

## **Predhovor**

Predkladaná komplexná odborná obsahuje návrh, popis riadiacich obvodov a realizácie trojosovej CNC frézy. Mojm cieľom bolo využiť možnosti PC riadenia obrábacieho stroja so zámerom zlepšiť presnosť a spoľahlivosť zariadenia. Práca obsahuje z môjho hľadiska netradičné riešenie mechanickej konštrukcie s využitím krokových motorov.

## **Čestné prehlásenie**

Prehlasujem, že som celú komplexnú odbornú prácu vrátane návrhu a realizácie vypracoval samostatne s použitím vymenovanej literatúry.

## **Podakovanie**

Ďakujem za metodickú pomoc Ing. K. Hanulákovi a Ing. J. Bobčekovi.

<b>0 Úvod .....</b>	<b>6</b>
<b>1 Cieľ práce.....</b>	<b>7</b>
<b>2 Postup práce.....</b>	<b>8</b>
2.1 Návrh.....	8
2.2 Stavba mechaniky zariadenia.....	8
2.3 Bloková schéma elektroniky zariadenia.....	10
2.4 Riadiace obvody.....	11
2.5 Krokové elektromotory.....	11
2.6 Optické oddelenie elektroniky od paralelného portu.....	12
2.7 Popis zdroja 32V a 5V.....	14
<b>3 Obsluha softvéru.....</b>	<b>15</b>
3.1 Nastavenie programu EMC2.....	15
3.2 Vytvorenie G-kódu z programu Eagle.....	17
<b>4 Výsledky práce a diskusia.....</b>	<b>18</b>
<b>5 Parametre zariadenia.....</b>	<b>19</b>
5.1 Parametre elektroniky zariadenia.....	19
5.2 Parametre mechaniky zariadenia.....	19
<b>6 Záver.....</b>	<b>20</b>
<b>7 Zhrnutie.....</b>	<b>20</b>
<b>8 Použitá literatúra.....</b>	<b>21</b>
<b>9 Prílohy.....</b>	<b>22</b>
Príloha A.....	22
Príloha B.....	23
Príloha C.....	24
Príloha D.....	25

## **Zoznam skratiek a symbolov**

NC - numeric control (číslicové riadenie)

CNC - computer numeric control (počítačové riadenie)

CAD - computer aided design (počítačom podporovaný návrh súčiastky alebo počítačová podpora tvorby konštrukčnej dokumentácie)

CAM - computer aided manufacturing (vyhotovovanie objektu pomocou počítačom riadeného stroja)

DPS – doska plošných spojov

STEP- krok

DIR - smer

## Úvod

Zavedenie CNC strojov do výroby sa v posledných rokoch veľmi rozširuje. Hlavným dôvodom je, že na CNC strojoch je možné vyrobiť tvarovo zložité diely, ktoré sa nedajú vyrobiť klasickým spôsobom. CNC stroje disponujú výhodami ako vyššia presnosť, produktivita, opakovateľnosť a minimálna údržba. Nevýhodou sú pomerne vysoké zriaďovacie náklady.

Pri mojich koníčkoch sa často vyskytovala potreba výroby rovnakých dielov. Uvažoval som o výrobe zariadenia, ktoré by moju prácu uľahčilo. Prípadne by som toto zariadenie mohol využiť na možnú budúcu podnikateľskú činnosť. Preto som sa rozhodol navrhnuť a skonštruovať trojosovú CNC frézu. Súčasťou práce je aj riadiaci systém, ktorý prostredníctvom paralelného portu komunikuje s riadiacim softvérom. Mojim cieľom bolo využiť možnosti PC riadenia obrábacieho stroja so zámerom zlepšiť presnosť a spoľahlivosť zariadenia. Práca obsahuje z môjho hľadiska netradičné riešenie mechanickej konštrukcie s využitím krokových motorov. Číslicový riadiaci systém využíva kvantovanie a kódovanie s využitím alfanumerických riadiacich algoritmov. Na programovanie využívam softvér EMC2. Mechanická konštrukcia využíva pohyb vretena a pohyb portálu. Rám konštrukcie je vytvorený z oceľových profilov na ktorých sú upevnené pohonné elementy poháňané hrebeňovou tyčou. Výkonová rezerva krokových motorov umožňuje obrábať drevo, plasty a neželezné kovy.

Tento stroj by mohli využívať aj malí podnikatelia alebo menšie firmy na výrobu produktov na propagačnú činnosť.

## 1 Cieľ práce

Pre stavbu zariadenia CNC stroja som si stanovil tieto ciele:

- cenová prístupnosť,
- jednoduchosť obsluhy,
- bezpečnosť zariadenia,
- viacúčelovosť zariadenia ako napr. : gravírovanie, frézovanie, dierovanie,
- využitie rovnakého programovacieho jazyka ako pri bežných CNC strojoch,
- využite voľne šíriteľného softvéru a operačný systém Linux.

Pre zhotovenie takéhoto zariadenia som musel použiť:

- krokové motory, ktoré poháňajú mechanické posuvy. V mojom prípade sú to tri motory;
- oblúkovú zváračku na zafixovanie spojov jednotlivých častí stroja;
- obrábacie zariadenia ako stolovú vŕtačku a ručnú frézu.

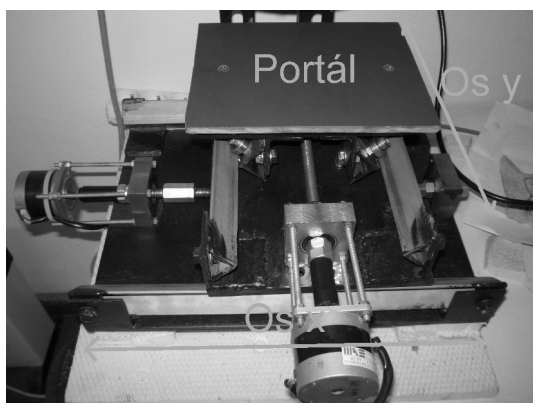
## 2 Postup práce

### 2.1 Návrh

Najskôr som sa musel rozhodnúť, aký materiál budem chcieť frézovať a akých rozmerov. Po dlhšom uvažovaní som sa nakoniec kvôli potrebnej mobilite rozhodol pre čistú frézovaciu plochu 150x200x100 mm. Celá fréza je skonštruovaná z ocele a všetky pohyblivé časti sa pohybujú na priemyselných ložiskách. Ďalej som si zvolil vzájomnú polohu materiálu a vretena. Vreteno sa pohybuje v osi z a materiál v osi x, y. Týmto usporiadaním som dosiahol najväčšiu konštrukčnú presnosť a minimalizáciu vibrácií, ale za cenu menšej frézovacej plochy. Vibráciám taktiež zamedzuje masívna konštrukcia, vďaka ktorej je obrábací stroj stabilný.

### 2.2 Stavba mechaniky zariadenia

Na stavbu zariadenia som použil oceľové platne o hrúbke 8 mm a L profily. Hlavná platňa o rozmeroch 400x300x8mm slúži ako podstavec celého stroja a nosná časť osi x. Na nej pomocou pohybových elementov lineárne upevnená platňa o rozmeroch 300x200x8 mm, ktorá je nosnou časťou osi y. Nad ňou je pripevnený portál o rozmeroch 200x150x8 mm, ktorý je pracovným stolom stroja.

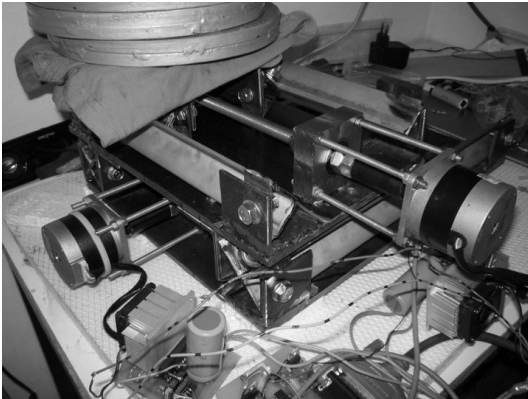


Obr. 1 Súradnicová sieť x, y

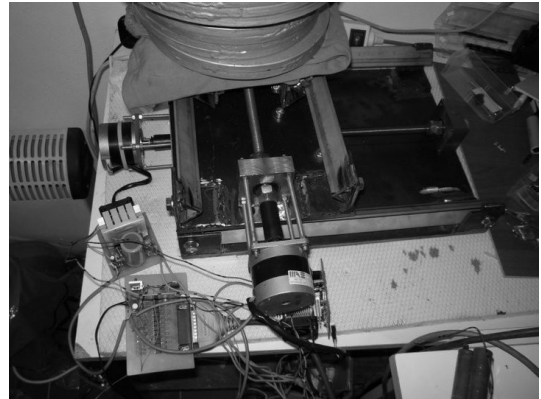


Obr. 2 Súradnicová sieť z

Pohybové elementy tvoria moduly na princípe koľajníc. Na každú os prislúchajú dva tieto elementy. Každý element sa skladá z L profilu, na ktorom sú zaskrutkované štyri priemyselné ložiská. Tieto elementy sa pohybujú po L profile z nerezovej ocele. Týmto nekonvenčným spôsobom je zabezpečený pohyb po všetkých osiach. Vďaka priemyselným ložiskám je pohyb plynulý a stroj vyžaduje minimálnu údržbu pohyblivých častí.

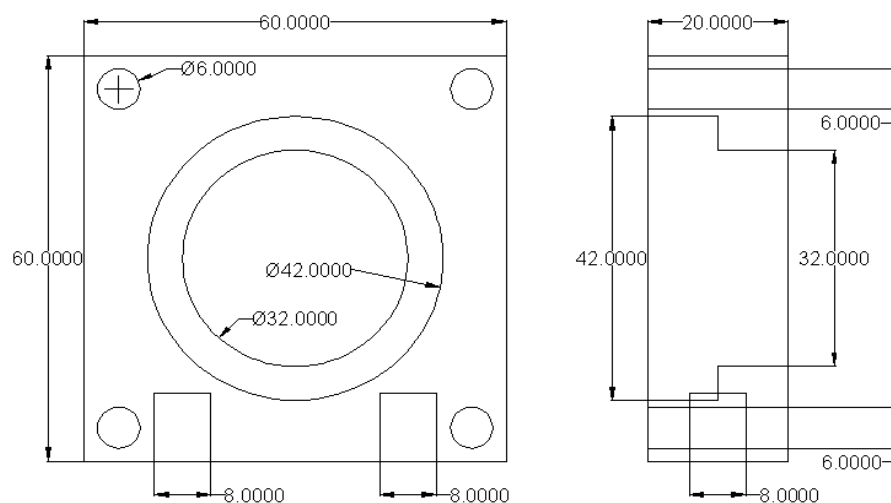


Obr. 3 Pohybový element 1



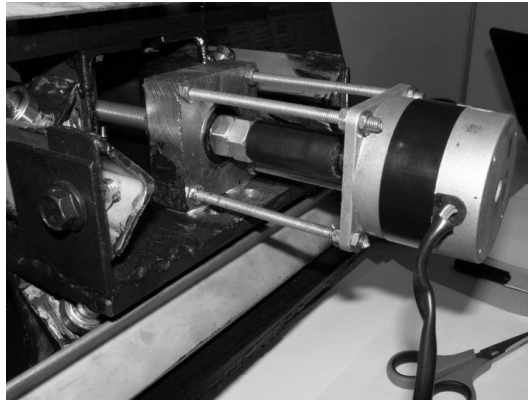
Obr. 4 Pohybový element 2

Otáčavý pohyb z krokového motora je transformovaný pomocou hrebeňovej tyče na pohyb lineárny. Táto tyč je zakotvená v dvoch priemyselných ložiskách, ktoré sú zalisované do ocelevej súčiastky na to určenej. Táto súčiastka taktiež slúži na uchopenie krokových elektromotorov pomocou závitových tyčí.



Obr. 5 Súčiastka na ukotvenie priemyselných ložísk

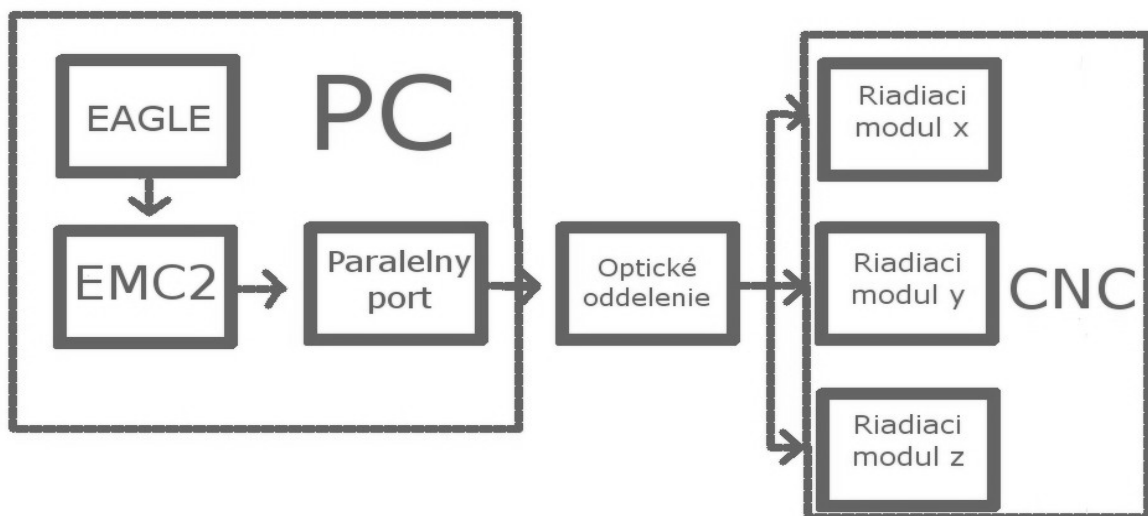
Na prepojenie hrebeňovej tyče a krokového motora som použil vysokotlakovú plynovú hadicu. Gumené prepojenie zabráni prenosu vibrácií a pohltí nepresnosti.



Obr. 6 Gumené prepojenie

## 2.3 Bloková schéma elektroniky zariadenia

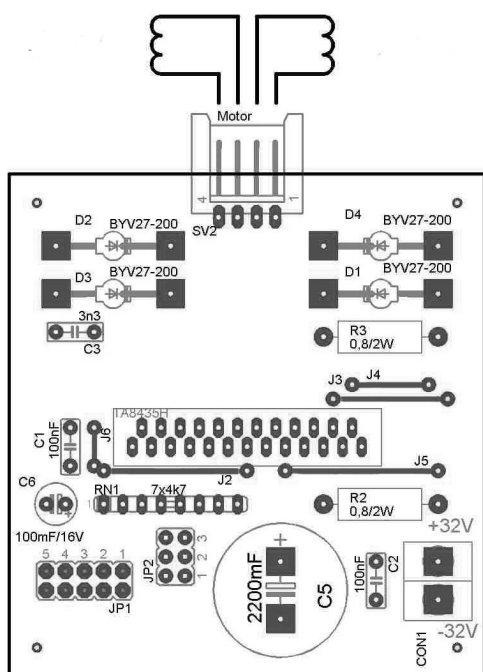
Riadenie využíva numerický riadiaci systém NC. NC je metóda riadenia pohybu častí obrábacieho stroja kódovanými inštrukciami. Tieto inštrukcie sú vo forme alfanumerických dát. Tieto signály ovládajú pohyb portálu a vretena po určenej dráhe. Tieto dáta generuje CAD/CAM systém v tvare G kódu. Je to všeobecný programovací jazyk NC strojov, ktorým sú popísané jednotlivé strojové inštrukcie jednoduchými príkazmi.



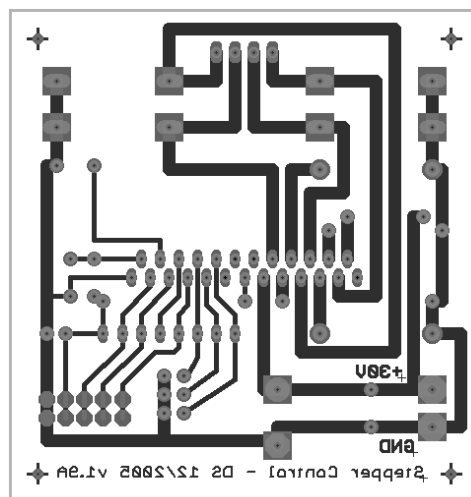
Obr. 7 Bloková schéma

## 2.4 Riadiace obvody

Pohyb portálu a vretena zabezpečujú tri bipolárne krokové motory. Na ovládanie každého krokového motora sú potrebné dva plné mostíky. Preto som sa rozhodol na ovládanie krokových motorov použiť špeciálny integrovaný obvod Toshiba TA8435H. Tento integrovaný obvod umožňuje nastaviť prúd motorom na 65% alebo 100%, ďalej nastavenie krokov motoru 1/1, 1/2, 1/4, 1/8, čo v mojom prípade znamená 200, 400, 800 alebo 1600 krokov na otáčku.



Obr. 8 Rozmiestnenie súčiastok



Obr. 9 Doska plošného spoja

Na riadenie otáčok slúžia dva vstupy: STEP (krok) a DIR (smer). Na otočenie rotora o 360° je potrebných 1600 impulzov. Tieto impulzy sú generované programom EMC2 pomocou rozhrania paralelného portu LTP.

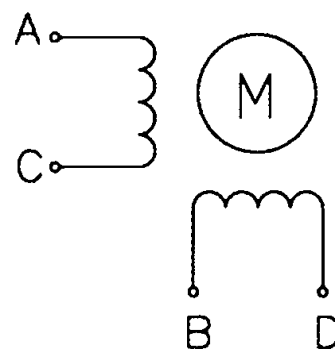
## 2.5 Krokové elektromotory

Krokový motor je špeciálny druh viacpólového synchronného motora. Využíva sa predovšetkým tam, kde je potrebné presne riadiť konkrétnu polohu rotora. Princíp krokového motora je na základe prúdu prechádzajúceho cievkou

statora, ktorý vytvorí magnetické pole. To pritiahne opačný pól magnetu rotora. Motor je schopný v tejto polohe presne stáť. Krokový motor dokáže nielen otáčať rotorom, ale zabezpečuje aj jeho presnú polohu voči statoru. Kvôli prechodovým javom je rýchlosť otáčania motora obmedzená. Pri jej prekročení motor stráca kroky. Pri bipolárnom riadení prechádza prúd vždy dvoma protiľahlými cievkami navzájom opačne orientovanými magnetickými poľami. Výhodou je väčší krútiaci moment a stabilita kroku, nevýhodou vyššia spotreba.



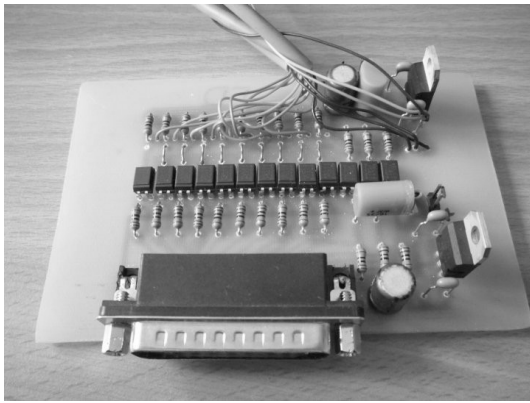
Obr. 10 Krokový elektromotor



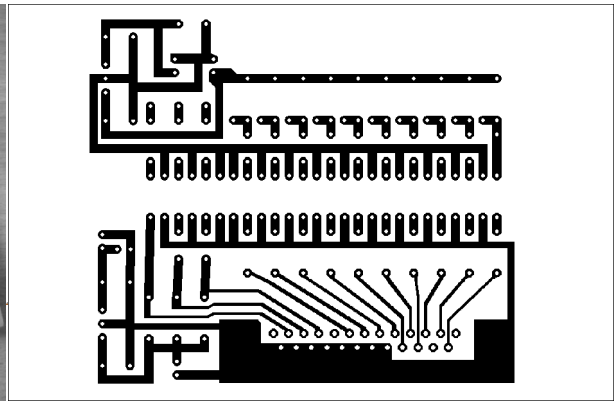
Obr. 11 Krokový bipolárny motor

## 2.6 Optické oddelenie elektroniky od paralelného portu

Doska je navrhnutá tak, aby bola galvanicky oddelená od paralelného portu LPT a elektroniky motorov. Priame prepojenie bez tejto dosky je tiež možné, ale v prípade poruchy dosky riadenia motorov hrozí na paralelnom porte prienik napájacieho napätia motora, čo by malo za následok zničenie portu. Táto doska je napájaná napätím +5V.



Obr. 12 Elektronika optického oddelenia



Obr. 13 DPS optického oddelenia

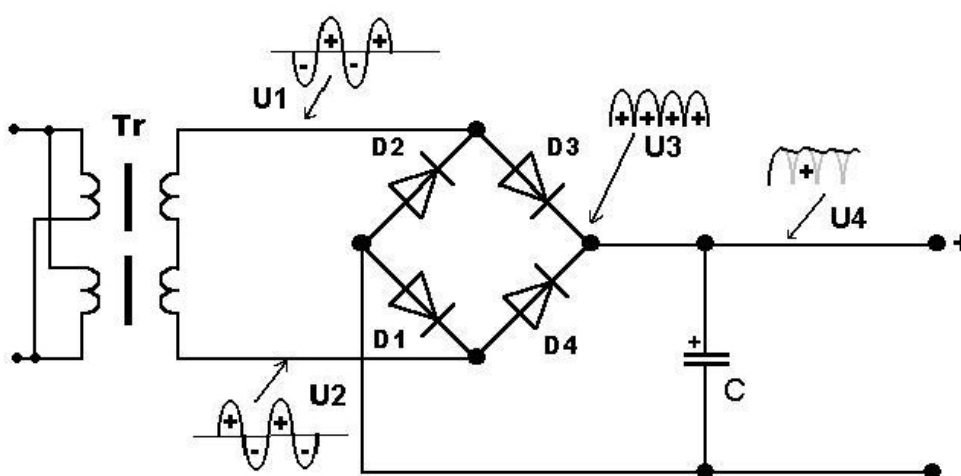
Zapojenie pinov paralelného portu LPT pre program EMC2

- 1 NC
- 2 STEP os x
- 3 STEP os y
- 4 STEP os z
- 5 DIR os x
- 6 DIR os y
- 7 DIR os z
- 8 NC
- 9 NC
- 10 NC
- 11 NC
- 12 NC
- 13 NC
- 14 NC
- 15 NC
- 16 NC
- 17 NC
- 18 Y 25 GND

## 2.7 Popis zdroja 32V a 5V

### Zdroj 32V pre motory

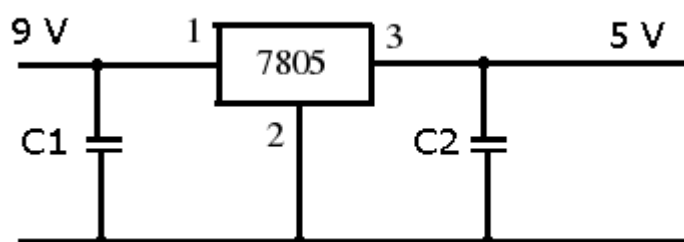
Použil som dva toroidné transformátory 12V 80VA s primárom zapojeným paralelne a sekundárom do série, usmerňovač KBU6 a ako filtráciu elektrolytický kondenzátor 15 mF/63 V. Výstupné napätie zdroja je 32V. Zdroj pre účel napájania motorov nie je nutné stabilizovať. Odber motorov osi x, y, z je zhruba 1,5 A pri 32 V.



Obr. 14 Zdroj 32 V - schéma

### Zdroj 5V pre logiku

Pre napájanie logiky som použil menší transformátor s výstupným napätím 9 V. Výstupné napätie je stabilizované stabilizátorom 7805. Odber dosiek pre napájanie motorov je približne 100 mA



Obr. 15 Zdroj 5V - schéma

## 3 Obsluha softvéru

### 3.1 Nastavenie programu EMC2

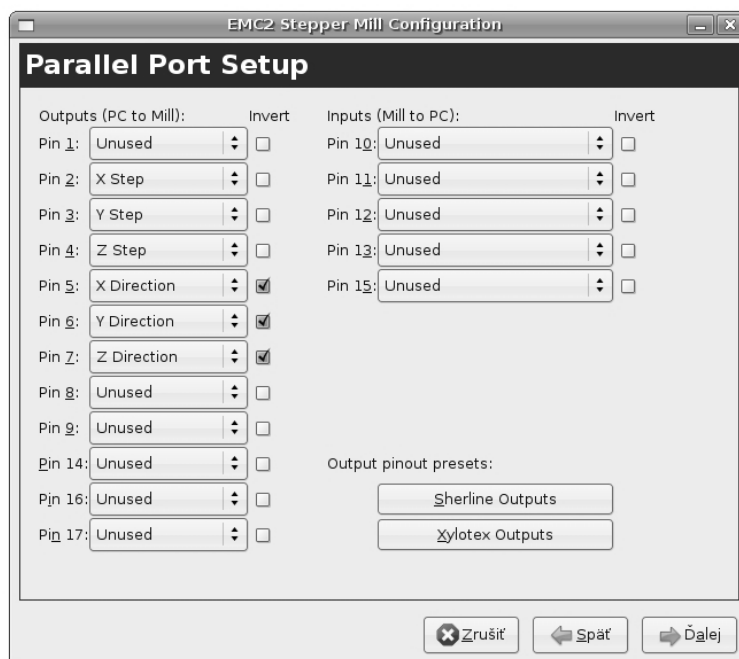
Aplikácie - CNC - EMC2 Stepconf Wizard

Nastavenie programu EMC2 vykonáme pomocou sprievodcu. Ako prvé zvolíme názov nastavení, počet osí, šírku jednotlivých impulzov, maximálnu frekvenciu a jednotky vzdialenosti.

The screenshot shows the 'EMC2 Stepper Mill Configuration' window. The 'Basic machine information' section includes fields for 'Machine Name' (CNC\_freza), 'Configuration directory' (~/.emc2/configs/CNC\_freza), 'Axis configuration' (XYZ), and 'Machine units' (Millimeter). Below this, 'Driver characteristics' are noted, and 'Driver type' is set to 'Other'. The 'Driver Timing Settings' section contains four fields: 'Step Time' (5000 ns), 'Step Space' (5000 ns), 'Direction Hold' (20000 ns), and 'Direction Setup' (20000 ns). The 'Parallel Port Settings' section shows 'First Parport Base Address' (0x378) and 'Out' status, with checkboxes for 'Second Parport Address' and 'Third Parport Address'. At the bottom, 'Base Period Maximum jitter' is set to 15000 ns, 'Min Base Period' is 30000 ns, and 'Max step rate' is 33333 Hz. A checkbox for 'Onscreen prompt for tool change' is checked, and a 'Test Base Period jitter' button is present. Navigation buttons at the bottom are 'Zrušiť', 'Späť', and 'Ďalej'.

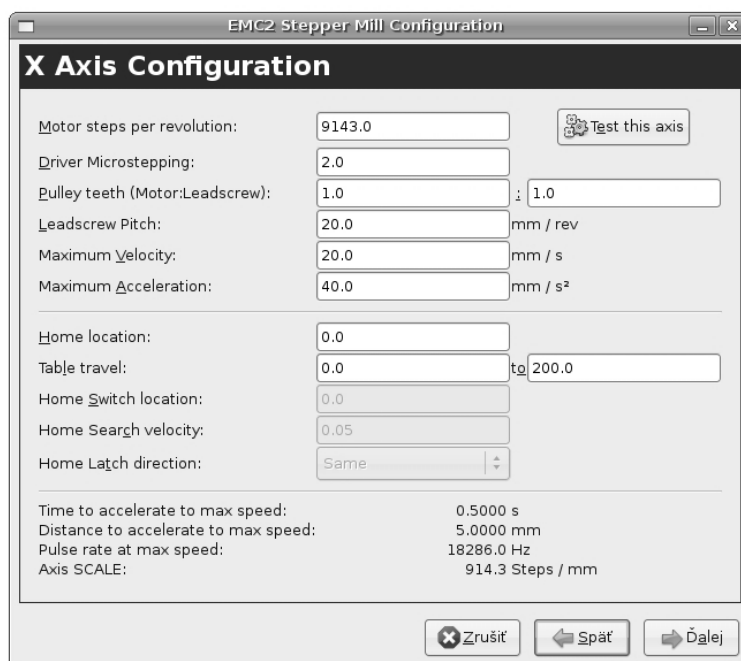
Obr. 16 Základné nastavenia

Ďalej vyberieme funkcie pre výstup a vstup paralelného portu. Voľba invert neguje výstup alebo vstup.



Obr. 17 Nastavenie výstupov a vstupov

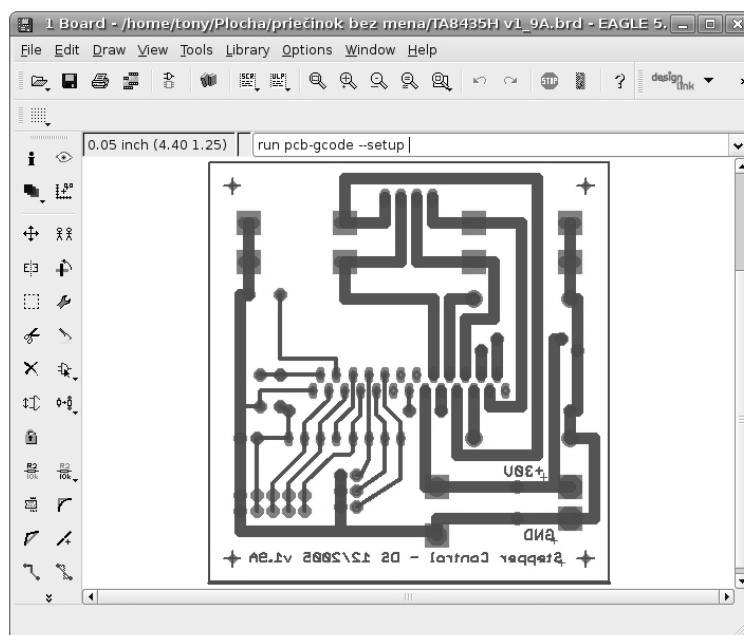
Pri nastavení motorov musíme zvoliť koľko krokov je potrebných na posunutie osi o jeden centimeter. Tento údaj vypočítame jednoduchým vzťahom, keď vieme, že na otočenie o jednu otáčku je potrebných 1600 krokov a hustota hrebeňovej tyče je 1,75 mm. Týmto spôsobom je zabezpečená presnosť stroja. Ďalej je to nastavenie maximálnej rýchlosti pohybu osi a akcelerácia, ktorá zabezpečuje plynulý chod pri vyšších rýchlostiach posuvu.



Obr. 18 Nastavenie motorov

### 3.2 Vytvorenie G-kódu z programu Eagle

Eagle je program na vytváranie návrhov schém a DPS. V základnom balíku neposkytuje funkciu generovania G-kódu, ale na internete existuje skript, ktorým sa dá Eagle rozšíriť. Ide o skript PCB-GCODE. S týmto programom sa komunikuje pomocou príkazového riadku programu Eagle. Na nastavenie slúži príkaz "run pcb-gcode --setup".



Obr. 18 Eagle

V nastaveniach zadáme údaje ako hĺbka vrtu, šírka frézky, maximálna medzera, hĺbka písma, šírka kroku, rýchlosť pohybu osí x, y a rýchlosť vŕtania. Keď máme všetko nastavené vygenerujeme G-kódu pomocou príkazu `run pcb-gcode [filename]`.

## 4 Výsledky práce a diskusia

S výsledkom mojej práce som spokojný, splnila moje očakávania a ciele, ktoré som si stanovil pri začiatku práce. V praxi sa stretávame s podobnými zariadeniami čoraz častejšie, avšak ich cena je vysoká. Jedným z mojich cieľov bola aj cenová dostupnosť. Priame náklady, ktoré som vynaložil na stavbu zariadenia bolo omnoho nižšie, ako keby som stroj kúpil. Moje zariadenie komunikuje pomocou bežného programovacieho jazyka, takže každý kto rozumie problematike, by nemal mať problém pri tvorbe programu. Zariadenie nevyžaduje špeciálne bezpečnostné opatrenia. Stačí sa riadiť všeobecne platnými pravidlami pre obrábanie. Stroj dosahoval dobré výsledky pri všetkých prácach, ktoré som si stanovil na začiatku práce. Programovanie stroja som chcel zjednodušiť tým, že bude použitý bežný programovací jazyk CNC. Takúto možnosť mi poskytol aj riadiaci softvér EMC2 a operačný systém Linux, ktorý bezchybne spolupracuje s mojím zariadením a navyše je úplne zadarmo.

## **5 Parametre zariadenia**

### **5.1 Parametre elektroniky zariadenia**

Vstupné napätie: ~230 V

Výstupné napätie pre motory: 32 V

Vstupné napätie pre frézu: ~230 V

Napätie pre napájanie logiky: 5 V

Možná dosiahnuteľná presnosť: 1,094  $\mu\text{m}$

(určená krokováním motoru a stúpaním závitu)

### **5.2 Parametre mechaniky zariadenia**

Otáčky frézy: 10 000 – 28 000 ot/min

Maximálna rýchlosť posuvu: 1200 mm/min

Dĺžka osi x: 200 mm

Dĺžka osi y: 150 mm

Dĺžka osi z: 100 mm

Maximálna výška obrábanej súčiastky: 80 mm

Presnosť: 0,1 mm ( odmeraná meradlom, závisí od presnosti pri výrobe zariadenia)

## 6 Záver

Zhotovené zariadenie splnilo moje ciele, ktoré som si stanovil na začiatku práce. Presnosť frézovania je postačujúca aj pre náročnejších užívateľov. Nevýhoda tohto zariadenia je v tom, že konštrukcia zariadenia je vyrobená z oceľových platní, ktoré by sa pri obrábaní tvrdších kovov rozochveli. Riešením by bolo konštrukciu pripevniť k základom budovy. Rýchlosť obrábania je na moje účely dostačujúca. Priame náklady na stavbu zariadenia nepresiahli 300 €. Cena podobných predávaných zariadení sa pohybuje okolo 2000 € až 5000 €. Stavbou tohto zariadenia som chcel poukázať aj na to, že sa takéto zariadenie dá vytvoriť aj v domácich podmienkach za sumu, ktorá je výrazne nižšia ako suma zariadenia zakúpeného v obchode. Činnosť zariadenia som odskúšal na viacerých materiáloch. Možnosť zmeny rýchlosti otáčania vretena a rýchlosti posuvov som využil pri obrábaní rôznych druhov materiálu. Správne zladenie otáčok vretena a rýchlosti posuvov sa mi prejavilo na kvalite obrábanej plochy a životnosti nástroja. Čo sa týka elektronickej časti, zariadenie po pospájaní jednotlivých blokov pracovalo bez problémov, čiže neboli žiadne ťažkosti s oživovaním. Zariadenie po správnom nastavení ovládacieho programu komunikovalo s osobným počítačom. Funkčnosť som odskúšal na viacerých PC. Zariadenie pracovalo bez chýb. Jediným problémom u niektorých PC bolo to, že nemali paralelný port.

## 7 Zhrnutie

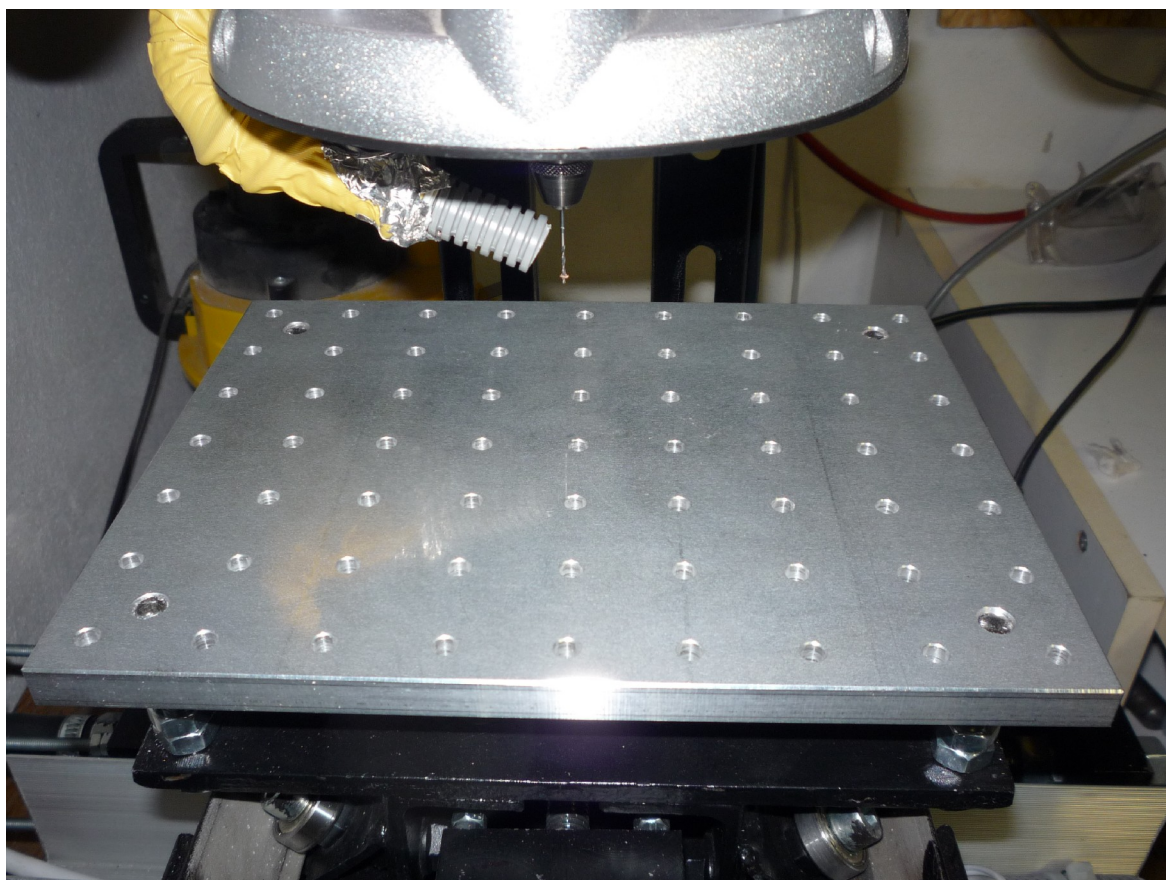
Výsledkom mojej práce je skonštruované CNC zariadenie, ktoré splnilo všetky moje očakávania. Pri stavbe tohto zariadenia je potrebné mať znalosti informatiky, elektrotechniky a v nemalej miere byť zručný aj v strojárstve. Skonštruovanie a oživenie takéhoto zariadenia je časovo, ale aj manuálne náročná práca. Potrebné diely je možné kúpiť v profesionálnych CNC obchodoch, čo by značne ovplyvnilo cenu zariadenia. Pri výrobe zariadenia je potrebné jednotlivé konštrukčné diely presne zladiť, aby nevznikali odchýlky.

## 8 Použitá literatura

Internet - <http://www.c-n-c.cz/>  
<http://www.microcon.cz/>  
<http://www.cnc2.eu/>  
<http://buildyourcnc.com/>

## 9 Přílohy

### Příloha A



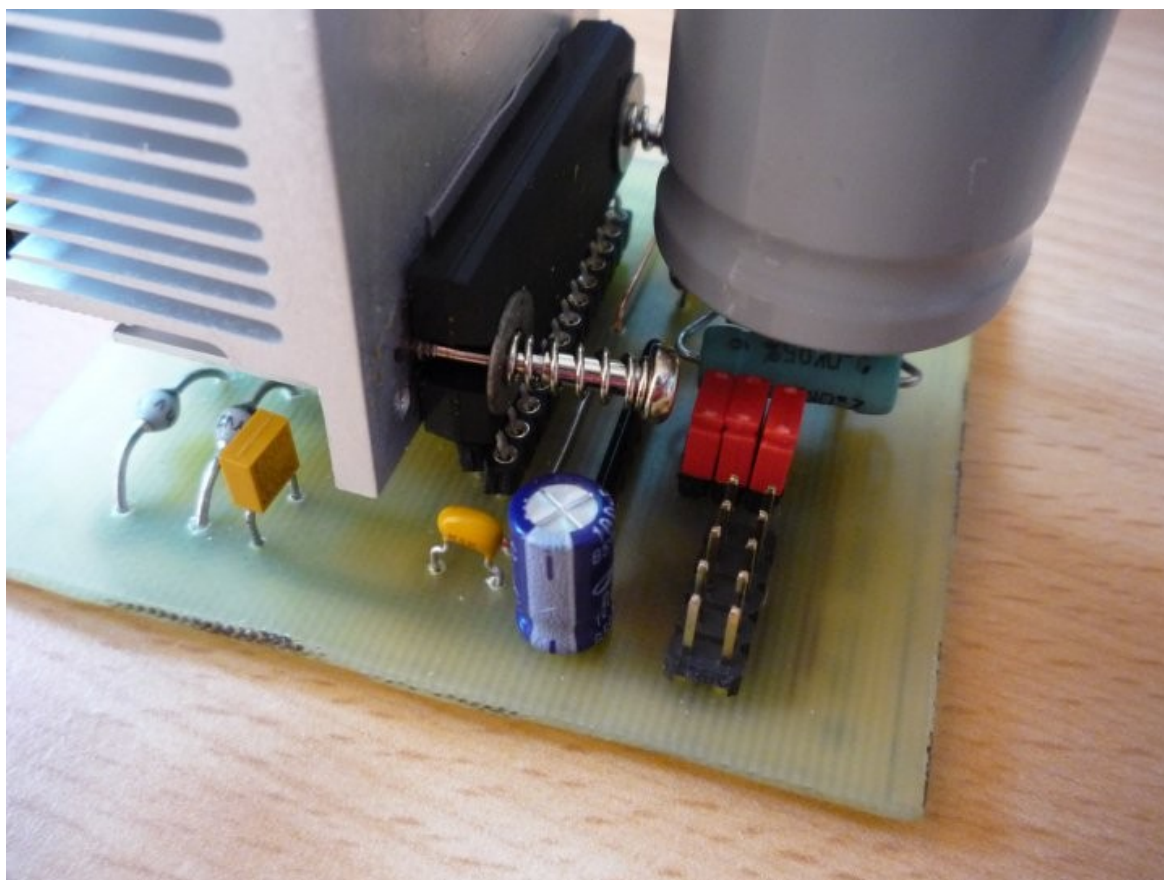
Obr. 19 Detail portálu

## Príloha B



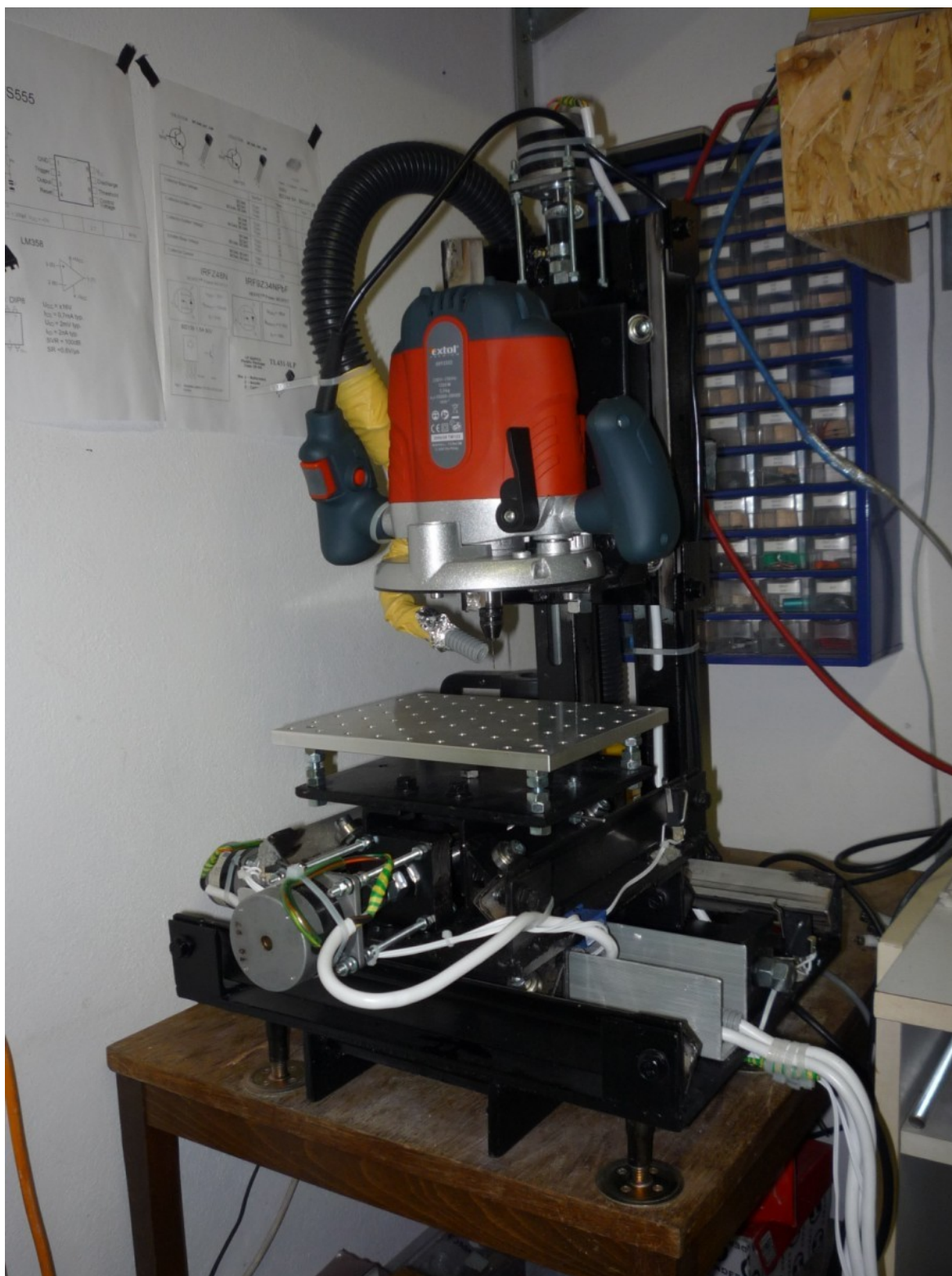
Obr. 20 Detail motora

## Príloha C



Obr. 21 Detail – riadiaci modul

## Príloha D



Obr. 22 CNC fréza