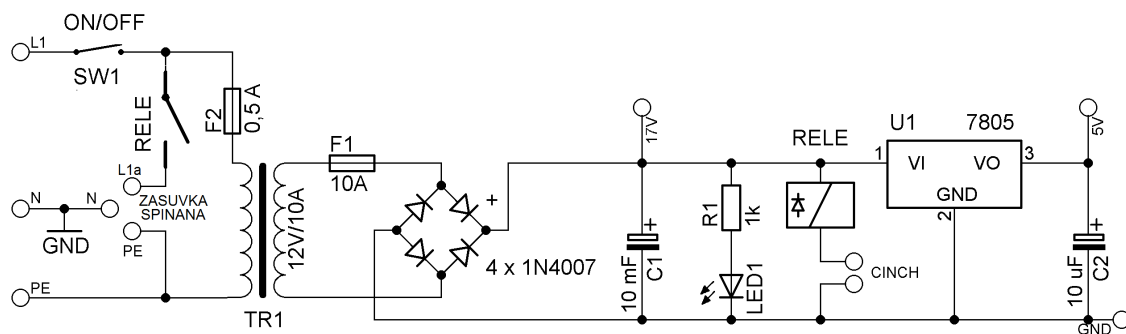
Obr. 3.12: Vizualizácia finálneho vzhľadu (bez chladiča)

3.7 Zdroj

Navrhnutá riadiaca elektronika vyžaduje zdroj dvojakého jednosmerného napätia. Obvody L297, logická časť obvodov L298 a obvod 4584 sú napájané piatimi voltami a ich maximálny súčasný odber môže byť až 300mA. Druhé napätie slúži na napájanie silovej časti obvodov L298 a môže byť ľubovoľné menšie ako 46V. Mal som k dispozícii dostatočne výkonný sieťový transformátor so sekundárnym napätím 12V AC, preto som ho využil. Očakávaný prúd silovej časti bol 3A.

Zdroj sa konštrukčne nachádza v plechovej skrinke. Na prednom paneli je umiestnený sieťový vypínač a indikačná LED dióda. Na zadnom paneli je prívodná sieťová šnúra, sieťová šnúra so zásuvkou, šnúra s konektorom pre výstup napätia 5 a 17V, svorky pre výstup napätia 17V a CINCH pre spínanie zásuvkového relé.

Zapojenie zdroja je veľmi jednoduché. Primárna strana transformátora je pripojená cez sieťový vypínač a poistku na prívodnú sieťovú šnúru. Sekundárna strana transformátora ide cez poistku na Graetzov mostík zo štyroch diód 1N4007. Výstup mostíka je pripojený k veľkému vyhladzovaciemu kondenzátoru a jeho výstupom je jednosmerné napätie veľkosti približne 17V. Prítomnosť tohto napätia indikuje LED dióda. Napätie 5V je získané stabilizátorom 7805. Obidve napätia a zem sú zo skrinky zdroja vyvedené šnúrou s konektorom. V krabicike zdroja sa nachádza relé, ktoré slúži na spínanie šnúry zo zásuvkou a je ovládané externe pomocou konektora CINCH. Šnúra so zásuvkou je určená na napájanie vrtačky alebo iného vypínateľného zariadenia. Ovládanie spínania tejto šnúry pomocou relé konektorom CINCH je realizované malým relé umiestnenom v riadiacej elektronike. Plechová skrinka zdroja je riadne uzemnená uzemňovacím vodičom.

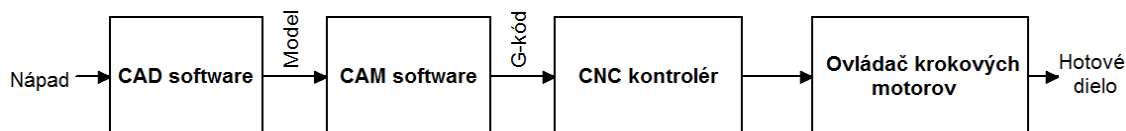


Obr. 3.13: Schéma zapojenia zdroja

4. Riadenie CNC

4.1 Proces programovej prípravy

Od nápadu k hotovému dielu, je vo všeobecnosti potrebné použiť tri programy, z ktorých každý ma svoju špecifickú úlohu [5.1].



Obr. 4.1: Schéma programovej prípravy

CAD software

CAD (Computer Aided Design) je software slúžiaci na návrh častí, ktoré sa budú opracovávať. Existujú stovky CAD programov, ktoré sa vo všeobecnosti rozdeľujú na 2D a 3D. Zatiaľčo v 2D je možné navrhovať iba plošné procesy, 3D CAD programy umožňujú vymodelovať kompletne 3D objekty. Medzi najznámejšie patria napríklad AutoCAD, CorelCAD alebo Google SketchUP, ktorý je zdarma. [30]

CAM software

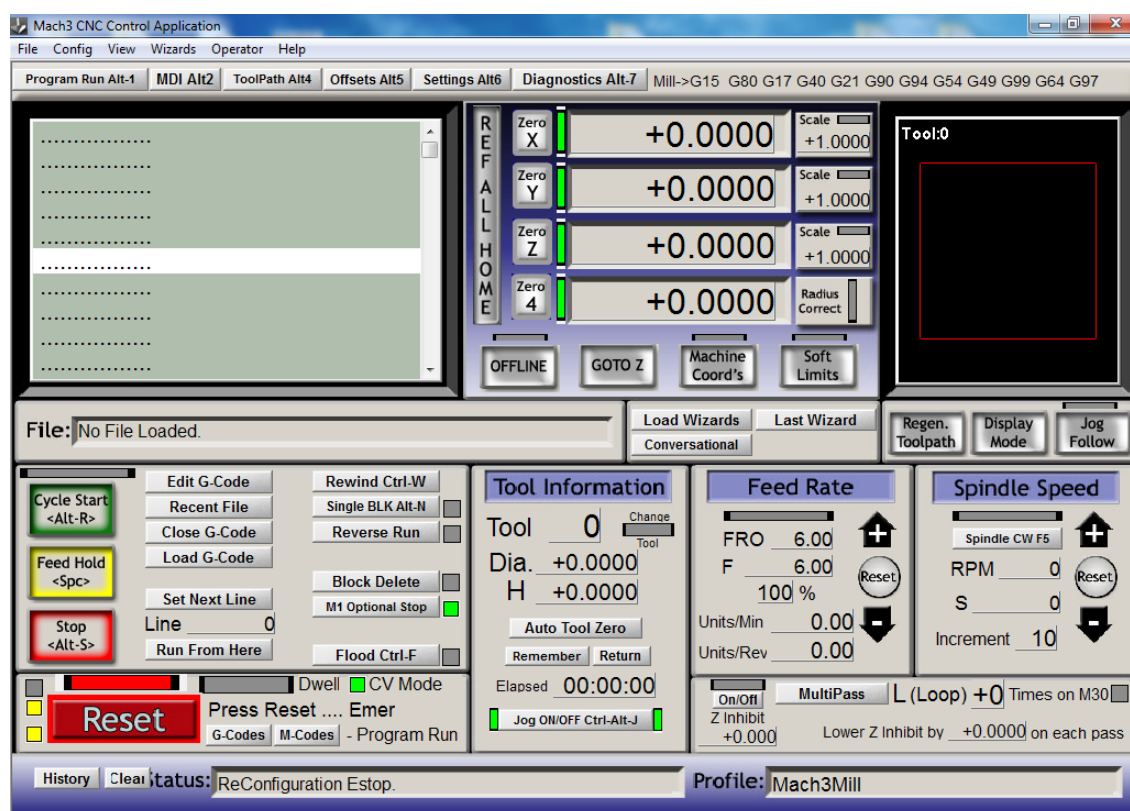
CAM (Computer Aided Manufacturing) spracúva výstup z CAD programu a vykonáva potrebné výpočty pre správne určenie dráhy pracovného nástroja na základe nastavení pre danú úlohu. Môžu sa tu nastavovať napríklad počiatočné súradnice, priemer a pracovná výška nástroja alebo rýchlosť rezu pre jednotlivé úlohy. Takisto ako CAD, tak aj CAM programy sa delia na 2D a 3D v závislosti na type vstupných dát, ktoré umožňujú spracovať. Ich výstupom je trajektória pracovného nástroja skladajúca sa zo série pohybov, ktoré musí stroj vykonať a je zapísaná pomocou G-kódov. Tie sú podporované väčšinou CNC kontrolérov. Za všetky spomeniem napríklad LazyCam, G-Simple alebo CamBAM. [30]

CNC kontrolér

CNC kontrolér je program, ktorého vstupné údaje sú G-kódy pochádzajúce väčšinou z CAM programu, a v presných časových okamihoch posiela riadiace signály ovládaču krokových motorov. Niektoré väčšie CNC stroje majú v sebe integrovaný vlastný počítač alebo kontrolér, a tento software je implementovaný v ňom. Pre menšie a stredne veľké stroje je výhodnejšie použiť osobný počítač so špeciálnym programom. Príkladom najviac používaných programov pre PC sú EMC a Mach3. EMC je voľne šíriteľný a pracuje pod operačným systémom Linux, zatiaľčo Mach3 je komerčný a beží na Windows. Ešte aj dnes sú ľudia, ktorí preferujú používanie CNC kontroléry bežiacie v MSDOS, napríklad TurboCNC. [30]

4.2 Mach3

Mach3 je jeden z najpopulárnejších CNC kontrolérov. Jedná sa o sadu programov premieňajúcich osobný počítač na výkonný a lacný riadiaci systém. Určený je predovšetkým pre operačné systémy Windows XP alebo Windows 2000 a ideálne pre taktovaciu frekvenciu procesoru aspoň 1GHz. Komunikácia prebieha po jednom alebo dvoch paralelných portoch a pokiaľ je to vyžadované, tak aj pomocou sériového portu. Vďaka veľkej flexibilitě nastavení je ho možné použiť na akýkoľvek stroj s lineárnym alebo rotačným posuvom a to až pre 6 osí. Jeho cena sa pohybuje okolo 130 EUR, je však možné využívať DEMO verziu, ktorá je plne funkčná, no má obmedzený rozsah G-kódu.



Obr. 4.2: Pracovné prostredie Mach3

Existuje niekoľko možností ako v tomto programe dosiahnuť žiadaný pohyb CNC stroja. Najpoužívanejšie sú: Import G-kódu, ručné polohovanie a využitie sprievodcov. [20]

4.2.1 Import G-kódu

Jedná sa o načítanie textového súboru obvykle s príponou „.nc“ alebo „.tap“, ktorý mohol byť napísaný ručne alebo vygenerovaný z nejakého CAM programu, a v ktorom sú v riadkoch písané jednotlivé funkcie pomocou G-kódov. Po spustení pracovného cyklu dochádza k postupnému vykonávaniu týchto funkcií. Napríklad G-kód G00 X10 Y20 Z30, spôsobí pohyb nástroja z aktuálnej polohy do polohy zadanej za jednotlivými písmenami osí, rýchloposuvom a po priamke. [20]

4.2.2 Ručné polohovanie

Z prostredia Mach3 je možné vo všetkých osách ovládať frézu ručne, napríklad pomocou klávesnice. V základnom nastavení na to slúžia pre os X a os Y kurzorové šípky a pre os Z tlačidlá PageUp a PageDown. Takto polohovať je možné v troch režimoch: priebežnom, krokovacom a MPG.

V priebežnom režime sa vybraná os pohybuje, pokiaľ je stlačená daná klávesa. Rýchlosť posuvu je nastaviteľná v rozsahu 0,1 až 100% z maximálnej rýchlosti osi.

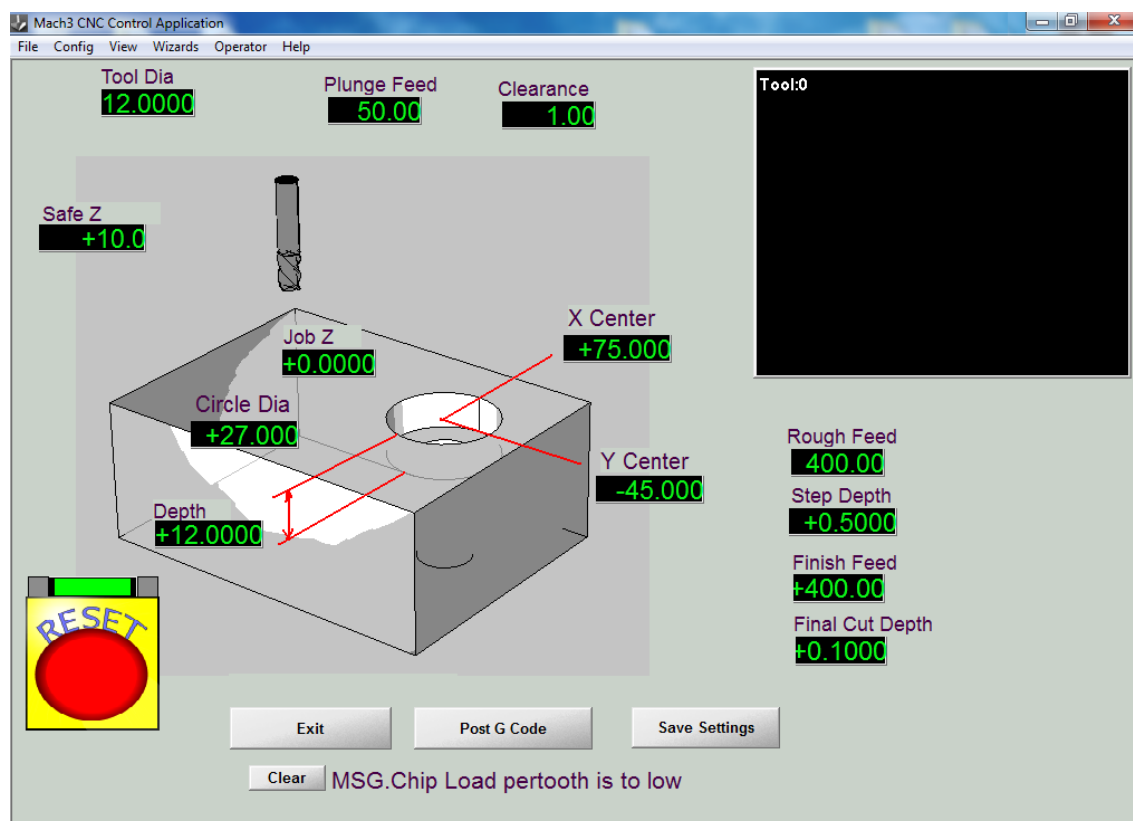
Krokový režim posúva pri každom stlačení klávesy vybranú os iba o určitý počet nastavených krokov.

V prípade použitia digitálne rotačného enkodéra sa volí režim MPG (Manual Pulse Generator), ktorý môže byť pripojený na paralelnom porte.

Ďalšia možnosť ručného posuvu je napríklad joystickom. [20]

4.2.3 Sprievodcovia

Sprievodcovia sú malé podprogramy Mach3 a dokážu na základe vyplnených údajov vygenerovať G-kód. Môže ísť napríklad o frézovanie kruhových vačkov, vrtanie pravouhlej sústavy dier, gravírovanie nápisov, digitalizácia časti povrchu atď. [20]



Obr. 4.3: Obrazovka sprievodcu na frézovanie kruhových vačkov

5. Overenie funkčnosti

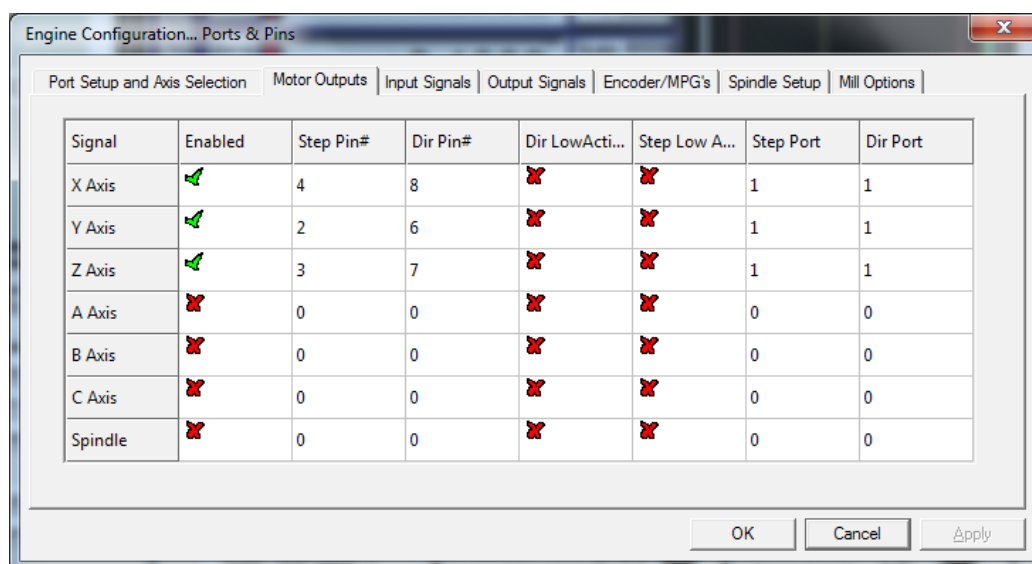
Po niekoľko mesačnej práci na frézke som sa konečne dostal k jej overeniu funkcie ako celku. Najprv som nastavil Mach3 podľa požiadaviek mojej CNC frézy a zhotoveného ovládacieho obvodu. Aby som dokázal funkčnosť spraviť som pre účely tejto práce dva pokusy o frézovanie. V prvom išlo o frézovanie môjho mena do drevotriekovej dosky a v druhom o frézovanie dosky plošných spojov.

5.1 Nastavenie programu Mach3

Ako som už spomínal, Mach3 je veľmi široko konfigurovateľný, dá sa prispôbiť pre veľa typov konštrukcii a plne vyhovoval aj tej mojej. Medzi najzákladnejšie nastavenie patrí: ovládacie signály motorov, vstupné signály, výstupné signály a ladenie motorov v jednotlivých osiach.

5.1.1 Ovládacie signály motorov

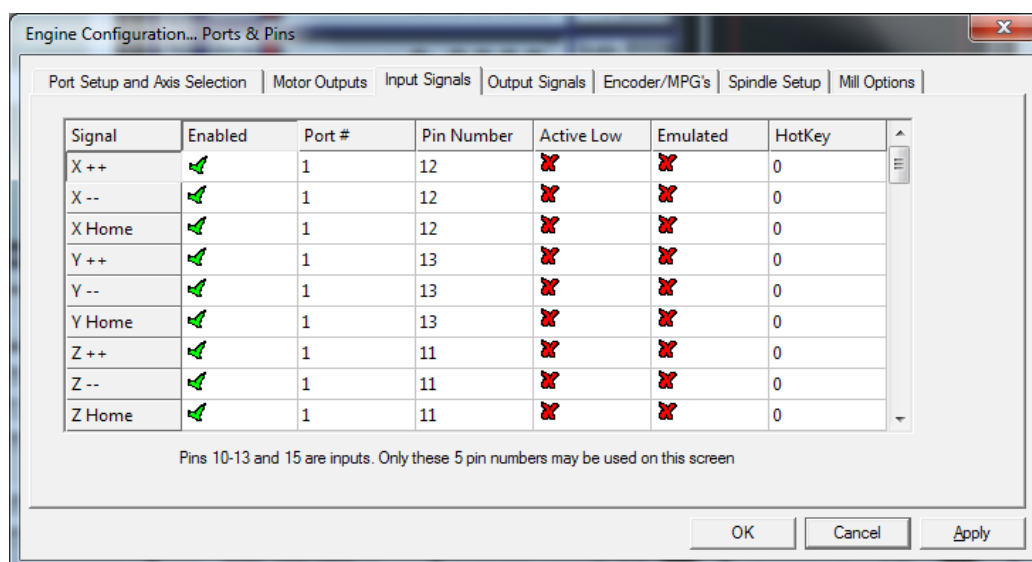
Vzhľadom k rôznym zapojeniam signálov v rôznych ovládačoch krokových motorov umožňuje Mach3 priradiť jednotlivé piny paralelného portu k ich funkcia. Moja frézka má tri osi: os X, os Y a os Z, preto som ich povolil v stĺpci Enabled. Ďalej nasledovalo nastavenie čísla pinov signálov STEP a DIR. Toto nastavenie odpovedalo presne zapojeniu môjho ovládacieho obvodu frézy. V stĺpci DirLowActiv je možné meniť smer pohybu osi na opačný.



Obr. 5.1: Nastavenie ovládacích signálov motorov

5.1.2 Vstupné signály

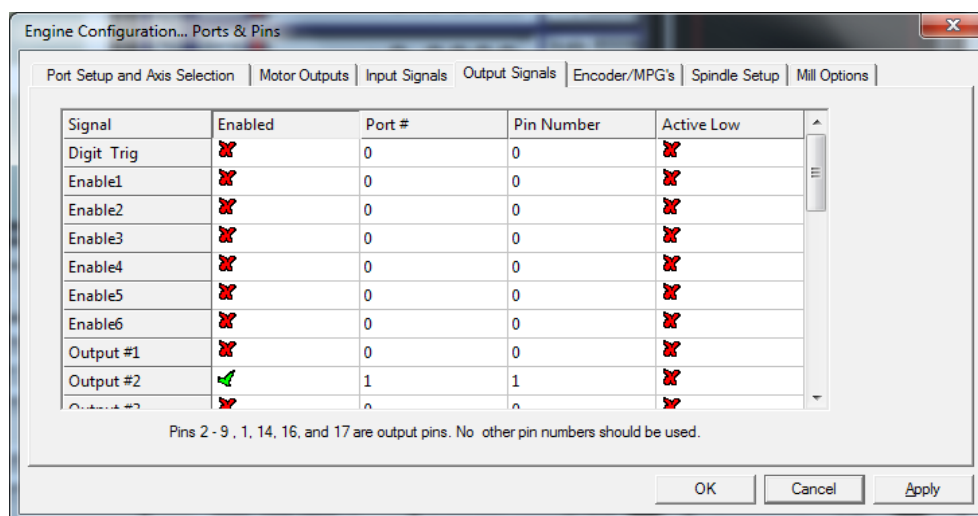
Vstupnými signálmi sú v mojom prípade iba koncové spínače jednotlivých osí. S ohľadom na použité zapojenie spínačov, teda na ich sériové prepojenie a zároveň, že jeden z nich slúži aj ako referenčný, je potrebné nastaviť všetky riadky týkajúce sa jednej osi na rovnaké číslo pinu. Obyčajný paralelný port dovoľuje použitie vstupných signálov iba pre piny 10, 11, 12, 13 a 15. Koncové spínače sú na pinoch 11,12, 13 a ostatné dva sú k dispozícii pre možné budúce rozšírenie ovládacieho obvodu.



Obr. 5.2: Nastavenie vstupných signálov

5.1.3 Výstupné signály

Okrem ovládacích signálov motorov, sú k dispozícii aj iné výstupné signály. K tomuto účelu sú v mojom zapojení vyhradené piny číslo 1, 5, 9, 14, 16 a 17, z ktorých využívam iba pin 1 a to na zapínanie a vypínanie pracovného zariadenia (vrtáčky).

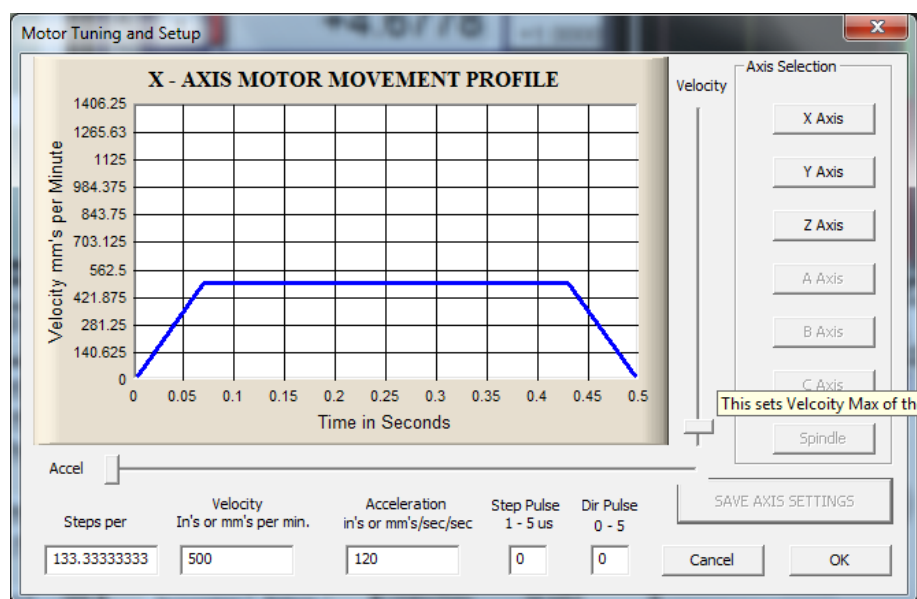


Obr. 5.3: Nastavenie výstupných signálov

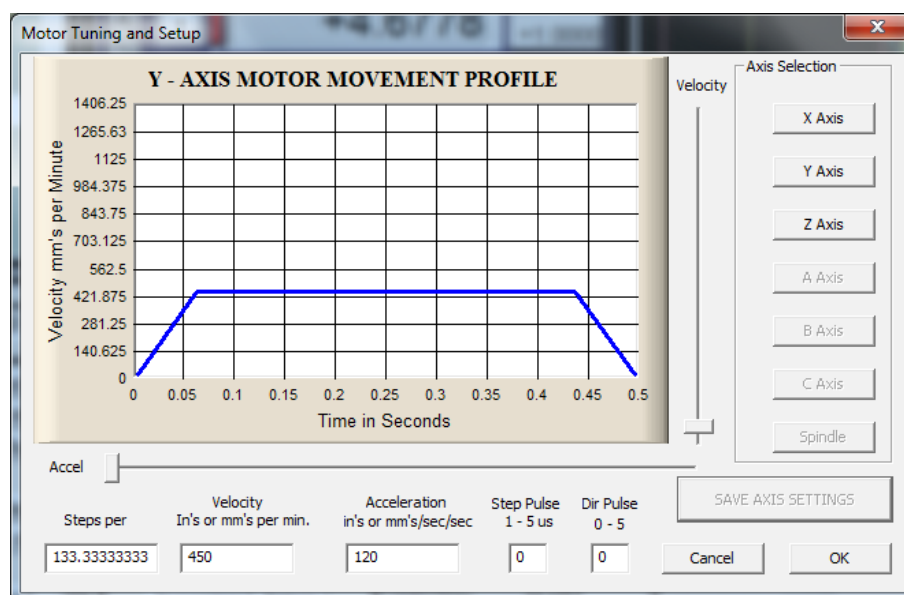
5.1.4 Ladenie motorov

Motory sa ladia samostatne pre každú os. Je to z dôvodu možnosti použitia rôznych motorov, poprípade rôznych prevodových stupňov.

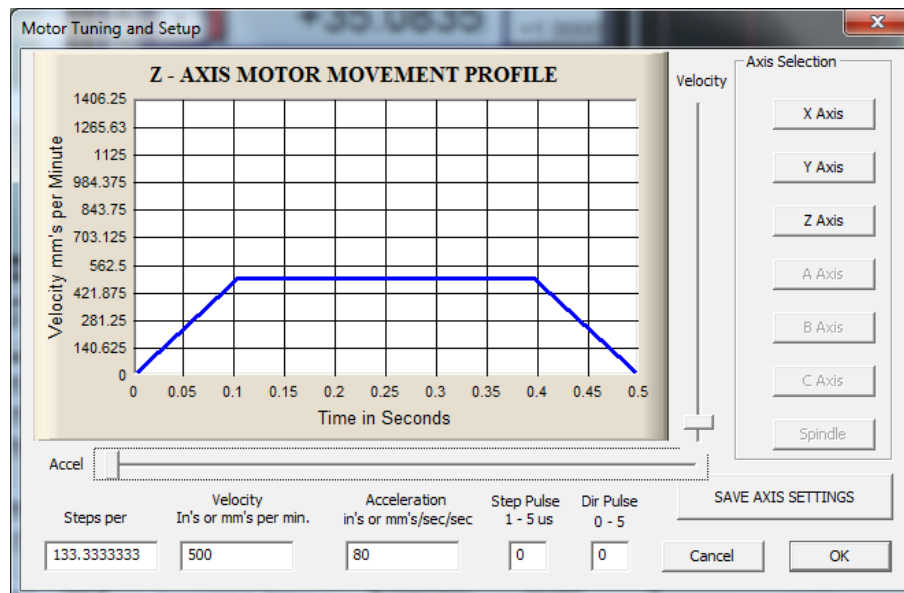
Najdôležitejším parametrom je počet krokov na 1 milimeter. Z toho program vypočítava reálne vzdialenosti. V každej osi som použil krokový motor s 200 krokmi na jednu otáčku, trapézová tyč mala stúpanie 3 mm na jednu otáčku a v ovládacom obvode som nastavil krokovanie v polovičných krokoch. Potom sa počet krokov na otáčku vypočíta ako $200 : 3 \times 2 = 133,3$. Ďalšie dva parametre: rýchlosť a zrýchlenie som nastavil iba od oka. Rýchlosť som sa snažil nastaviť čo najvyššiu avšak bol som limitovaný stratou momentu pri vyšších rýchlostiach alebo vibráciami konštrukcie pri určitých rýchlostiach.



Obr. 5.4: Nastavenie rýchlostného profilu osi X



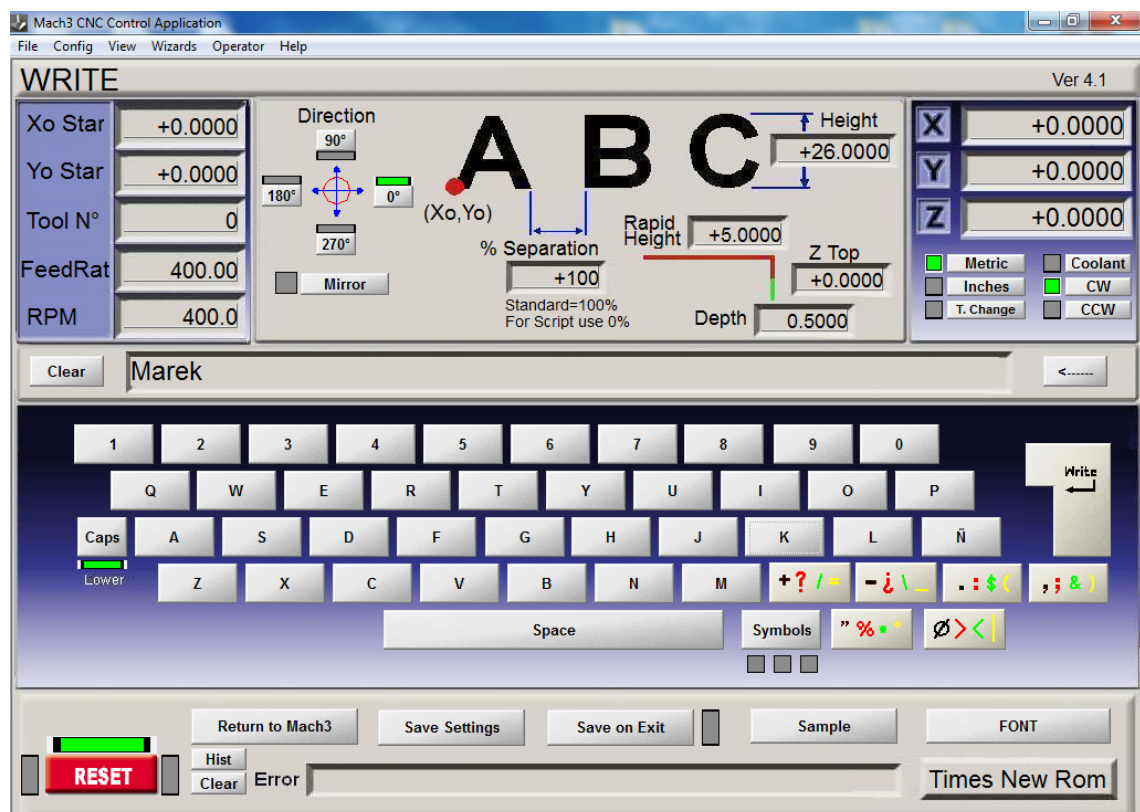
Obr. 5.5: Nastavenie rýchlostného profilu osi Y



Obr. 5.6: Nastavenie rýchlostného profilu osi Z

5.2 Frézovanie textu do drevotrieskovej dosky

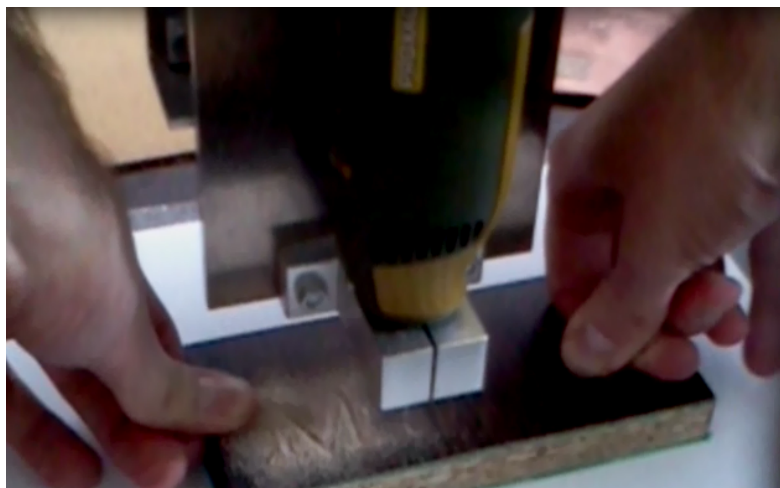
Pre tento účel som využil jedného z ponúkaných sprievodcov programu Mach3 s názvom Text Engraving v4. Výstupom tohto sprievodcu je export vygenerovaného G-kódu do Mach3.



Obr. 5.7: Obrazovka sprievodcu Text Engraving v4

Sprievodca umožňuje široké nastavenie parametrov: frézovaný text, písmo, veľkosť a vzdialenosť písmen, smer orientácie textu, súradnice počiatočného bodu, rýchlosť posuvu frézovania, hĺbku frézovania a výšku nástroja pri presúvaní.

Stlačením tlačidla Write dôjde k vygenerovaniu G-kódu a sprievodca sa ukončí. Činnosť frézky sa spúšťa zeleným tlačítkom s názvom Cycle Start.



Obr. 5.8: Frézovanie textu

Pracovným zariadením bola menšia modelárska vŕtačka typu PROXXON FBS 240/E a pracovný nástroj bola koncová fréza priemeru 1 mm.



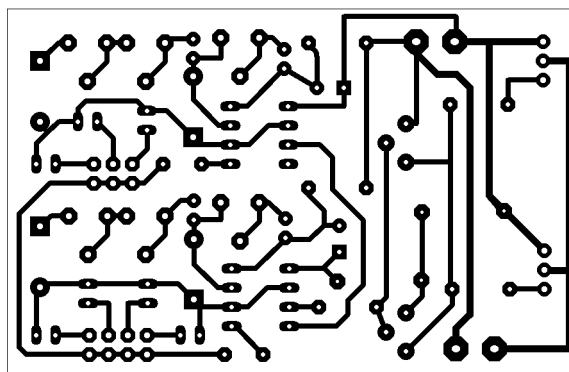
Obr. 5.9: Vyfrézovaný text

Doba práce bola približne 2 minúty a hotový text vyzeral veľmi slušne a nespozoroval som žiadny vplyv vôle konštrukcie.

Ukážka kompletného G-kódu sa nachádza v prílohe 3.

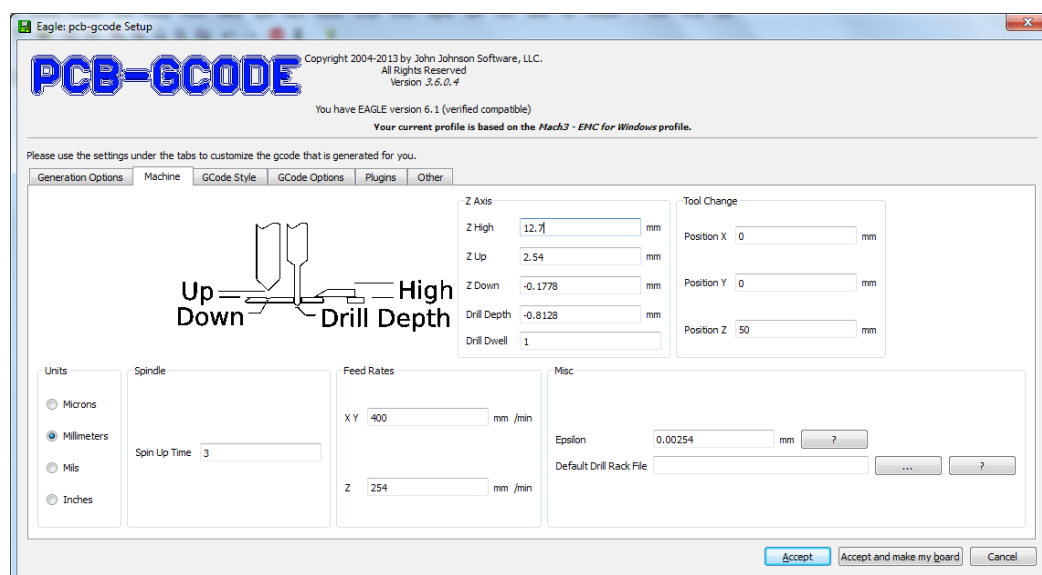
5.3 Frézovanie DPS

Plošný spoj som nakreslil v známom editore plošných spojov EagleCAD.



Obr. 5.10: Plošný spoj nakreslený v EagleCAD

Ďalej som zo stránky <http://www.pcbgcode.org/> stiahol voľne dostupný doplnok do Eaglu, ktorý umožňuje vygenerovať G-kód nakresleného plošného spoja. Funkciou je to CAM program a je možné v ňom nastavovať mnoho parametrov. Z vybraných možností som nastavil hĺbku frézovania, rýchlosť frézovania a veľkosť nástroja. Zaujímavým nastavením je výber medzi iba jedným prechodom frézy, ktorého výsledok je izolačná medzera veľkosti pracovného nástroja, a viacerými prechodmi frézy na dosiahnutie žiadanej izolačnej vzdialenosti. Ja som vybral jeden prechod kvôli menšiemu opotrebovaniu frézy.



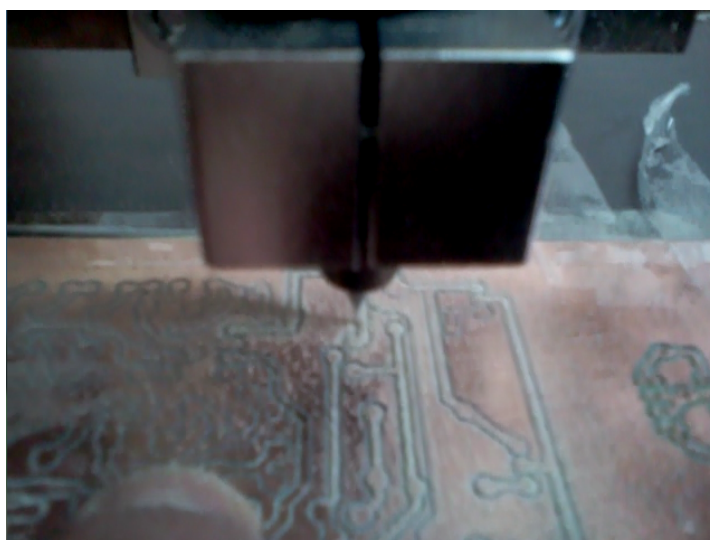
Obr. 5.11: Prostredie doplnku PCB to G-code

Po nastavení parametrov a stlačení tlačítka Accept, tento doplnok vygeneruje G-kód a navyše aj náhľad, na ktorom vidno, či je dané nastavenie vyhovujúce, a to najmä či došlo k odfrézovaniu všetkých ciest. Ak nie, je potrebné zvoliť menší priemer nástroja.



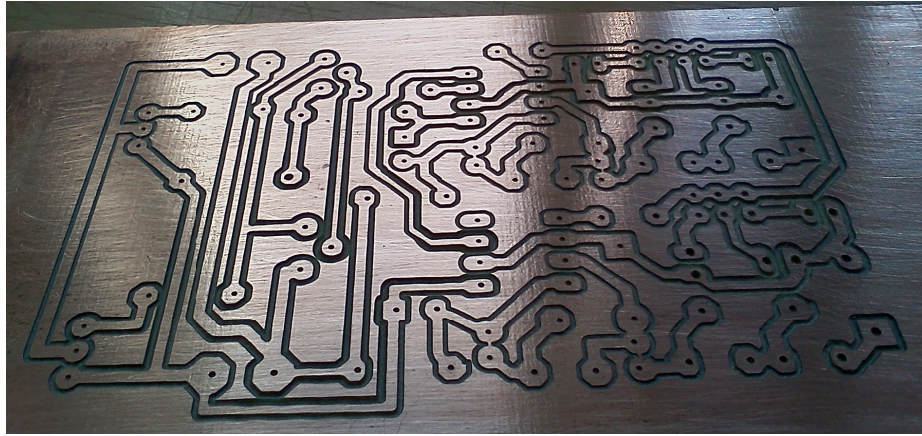
Obr. 5.12: Náhľad vygenerovanej dráhy nástroja

Následne som vygenerovaný G-kód importoval do Mach3 a spustil jeho vykonávanie tlačítkom Cycle Start.



Obr. 5.13: Frézovanie DPS

V tomto prípade bola použitá drážkovacia V fréza s priemerom 0,6 mm. Doba práce vrátane naznačenia otvorov bola približne 15 minút.



Obr. 5.14: Hotová DPS

Výsledok bol nad moje očakávania, hoci sa prejavili menšie nedostatky, ktoré sa však netýkali konštrukcie frézky. Prvým bolo prirodzené zvlnenie kuprexitovej dosky, čo spôsobovalo nerovnomernú hĺbku vniku nástroja do materiálu. Z tohto dôvodu som musel frézovať o niečo hlbšie ako by bolo vhodné, aby všetky časti dosky boli opracované. Ďalším nedostatkom bolo uvedenie chybného priemeru nástroja v doplnku PCB to G-code, čo malo za následok nedostatočné rozfrézovanie niekoľkých plôch nachádzajúcich sa blízko pri sebe.

Záver

Cieľ mojej bakalárskej práce, skonštruovať CNC stroj a k nemu ovládaciú elektroniku, som úspešne splnil. Návrh a stavba mechanickej časti boli časovo najnáročnejšie úkony celej práce. Konštrukcia závisela od súčiastok, ktoré som bol schopný zohnať, a viackrát sa menil jej návrh, a to aj počas stavby.

Maximálna pracovná oblasť je 430x370x70 mm, pričom je o trochu väčšia, než som si stanovil na začiatku návrhu. Vonkajšie rozmery sú 730x600x600 mm a boli obmedzené veľkosťou internátnej skrine, kde frézku skladujem. Teoretické rozlíšenie je 0,0075 mm, vypočítané ako pomer stúpania a počtu krokov na jednu otáčku. V praxi je však 0,08 mm, čo je voľným okom spozorovateľné len veľmi ťažko. Tento rozdiel vzniká najmä vôľami drevotrieskovej konštrukcie a malým prehybom vodiacich tyčí. Konštrukcia neobsahuje vreteno a je navrhnutá na používanie modelárskej mikrovŕtačky. Do budúcnosti bude ešte potrebné vymyslieť spôsob upínania obrobkov, ktorý momentálne absentuje.

Ovládacia elektronika je navrhnutá na budúcu možnosť pripojenia ovládania jednej osi navyše. Inak sú ešte voľné 2 vstupné signály a 5 výstupných signálov paralelného portu, ktoré sa dajú ľubovoľne využiť. Ovládacia elektronika je ďalej schopná nastaviť výstupný prúd do motorových cievok, čím je možné v prípade potreby vyššieho momentu ho dosiahnuť.

Hotová frézka je schopná opracovávať drevo, plasty a DPS s dostatočnou vizuálnou presnosťou. Finančné náklady tvorili iba zlomok komerčne predávaných riešení.

Zdroje

- [1] LAŠOVÁ, Václava. Základy stavby obráběcích strojů. *Západočeská univerzita v Plzni*. [online]. [2012] [cit. 2014-04-12]. Dostupné z: http://www.zcu.cz/pracoviste/vyd/online/Zaklady_stavby.pdf
- [2] JANÍČKOVÁ, Petra. Moderní konstrukční řešení CNC strojů. . [online]. [2010] [cit. 2014-04-12]. Dostupné z: <http://www.uh.cz/szesgm/files/sblizovani/pdf/mod-konstr-cnc.pdf>
- [3] Build your own DIY CNC Milling Machine. *Hack n mod*. [online]. [2009] [cit. 2014-04-12]. Dostupné z: <http://hacknmod.com/hack/build-your-own-diy-cnc-milling-machine/>
- [4] DIY Desktop CNC Machine. *The Red Ferret*. [online]. [2009] [cit. 2014-04-12]. Dostupné z: <http://www.redferret.net/?p=13745>
- [5] Cnc Furniture Plans Plans wood swing set plans free. *Free Wood Shed Plans Plans wood working kits*. [online]. [2013] [cit. 2014-04-12]. Dostupné z: <http://tdistvanqu.wordpress.com/2013/12/22/cnc-furniture-plans-plans-randkey/>
- [6] CNC Machine Building – Linear Motion Guides. *Metallin Aluminium Profile System*. [online]. [2013] [cit. 2014-04-20]. Dostupné z: <http://www.metallin.co.uk/shop/cnc-machine-building-linear-motion-guides.html>
- [7] 2 x SK16 16mm Linear Rail Shaft Guide Support for XYZ Table CNC. *Postrex*. [online]. [2014] [cit. 2014-04-20]. Dostupné z: <http://www.postrex.com/2-x-SK16-16mm-Linear-Rail-Shaft-Guide-Support-for-XYZ-Table-CNC-B00G9FQYTG-amazon>
- [8] SCS12UU Linear Motion Ball Bearing CNC Slide Bushing 36mm Length Pack Of 2. *Amazon*. [online]. [2014] [cit. 2014-04-20]. Dostupné z: <http://www.amazon.com/SCS12UU-Linear-Motion-Bearing-Bushing/dp/B00IJ67AEQ>
- [9] Ens guidage SBR12-0300mm. *Ex machina*. [online]. [cit. 2014-04-20]. Dostupné z: http://exmachina-shop.fr//catalog/product_info.php?cPath=25_26&products_id=1014
- [10] Parade der Solisten. *Das Fachportal für Wirtschaft und Technik*. [online]. [2008] [cit. 2014-04-20]. Dostupné z: http://www.industrie.de/industrie/live/index2.php?menu=1&submenu=3&object_id=31627429
- [11] Pohony CNC obrábacích strojov. *Mesačník Strojárstvo/Strojírenství*. [online]. [2012] [cit. 2014-04-25]. Dostupné z: <http://www.engineering.sk/index.php/clanky2/stroje-a-technologie/1646-pohony-cnc-obrabacich-strojov>

- [12] Ball Screws. *Rockford Ball Screw*. [online]. [2014] [cit. 2014-04-25]. Dostupné z: <http://www.rockfordballscrew.com/products/ball-screws/>
- [13] Advancing Security System Positioning and Control with Lead Screws. *Helix Linear technologies*. [online]. [2013] [cit. 2014-04-25]. Dostupné z: <http://blog.helixlinear.com/bid/305805/Advancing-Security-System-Positioning-and-Control-with-Lead-Screws>
- [14] Stepper motor. *Wikipedia*. [online]. [2014] [cit. 2014-04-30]. Dostupné z: http://en.wikipedia.org/wiki/Stepper_motor
- [15] Servomotor. *Wikipedia*. [online]. [2014] [cit. 2014-04-30]. Dostupné z: <http://en.wikipedia.org/wiki/Servomotor>
- [16] NEMA17 motor paso a paso. *Patagonia Tecnology Patagonia Tecnology*. [online]. [2013] [cit. 2014-04-30]. Dostupné z: <http://www.patagoniatecnology.com/producto/nema17-motor-paso-a-paso/>
- [17] Servomotor . *SKP*. [online]. [2013] [cit. 2014-04-30]. Dostupné z: <http://skpelec.com/products/servomotor/>
- [18] Pružné spojky s pružným stredom. *T.E.A Technik*. [online]. [2014] [cit. 2014-05-04]. Dostupné z: <http://www.teatechnik.sk/pruzne-spojky/>
- [19] CNC 32x35mm Motor Shaft Coupler 32mm to 35mm Flexible Coupling OD 65x90mm. *Amazon*. [online]. [2014] [cit. 2014-05-12]. Dostupné z: <http://www.amazon.com/32x35mm-Coupler-Flexible-Coupling-65x90mm/dp/B00A09N0OY>
- [20] A user's guide to installation, configuration and operation. *Mach Developers Network*. [online]. [2003] [cit. 2014-05-12]. Dostupné z: http://www.machsupport.com/wp-content/uploads/2013/02/Mach3Mill_1.84.pdf
- [21] Actobotics Mini Mikroschalter Wechselschalter / Offset Lever. *Play-zone.ch*. [online]. [cit. 2014-05-04]. Dostupné z: <http://www.play-zone.ch/de/actobotics-mini-mikroschalter-wechselschalter-offset-lever.html>
- [22] %100 NEW ITR8102 OPTO INTERRUPTER. *AliExpress*. [online]. [cit. 2014-05-08]. Dostupné z: <http://www.aliexpress.com/item/100-NEW-Everlight-ITR8102-OPTO-INTERRUPTER/831325263.html>
- [23] Indiamart. *Proximity Sensor*. [online]. [2011] [cit. 2014-05-08]. Dostupné z: <http://trade.indiamart.com/details.mp?offer=2499519233>
- [24] Linear Rail Shaft Guide Support SH...A. *Techdiy*. [online]. [cit. 2014-05-12]. Dostupné z: <http://techdiy.ru/content/linear-rail-shaft-guide-support-sha-0>
- [25] SCS25LUU Linear Bearings Linear Slide Bearing Linear Ball Motion Bearing. *Kuuco*. [online]. [cit. 2014-05-12]. Dostupné z: <http://www.kuuco.com/scs25luu-linear-bearings-linear-slide-bearing-linear-ball-motion-bearing-p-95.html>

- [26] Dryline ® Trapézová skrutka s čapom. *Igus*. [online]. [2002] [cit. 2014-05-12]. Dostupné z: http://www.igus.co.jp/wpck/8319/Trapezoidal_threaded_spindle_with_tap
- [27] Brand New CNC 8 x 8mm Shaft Coupler Flexible Coupling Servo Motor Connector. *Newegg*. [online]. [cit. 2014-05-14]. Dostupné z: <http://www.newegg.com/Product/Product.aspx?Item=9SLA3XT1D81129>
- [28] L297-The stepper motor controller. *SGS-THOMSON MICROELECTRONICS*. [online]. [1995] [cit. 2014-05-13]. Dostupné z: <http://www.technologicalarts.com/myfiles/data/AN470.pdf>
- [29] L-298 dual full-bridge driver. *SGS-THOMSON MICROELECTRONICS*. [online]. [2000] [cit. 2014-05-13]. Dostupné z: <http://www.tech.dmu.ac.uk/~mgongora/Resources/L298N.pdf>
- [30] CNC Software Workflow. *GRZ Software*. [online]. [2014] [cit. 2014-05-14]. Dostupné z: <http://www.grzsoftware.com/users/cncsoftware/>

Zoznam príloh

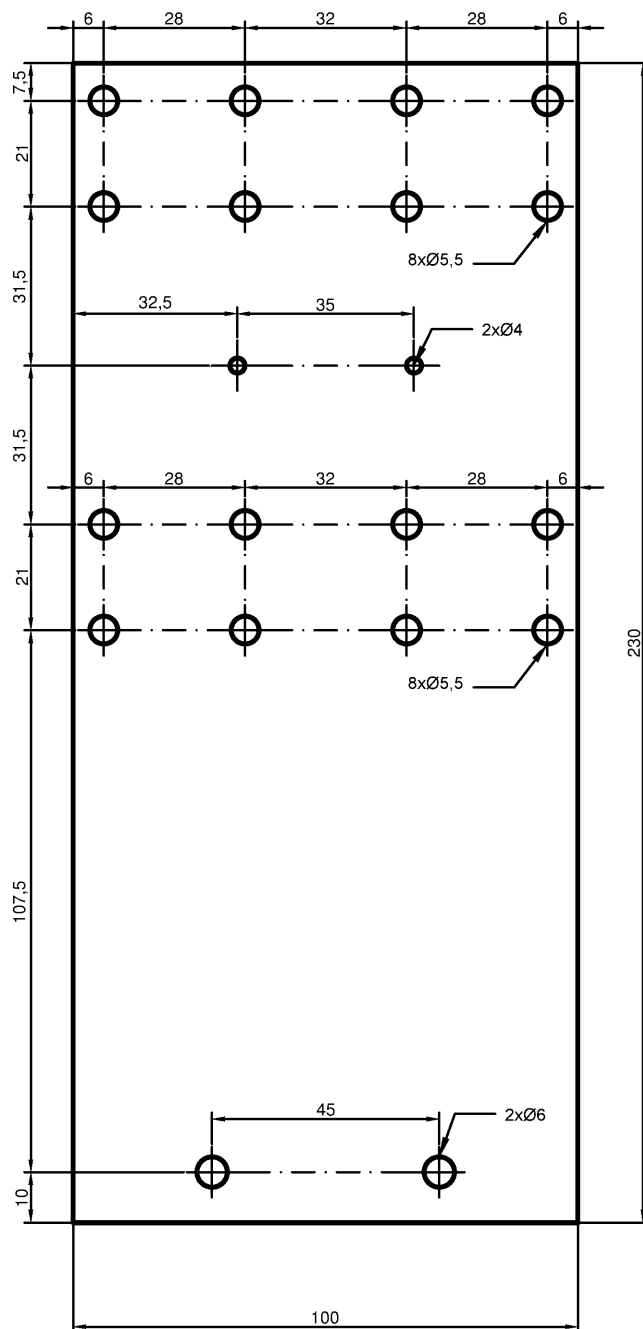
Príloha 1: Výkresy konštrukčných dielov

Príloha 2: Zoznam použitých súčiastok

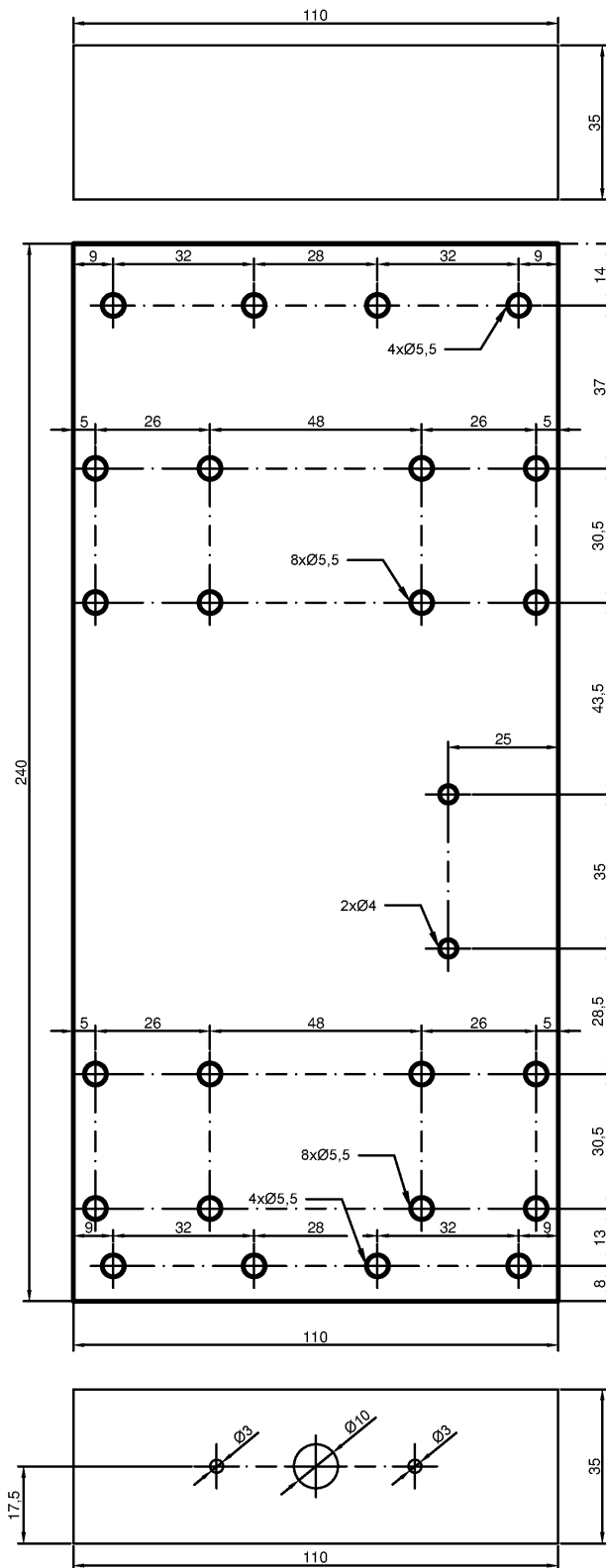
Príloha 3: G-kód frézovania textu

Príloha 4: Elektronická verzia bakalárskej práce na CD nosiči

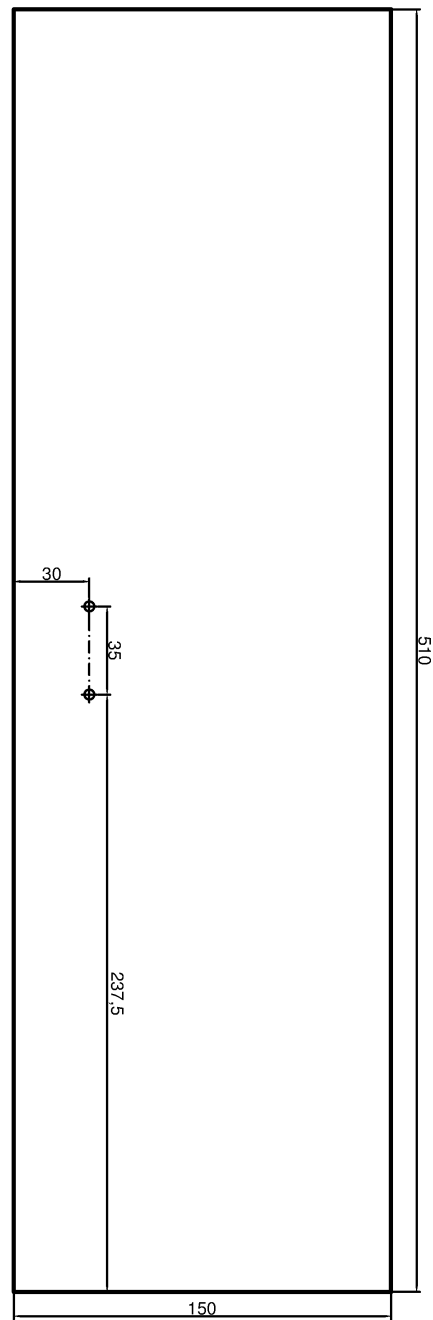
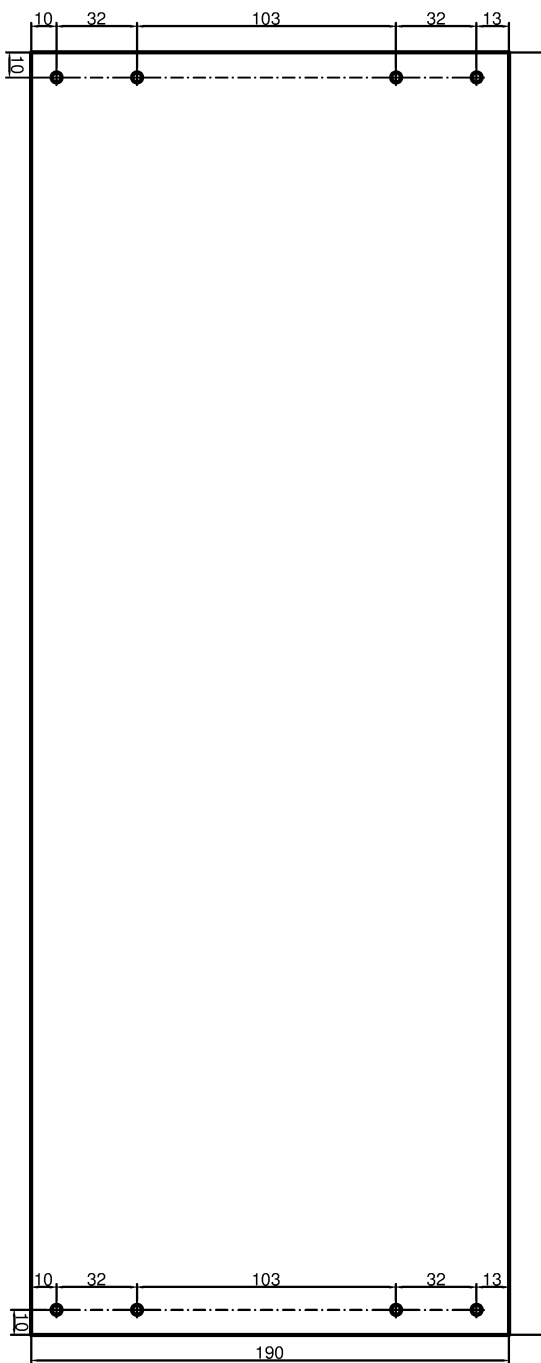
Príloha 1



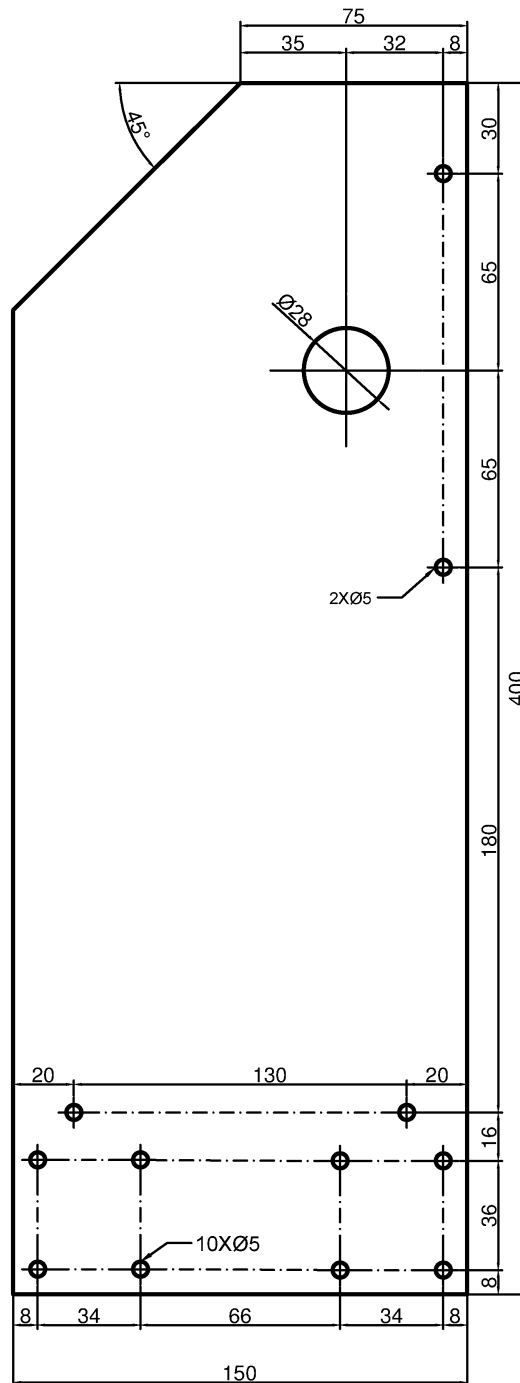
PROJEKT: BP - CNC FRÉZKA	VÝKRES Č. 1
KUSOV: 1	MATERIÁL: HLINÍK 5MM
VYPRACOVAL: MAREK ANTOŠKA	DŇA: 10. 5. 2014
NÁZOV: OS-Z POHYBLIVÁ ČASŤ	



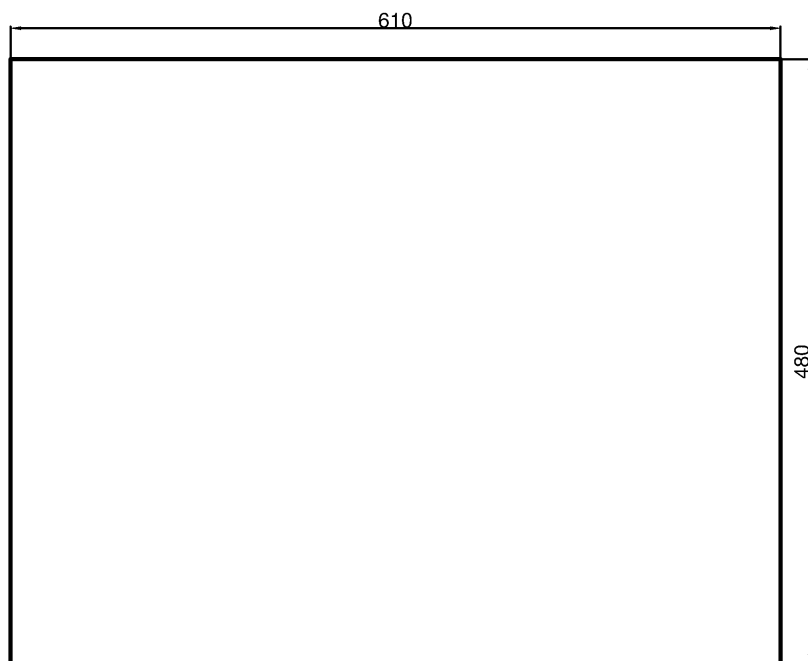
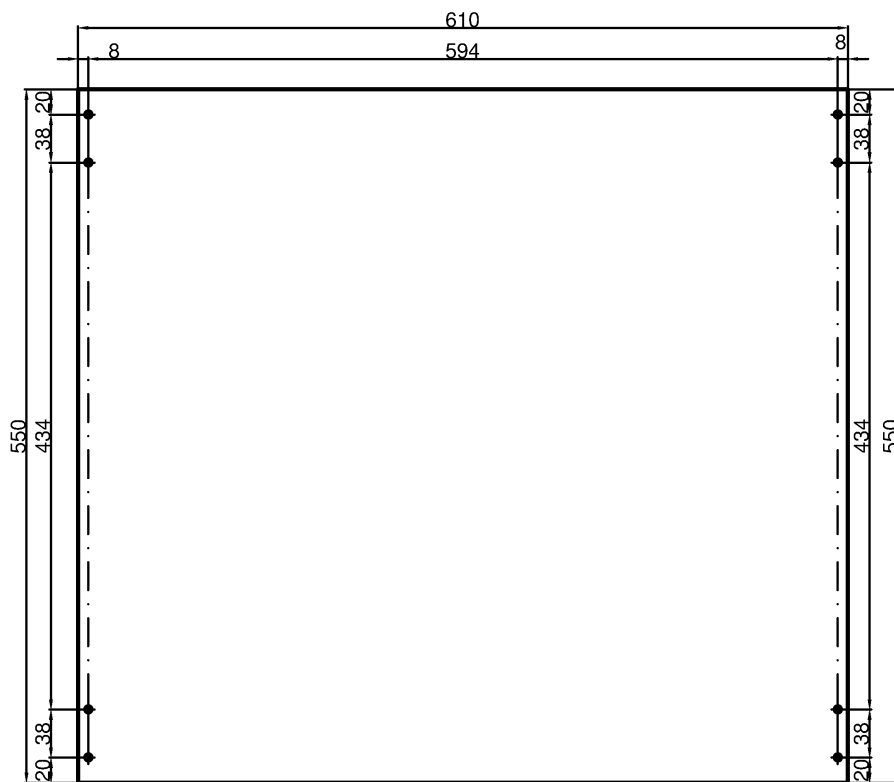
PROJEKT: BP - CNC FRÉZKA		VÝKRES Č. 2
KUSOV: 1	MATERIÁL: HLINÍK 5MM	MIERKA: 1:1,7
VYPRACOVAL: MAREK ANTOŠKA		DŇA: 10. 5. 2014
NÁZOV: OS-Z STATICKÁ ČASŤ		



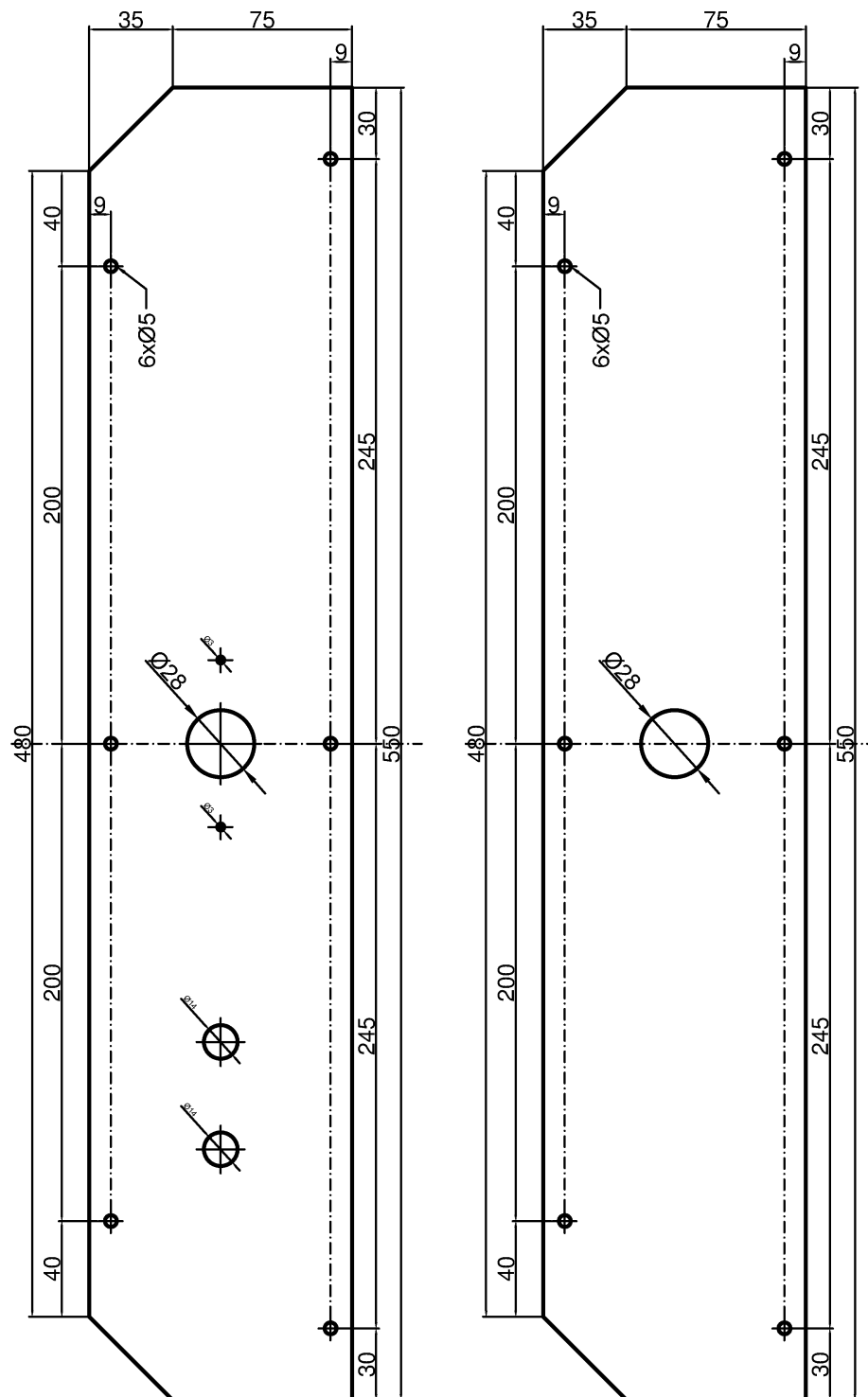
PROJEKT: BP - CNC FRÉZKA	VÝKRES Č. 3
KUSOV: 1	MATERIÁL: DREVOTRIESKA
VYPRACOVAL: MAREK ANTOŠKA	DŇA: 10. 5. 2014
NÁZOV: PORTÁL - VODOROVNÉ ČASTI	



PROJEKT: BP - CNC FRÉZKA	VÝKRES Č. 4
KUSOV: 2 MATERIÁL: DREVOTRIESKA	MIERKA: 1:2,5
VYPRACOVAL: MAREK ANTOŠKA	DŇA: 11. 5. 2014
NÁZOV: PORTÁL - ZVISLĚ ČASTI	



PROJEKT: BP - CNC FRÉZKA	VÝKRES Č. 5
KUSOV: 1	MATERIÁL: DREVOTRIESKA
VYPRACOVAL: MAREK ANTOŠKA	DŇA: 12. 5. 2014
NÁZOV: PRACOVNÝ STÔL - DOLNÁ A HORNÁ DOSKA	



PROJEKT: BP - CNC FRÉZKA		VÝKRES Č. 6
KUSOV: 1	MATERIÁL: DREVOTRIESKA	MIERKA: 1:3
VYPRACOVAL: MAREK ANTOŠKA		DŇA: 13. 5. 2014
NÁZOV: PRACOVNÝ STÔL - ZADNÁ A PREDNÁ DOSKA		

Príloha 2

C1	1000uF/16V
C2	1000uF/16V
C3	neosadený
C4	neosadený
C5	100nF
C6	100nF
C7	neosadený
C8	neosadený
C11	neosadený
C12	neosadený
C13	3,3nF
C14	4,7uF/50V
D1	SF26
D2	SF26
D3	SF26
D4	SF26
D5	SF26
D6	SF26
D7	SF26
D8	SF26
D9	SF26
D10	SF26
D11	SF26
D12	SF26
D13	SF26
D14	SF26
D15	SF26
D16	SF26
D17	SF26
D18	SF26
D19	SF26
D20	SF26
D21	SF26
D22	SF26
D23	SF26
D24	SF26
D25	3mm červená
D26	3mm žltá
D27	3mm zelená
IC1	L298
IC2	L298
IC3	L297
IC4	L298
IC5	L297
IC6	L297
IC7	MC14584N
JUM1	3 x jumper
JUM2	3 x jumper
JUM3	3 x jumper
JUM4	3 x jumper
JUM5	3 x jumper
JUM6	3 x jumper
JUM7	4 x jumper
JUM8	4 x jumper
JUM9	4 x jumper
JUM10	3 x jumper

JUM11	6 x jumper
JUM12	8 x jumper
JUM13	8 x jumper
JUM14	2 x jumper
JUM15	2 x jumper
JUM16	2 x jumper
JUM17	2 x jumper
JUM18	2 x jumper
JUM19	2 x jumper
JUM20	2 x jumper
JUM21	2 x jumper
K1	Svorkovnica_C
K2	Svorkovnica_C
K3	Svorkovnica_C
K4	Svorkovnica_C
K5	Svorkovnica_C
K6	Svorkovnica_C
K7	Svorkovnica_C
K8	Svorkovnica_C
K9	Svorkovnica_C
K10	Svorkovnica_C
P1	Trimer 10k Ω
P2	Trimer 10k Ω
P3	Trimer 10k Ω
R1	56k Ω
R2	neosadený
R3	neosadený
R4	neosadený
R5	0 Ω
R6	0 Ω
R7	neosadený
R8	0 Ω
R9	0 Ω
R10	56k Ω
R11	neosadený
R12	neosadený
R13	0 Ω
R14	0 Ω
R15	56k Ω
R16	22k Ω
R17	100 Ω
R18	10k Ω
R19	1M Ω
R20	8x3k3 Ω
R21	8x3k3 Ω
R22	4k7 Ω
R23	4k7 Ω
R29	4k7 Ω
R30	3k2 Ω
R32	4k7 Ω
REL1	RELE_G5V2
T1	BC337
T2	BC337
X2	Canon M25EU

Príloha 3

G00 G49 G40 G17 G80 G50 G90
G21
M03 S400
G00 Z5
G00 G90 X0Y0
F400
G00 X0 Y0
G00 Z0
G00 Z-0.5
G01 X0 Y0.585
G03 X1.1206 Y0.598 I0.39 J14.9422
G03 X2.4284 Y1.0582 I1.0478 J2.8834
G03 X2.7716 Y1.4274 I1.3338 J2.4258
G03 X2.9276 Y1.7706 I1.6874 J2.132
G03 X3.107 Y2.9562 I-2.0046 J3.1252
G03 X3.2344 Y10.9278 I-249.2724 J10.9278
G03 X3.1096 Y18.837 I-249.2724 J10.9278
G03 X2.9458 Y19.89 I-1.9682 J18.59
G01 X2.8054 Y20.267
G03 X2.2464 Y20.8858 I1.3234 J19.4922
G03 X1.1674 Y21.2914 I0.8476 J18.8006
G03 X0 Y21.3694 I0.0806 J13.9178
G01 X0 Y21.9544
G01 X6.3024 Y21.9544
G01 X14.2116 Y4.8074
G01 X22.0766 Y21.9544
G01 X28.2568 Y21.9544
G01 X28.2568 Y21.3694
G03 X27.1492 Y21.3564 I27.8746 J7.0122
G03 X25.831 Y20.8962 I27.2168 J19.045
G03 X25.4852 Y20.527 I26.9126 J19.5364
G03 X25.3292 Y20.1838 I26.5668 J19.8224
G03 X25.1498 Y18.9982 I30.2614 J18.8292
G03 X25.0198 Y11.0318 I272.9844 J11.0318
G03 X25.155 Y2.8782 I272.9844 J11.0318
G01 X25.2408 Y2.1502
G03 X25.3838 Y1.612 I28.1632 J2.639
G03 X25.7452 Y1.105 I26.481 J2.0124
G03 X26.3614 Y0.754 I27.0062 J2.6026
G03 X27.4898 Y0.585 I27.4196 J3.9442
G01 X28.2568 Y0.585
G01 X28.2568 Y0
G01 X18.9072 Y0
G01 X18.9072 Y0.585
G03 X20.0304 Y0.598 I19.2998 J15.1398
G03 X21.3408 Y1.0582 I19.968 J2.8652
G03 X21.8348 Y1.7706 I20.514 J2.1632
G03 X22.0142 Y2.9562 I16.9026 J3.1252
G03 X22.1312 Y11.1358 I-269.3496 J11.1358
G03 X22.0376 Y18.473 I-269.3496 J11.1358
G01 X13.5642 Y0
G01 X13.0234 Y0
G01 X4.55 Y18.473
G01 X4.55 Y3.7986
G03 X4.5474 Y3.6374 I14.5184 J3.6374
G03 X4.6592 Y2.1502 I14.5184 J3.6374
G01 X4.797 Y1.612
G03 X5.1506 Y1.105 I5.8396 J1.963
G03 X5.7694 Y0.754 I6.4142 J2.6026
G03 X6.8978 Y0.585 I6.8276 J3.9442
G01 X7.6804 Y0.585
G01 X7.6804 Y0
G01 X0 Y0
G00 Z5
G00 Z5

G00 X38.8778 Y0.2678
G00 Z0
G01 Z-0.5
G02 X36.764 Y3.4034 I40.3156 J3.5152
G02 X36.738 Y3.8506 I40.4066 J3.8506
G02 X37.2346 Y5.6966 I40.4066 J3.8506
G02 X38.1446 Y6.7626 I41.2672 J3.185
G02 X40.5002 Y8.2784 I45.045 J-1.3858
G02 X45.006 Y10.127 I62.2908 J-38.4176
G03 X45.0086 Y10.4182 I26.4082 J10.4182
G03 X44.9644 Y11.7286 I26.4082 J10.4182
G03 X44.6108 Y13.2496 I40.5548 J11.5102
G03 X42.887 Y14.521 I42.5776 J12.298
G03 X41.34 Y14.4352 I42.2812 J11.4608
G03 X40.1726 Y13.429 I41.9926 J12.5034
G03 X40.0192 Y12.7608 I41.5428 J12.7608
G01 X40.053 Y11.8144
G02 X39.9568 Y11.1514 I37.9548 J11.778
G02 X38.6672 Y10.2544 I38.7218 J11.5518
G02 X37.3958 Y11.1722 I38.6438 J11.5596
G02 X37.3074 Y11.8534 I39.9828 J11.8534
G02 X37.856 Y13.4758 I39.9828 J11.8534
G02 X40.9604 Y15.3842 I41.7924 J10.5508
G02 X45.2972 Y15.1762 I42.7154 J6.6326
G02 X46.4204 Y14.6042 I44.1298 J11.4972
G02 X47.5098 Y12.8934 I44.707 J12.3084
G02 X47.658 Y11.479 I38.5658 J11.2554
G03 X47.6528 Y9.8072 I479.8352 J9.8072
G03 X47.6944 Y3.8012 I479.8352 J9.8072
G01 X47.7568 Y2.9198
G01 X47.8634 Y2.522
G03 X48.451 Y2.1242 I48.4432 J2.743
G03 X48.906 Y2.2386 I48.4718 J2.9952
G03 X50.2164 Y3.4346 I42.7284 J10.3142
G01 X50.2164 Y2.5168
G02 X48.4458 Y0.6968 I44.0648 J6.7314
G02 X46.7532 Y0.091 I46.709 J2.8756
G02 X45.136 Y1.3416 I46.67 J1.651
G02 X45.006 Y2.4128 I49.5144 J2.4128
G02 X42.5386 Y0.637 I23.166 J29.8064
G02 X38.8778 Y0.2678 I40.3338 J4.1704
G00 Z5
G00 X40.4846 Y2.3036
G00 Z0
G01 Z-0.5
G02 X39.4082 Y4.5682 I42.3332 J4.5682
G02 X40.2974 Y6.6664 I42.3332 J4.5682
G02 X41.821 Y7.774 I44.629 J2.3088
G02 X45.006 Y9.152 I52.8606 J-13.3718
G01 X45.006 Y3.4918
G01 X44.512 Y3.1122
G02 X42.4086 Y1.9708 I40.0504 J8.8322
G02 X40.4846 Y2.3036 I41.7638 J3.9702
G00 Z5
G00 X58.7132 Y0
G00 Z0
G00 Z-0.5
G01 X58.7132 Y0.5824
G03 X59.7012 Y0.6734 I58.7756 J5.395
G03 X60.398 Y0.9412 I59.3242 J2.6936
G03 X60.8686 Y1.5028 I59.6752 J2.0228
G03 X61.0272 Y2.2282 I59.2852 J2.2282
G03 X61.0246 Y2.301 I59.2852 J2.2282
G03 X61.0584 Y6.5338 I-220.155 J6.5338
G03 X61.0194 Y11.154 I-220.155 J6.5338
G03 X60.9414 Y12.168 I53.7654 J11.0994
G03 X60.7906 Y12.5944 I59.3788 J11.8586

G03 X60.0522 Y13.0988 I59.9352 J12.1316
G03 X59.592 Y13.0962 I59.826 J11.323
G03 X58.7184 Y12.87 I60.0158 J9.6876
G01 X58.5572 Y13.4524
G01 X63.0474 Y15.2802
G01 X63.7286 Y15.2802
G01 X63.7286 Y11.9418
G02 X65.6006 Y14.4456 I71.3128 J8.2238
G02 X66.5548 Y15.0722 I68.068 J11.7234
G01 X67.0358 Y15.2282
G02 X68.6738 Y14.9734 I67.535 J13.0234
G02 X69.5604 Y13.481 I67.8184 J13.4576
G02 X68.432 Y12.0016 I68.0784 J13.442
G02 X67.5584 Y12.116 I68.1668 J13.3822
G02 X66.8928 Y12.5398 I68.8792 J14.9266
G03 X66.2844 Y12.961 I64.1784 J9.2742
G01 X66.0478 Y13.0676
G01 X65.8554 Y13.1014
G03 X65.5538 Y13.0208 I65.871 J12.4462
G03 X65.2262 Y12.7764 I66.2402 J11.7624
G03 X64.4904 Y11.895 I68.7622 J9.0766
G03 X63.7286 Y10.582 I74.2794 J5.3456
G01 X63.7286 Y3.4606
G03 X63.726 Y3.2786 I68.6894 J3.2786
G03 X63.9054 Y1.9552 I68.6894 J3.2786
G01 X64.0432 Y1.6042
G03 X64.5502 Y1.0296 I65.4446 J2.3348
G03 X65.468 Y0.6552 I65.8268 J2.8496
G03 X66.3728 Y0.5824 I66.3208 J5.5744
G01 X66.3728 Y0
G01 X58.7132 Y0
G00 Z5
G00 Z5
G00 X82.6332 Y0.325
G00 Z0
G01 Z-0.5
G02 X78.1742 Y6.0164 I85.0018 J6.773
G02 X78.0364 Y7.7298 I88.8316 J7.7298
G02 X78.8164 Y11.7598 I88.8316 J7.7298
G02 X87.6642 Y15.0644 I84.8276 J9.1598
G02 X90.4904 Y10.9902 I85.0798 J10.2518
G02 X90.5918 Y9.7188 I82.4772 J9.7188
G00 Z5
G00 X90.5918 Y9.6902
G00 Z0
G01 Z-0.5
G01 X80.3426 Y9.6902
G03 X80.3322 Y9.2846 I88.374 J9.2846
G03 X81.237 Y5.5796 I88.374 J9.2846
G03 X84.188 Y2.964 I86.2186 J8.2264
G03 X87.7188 Y3.1486 I85.735 J7.1994
G03 X89.2684 Y4.5838 I85.8858 J6.682
G03 X90.0822 Y6.2582 I82.1782 J9.0662
G01 X90.5918 Y5.9332
G02 X87.75 Y1.0582 I82.8958 J7.1526
G02 X82.6332 Y0.325 I84.4662 J5.7512
G00 Z5
G00 X80.3426 Y10.621
G00 Z0
G01 Z-0.5
G01 X87.2456 Y10.621
G03 X87.022 Y12.2798 I79.5418 J10.4312

G03 X82.7268 Y14.3 I83.98 J11.3854
G03 X80.4882 Y11.4972 I84.3804 J10.6834
G03 X80.3426 Y10.621 I86.593 J10.0386
G00 Z5
G00 X99.0886 Y0
G00 Z0
G00 Z-0.5
G01 X99.0886 Y0.5928
G03 X100.4666 Y0.7462 I99.2602 J5.2936
G01 X100.7864 Y0.8684
G03 X101.4078 Y1.7316 I100.1832 J1.9604
G03 X101.53 Y2.6546 I96.5042 J2.847
G03 X101.582 Y10.2752 I-442.4446 J10.2752
G03 X101.517 Y18.785 I-442.4446 J10.2752
G03 X101.4312 Y19.851 I93.4934 J18.6836
G03 X101.283 Y20.332 I99.3746 J19.4766
G03 X100.581 Y20.8416 I100.4926 J19.9862
G03 X100.191 Y20.839 I100.3964 J19.6118
G03 X99.3642 Y20.5816 I100.8748 J17.1782
G01 X99.0886 Y21.1744
G01 X103.4722 Y22.9944
G01 X104.2132 Y22.9944
G01 X104.2132 Y8.2342
G03 X108.9218 Y12.5944 I3.146 J122.1584
G01 X109.3664 Y13.091
G01 X109.4652 Y13.286
G01 X109.4964 Y13.481
G03 X109.0752 Y14.1518 I108.7294 J13.4654
G03 X108.6358 Y14.2844 I108.4408 J12.8648
G01 X108.3498 Y14.313
G01 X108.3498 Y14.8226
G01 X114.8004 Y14.8226
G01 X114.8004 Y14.313
G03 X112.1432 Y13.6734 I114.6444 J9.1208
G03 X110.6612 Y12.5476 I116.649 J6.214
G01 X106.847 Y9.048
G03 X112.7568 Y1.7082 I231.4078 J103.3188
G03 X113.828 Y0.8918 I116.363 J5.33
G03 X114.6964 Y0.6318 I114.8628 J2.7716
G01 X115.5622 Y0.5928
G01 X115.5622 Y0
G01 X108.3498 Y0
G01 X108.3498 Y0.5928
G01 X108.8646 Y0.6474
G03 X109.1818 Y0.7774 I108.7242 J1.4404
G03 X109.3872 Y1.1076 I108.8568 J1.2064
G01 X109.4002 Y1.2506
G03 X109.239 Y1.7316 I108.3186 J1.1544
G03 X108.7528 Y2.4388 I104.7176 J-0.8554
G01 X104.2132 Y8.2342
G03 X104.1924 Y5.7902 I247.689 J5.7902
G03 X104.2262 Y2.6858 I247.689 J5.7902
G03 X104.3276 Y1.7394 I110.0268 J2.8314
G03 X104.9958 Y0.8034 I105.6354 J1.9656
G03 X105.5912 Y0.6526 I105.7524 J2.548
G03 X106.626 Y0.5928 I106.6494 J9.867
G01 X106.626 Y0
G01 X99.0886 Y0
G00 Z5
G00 X124.059 Y0
M30