



## **Středoškolská technika 2016**

**Setkání a prezentace prací středoškolských studentů na ČVUT**

### **Navrhněte a realizujte CNC obráběcí stroj**

**Ondřej Douša**

Vyšší odborná škola a Střední škola slaboproudé elektrotechniky  
Praha, Novovysočanská 48/280

---

# **Navrhněte a realizujte CNC obráběcí stroj**

Jméno: Ondřej Douša

Školní rok: 2015 / 2016

---

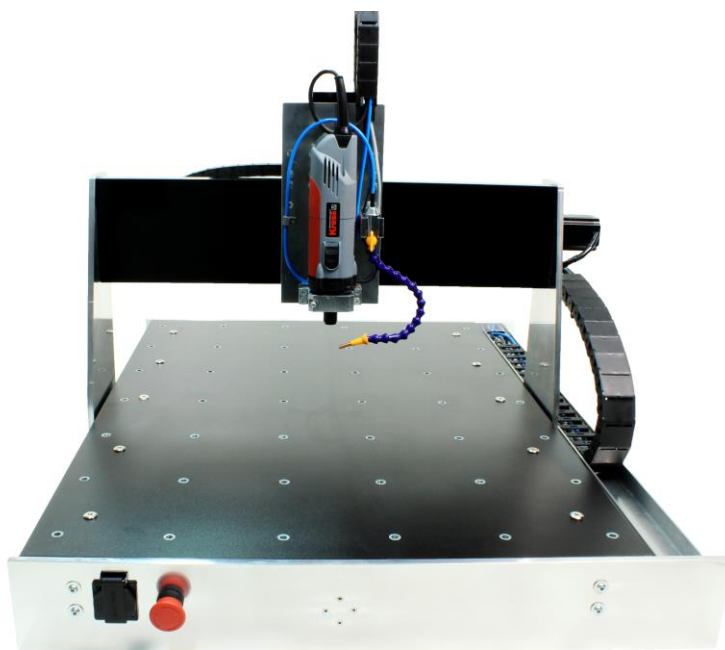
## Obsah

1	Úvod.....	4
2	Úvod do CNC strojů.....	5
2.1	Automatické řízení .....	5
3	Hlavní komponenty pro stavbu CNC frézky.....	7
3.1	Rámy obráběcích strojů.....	8
3.2	Vedení lineárních posuvových soustav.....	10
3.3	Náhony lineárních posuvových soustav .....	11
3.4	Pohony lineárních posuvových soustav .....	13
4	Konstrukce CNC frézky .....	15
6	Sestavení frézky .....	20
7	Nastavení.....	21
8	Závěr.....	22
9	Použitá literatura a odkazy .....	22

---

# 1 Úvod

Pro konstrukci CNC frézky jsem se rozhodl z mého zájmu o letecké modelářství. Při stavbě konstrukčních modelů, které obsahují množství různých žeber vyřezaných nejčastěji z balzové desky nebo překližky, mě napadla prvotní myšlenka postavit si vlastní CNC frézku, která by mi ulehčila zdlouhavou ruční práci. Ceny nejlevnějších komerčně vyráběných CNC frézek se pohybovaly v řádech desetitisíců, takže zakoupení frézky jsem si z finančních důvodů nemohl dovolit. Při shromažďování informací ke stavbě CNC frézky jsem objevil diskusní fórum [www.c-n-c.cz](http://www.c-n-c.cz), které mě ujistilo v tom, že postavit si vlastní CNC stroj není zas tak obtížné, jak se může na první pohled zdát. Lze ho hlavně postavit levněji, než komerčně vyráběné stroje. S rozvojem elektroniky v domácích podmínkách se začala v dnešní době spousta lidí zabývat myšlenkou postavit si vlastní počítačem řízený stroj. Nejčastěji to jsou frézky, řezačky polystyrenu popřípadě plottery na kreslení např. desek plošných spojů. Cílem mé maturitní práce bude navrhnout a zrealizovat tříosou CNC frézku, jejíž hlavním účelem bude usnadnění a urychlení práce modeláře. Frézka bude využívána jen občasně, nepočítá se s nasazením do trvalého provozu. Z toho důvodu bude konstrukce, technologická náročnost odpovídat cílenému uplatnění frézky. Použité materiály jsou v cenových relacích dostupných běžným amatérským stavitelům. Realizovaná frézka je na obrázku.



**Obr. 1 Realizovaná frézka**

---

## 2 Úvod do CNC strojů

Počítačem řízené číslicové stroje, které jsou často označovány zkratkou CNC (Computer Numerical Control) jsou charakterizovány tím, že ovládání pracovních funkcí stroje je prováděno řídicím systémem a programem pomocí alfanumerických znaků. Tyto znaky vytváří programová slova, slova dále tvoří bloky programu. Tyto programové bloky jsou řídicím systémem převáděny na impulzy elektrického proudu pro řízení silových prvků stroje nebo ostatních zařízení potřebných pro provoz stroje. Všechny pohyby nástroje nebo obrobku jsou definovány rychlostí po dané trajektorii v prostoru nebo v rovině. CNC stroje tvoří pružnou automatizaci, lze je tedy rychle přizpůsobit jiné obdobné výrobě. Počítačem řízené stroje se uplatňují ve všech oblastech strojírenské výroby (obrábění, tváření, montáž, měření).

### 2.1 Automatické řízení

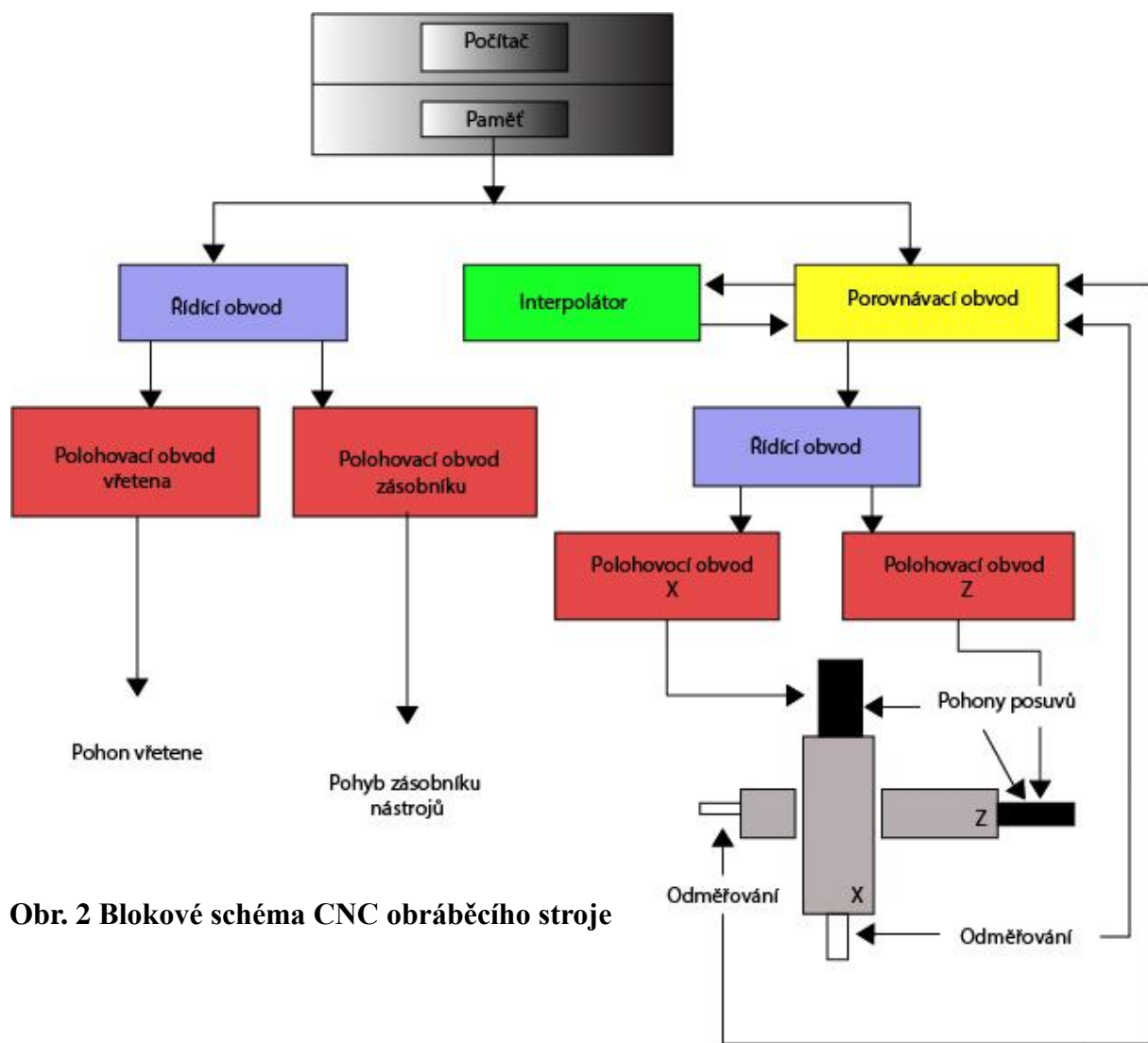
V současné době se ve strojírenství často využívá výpočetní techniky. Dochází k masivní automatizaci výroby. Využití číslicově řízených strojů stále roste. Automatizace přináší rychlejší, spolehlivější, přesnější výrobu a nahrazuje činnost člověka, čímž částečně snižuje možnost lidského selhání, a zvyšuje produktivitu práce. Samotný vývoj automatického řízení začal již ve čtyřicátých letech 20. století v období druhé světové války. Postupem času došlo k velkým změnám v oblastech konstrukce strojů, ale i v samotném řízení a jeho programování. Jedny z prvních programovatelných strojů, NC stroje (Numerical Control), byly řízeny programem, který byl zaznamenán na dřevěném štítku nebo pásce. Tyto stroje byly používány při výrobě složitějších součástek s vysokou potřebou opakovatelnosti. Později byly připojeny ke strojům počítače, které zjednodušily programování a řízení strojů. Vzhledem k výkonnosti CNC strojů se jejich ceny snižují, ale kvalita produkovaných výrobků stoupá. Číslicově řízené stroje pokrývají široký rozsah technologií obrábění, tváření, řezání, montáže a měření. CNC stroje se dělí na jednoúčelové, univerzální a stroje s víceosým řízením. Číslicově řízená centra jsou doplňována manipulačními, kontrolními a dalšími speciálními zařízeními, které zdokonalují automatizování výroby. Počet klasických konvenčních strojů se snižuje a jsou nahrazovány číslicově řízenými stroji. Změnou výrobních zařízení se mění i požadavky na jejich obsluhu, nikoliv na technické znalosti pracovníků. Rozvoj CNC techniky stále pokračuje a objevují se další zdokonalené stroje.

## Princip automatického řízení

CNC – Computer Numerical Control – počítačem (číslicově) řízený (stroj). Číslicově řízené výrobní stroje jsou charakteristické tím, že ovládání pracovních funkcí stroje je prováděno řídicím systémem pomocí vytvořeného programu. Informace o požadovaných činnostech jsou zapisovány v programu pomocí alfanumerických znaků. Vlastní program je dán posloupností oddělených skupin znaků, které se nazývají bloky nebo věty. Program je určen pro řízení silových prvků stroje a zaručuje, aby proběhla požadovaná výroba součásti. Stroje, které lze jednoduše přizpůsobit jiné výrobě, nazýváme „pružné“.

Řídicí program obsahuje informace:

- geometrické – popis dráhy nástroje nebo obrobku v kartézských souřadnicích, k sestrojení dráhy jsou potřeba rozměry z výrobního výkresu součástky.
- technologické – technologie obrábění, řezné podmínky (otáčky, řezná rychlost, rychlost posuvu, hloubka třísky).
- pomocné – povely pro pomocné funkce (zapnutí, chladicí kapaliny, směr otáček vřetene).



Obr. 2 Blokové schéma CNC obráběcího stroje

---

### **Popis blokového schéma:**

- Počítač – průmyslový počítač s řídicím systémem:
  - skládá se z monitoru a ovládacího panelu pro zadávání příkazů při nutné ruční obsluze
  - lze vytvářet přímo řídicí CNC program
  - program lze vytvořit i mimo stroj a poté jej nahrát do řídicího systému
- Řídicí obvody
  - probíhá v nich převod logického signálu na silnoproudé elektrické signály, kterými se ovládají části stroje (vřetena, posuvy)
- Interpolátor
  - řeší dráhu nástroje, která je zadána geometrií
  - zajišťuje výpočty délkových a rádiusových korekcí nástroje
  - vypočítává ekvidistantu od požadovaného obrysu
  - zajišťuje geometrickou přesnost výrobku
- Porovnávací obvod
  - stroje jsou vybaveny zpětnou vazbou, která přenáší informace o dosažených hodnotách v jednotlivých bodech dráhy
  - tyto hodnoty (souřadnice) jsou porovnávány s požadovanými hodnotami
  - podle odlišnosti mezi požadovanou a dosaženou hodnotou dojde k zásahu, ke korekci dráhy, tak, aby byla dosažena požadovaná hodnota

## **3 Hlavní komponenty pro stavbu CNC frézky**

Na českém trhu je řada dodavatelů s širokou nabídkou komponentů pro stavbu CNC strojů. Někteří dodavatelé jsou dokonce zaměřeni na amatérské stavitele. U těchto dodavatelů lze objednat všechny potřebné komponenty k sestavení funkčního stroje. Níže je uveden přehled hlavních komponentů k sestavení CNC stroje.

---

### 3.1 Rámy obráběcích strojů

Základní části rámu jako jsou lože, stojany, sloupy, konzoly, případně příručníky mají přímý vliv na celkovou tuhost stroje. Při návrhu těchto částí musí konstruktér respektovat řadu hledisek, které lze shrnout v požadavky.

- kvalitní materiál rámu
- dobrá statická tuhost
- jednoduchá a efektivní výroba
- malá hmotnost
- snadná manipulovatelnost

U CNC frézek existují tři základní typy konstrukčního řešení rámu, které jsou jakýmsi kompromisem mezi tuhostí, pracovní plochou a mechanickou složitostí. Volba použité konstrukce je pak závislá na požadovaných prioritách těchto vlastností. Základní rozdělení konstrukcí rámu frézek je na konzolové, stolové a portálové.

#### Konzolové frézovací stroje

Konzolové frézky jsou označovány podle výškově přestavitelné konzoly, která se posouvá po vedení stojanu. Na konzolu může být upínán přímo obrobek nebo přídatný stůl.



Obr. 3 Konzolová frézka



---

## Stolové frézovací stroje

Stolové frézky často nahrazují konzolové frézky, jejich hlavní výhodou je neměnná výška upínacího stolu. Tato koncepce vytváří podstatně tužší konstrukci, která umožňuje vyšší pracovní přesnost.



**Obr. 4 Stolová frézka**

## Portálové frézovací stroje

Hlavní konstrukce tvoří dva stojany, které jsou spojeny příčnickem tvořící portál. Portálové frézky lze dále rozdělit na frézky s pevným portálem a na frézky s posuvným portálem. Portálové frézky umožňují optimální využití pracovního prostoru s ohledem na zastavěnou plochu.



**Obr. 5 Portálová frézka**

---

### 3.2 Vedení lineárních posuvových soustav

V rámci zaměření mé maturitní práce budou zmíněny pouze nepoužívanější druhy lineárního vedení u CNC strojů. Lineární vedení zajišťuje každé ose pohyb pouze v daném směru. Mezi základní požadované vlastnosti patří dostatečná tuhost, minimální třecí odpor a eliminace vůlí v ostatních směrech než je směr pohybu osy.

#### Nepodepřené tyče

Nepodepřené tyče jsou nejlevnější variantou vedení os. Jejich první nevýhodou je nízká tuhost, lze je použít jen na krátké vzdálenosti. Tyče jsou broušené a povrchově kalené.



Obr. 6 Nepodepřená tyč



Obr.7 Vozík

#### Podepřené tyče

Podepřené vodící tyče jsou kompromisem mezi tuhostí a cenou. Tyč je v celé délce podepřena, tudíž je lze použít na delší vzdálenosti. Lineární ložiska jsou otevřená.



Obr. 8 Podepřená tyč



Obr. 9 Vozík

---

## Prizmatické vedení

Prizmatické lineární vedení nabízí vysokou tuhost, přesnost, vysoké posuvové rychlosti. Nevýhodou je vysoká cena. Jako valivých komponentů je využito kuliček nebo válečků, které obíhají po nabroušených kalených drahách vozíku a kolejnice.



Obr. 10 Prizmatické vedení

### 3.3 Náhony lineárních posuvových soustav

Náhony lineárních posuvových soustav přeměňují rotační pohyb motoru na pohyb přímočarý. Existuje několik možností realizace. Mezi hlavní požadavky na posuvový mechanismus u CNC frézek patří minimální vůle, tuhost, konstantní a co nejmenší hodnota součinitele tření.

#### Šrouby s lichoběžníkovým závitem

Lichoběžníkové šrouby se používají tam, kde nejsou vysoké požadavky na přesnost a vysoké posuvové rychlosti. Hlavní výhodou je nízká cena, nevýhodami jsou nízká účinnost a relativně vysoké opotřebení. Matice jsou nejčastěji z bronzového nebo speciálního plastového materiálu.



Obr. 11 Závitová tyč

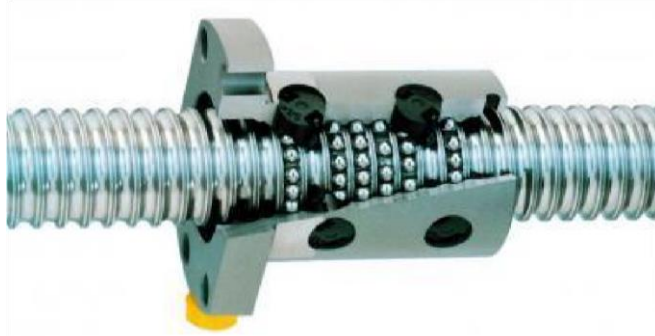


Obr. 12 Matice

---

## Kuličkové šrouby

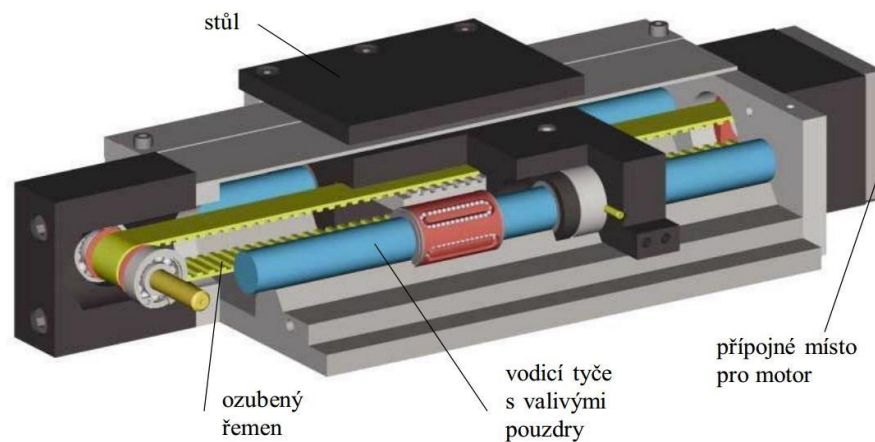
Jedná se o nepoužívanější variantu náhonu lineárních os. Kuličkové šrouby nejsou v přímém kontaktu s maticí, ale jsou odděleny kuličkami, které obíhají v souhlasných závitových drahách na šroubu a matici. Kuličkové šrouby vynikají vysokou mechanickou účinností. Předepnuté kuličkové matice mají vysokou tuhost a přesnost. Nevýhodami jsou vysoká cena a vyšší nároky na přesnost uložení.



Obr. 13 Kuličkový šroub

## Ozubené řemeny

Lineární osy s ozubeným řemenem se používá pro polohování s vysokou dynamikou. Omezujícím parametrem je přesnost polohování, která je nejvíce ovlivněna tuhostí řemene.

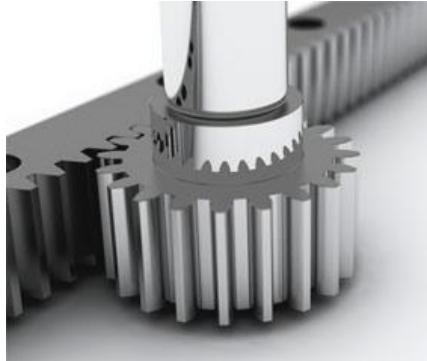


Obr. 14 Ozubený řemen

---

## Ozubené hřebeny

Ozubené hřebeny s pastorkem se používají pro dlouhé pracovní pojezdy, kde by použití posuvových šroubů nebylo vhodné. Ozubený hřeben s pastorkem má oproti šroubu s maticí nižší tuhost, přesnost a vyšší nároky na mazání.



**Obr. 15 Ozubený hřeben**

### ***3.4 Pohony lineárních posuvových soustav***

Pohony přeměňují vstupní energii na mechanický pohyb. U CNC frézek se využívají elektromotory a to nejčastěji servomotory nebo krokové motory. Kladené nároky jsou na plynulý bezrázový rozběh a brždění, s vysokou přesností polohování a dostatečnou polohovou tuhost.

#### **Servomotory**

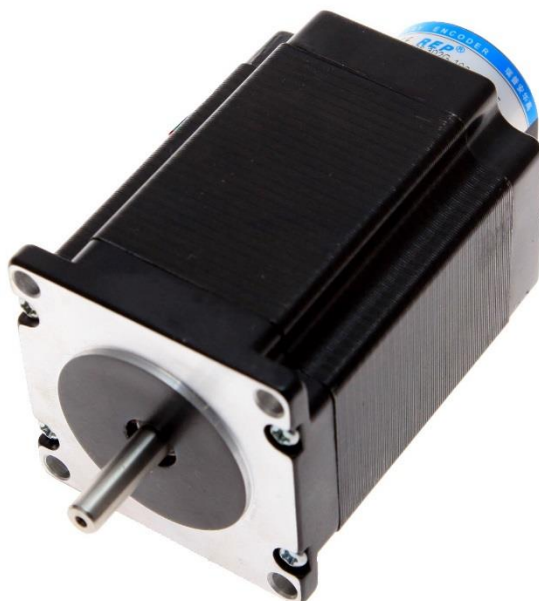
Servomotory jsou motory, u kterých lze nastavit přesnou polohu natočení osy. Servomotory jsou dnes nejčastěji řešeny jako synchronní motory s třífázovým vinutím ve statoru. Na výstupní hřídeli motoru je umístěn enkodér, který udává informaci o poloze natočení hřídele zpět řídicí elektronice. Servomotory jsou vhodné pro dynamicky náročné úlohy a lze je krátkodobě několikanásobně přetížit.



**Obr. 16 Servomotor s měničem**

### **Krokové motory**

Krokové motory jsou řízeny impulsy stejnosměrného proudu. Impulsy jsou následně převedeny na jednotlivé kroky pootočení osy motoru. Velikost kroku je dána konstrukcí motoru. Nevýhodou je ztráta záběrného momentu při vysokých posuvech a při přetížení dochází ke ztrátě kroku.



**Obr. 17 Krokový motor**

---

## 4 Konstrukce CNC frézky

Při návrhu frézky se jako první musí zvolit pracovní rozsah. Rozsah byl zvolen podle velikosti obráběných dílů. Přesnost polohování os bude asi 0,1 mm, což je pro obrábění dostačující. Hodnoty rozsahu jsou uvedeny v tabulce.

Specifikace	Hodnota [mm]
Pracovní rozsah osy X	800
Pracovní rozsah osy Y	600
Pracovní rozsah osy Z	200
Polohovací přesnost	$\pm 0,1$

### Materiál pro konstrukci frézky

Kvůli velkému pracovnímu rozsahu musela být dodržena optimální tuhost stroje, proto jsem za materiál zvolil hliníkovou slitinu. Ramena frézky jsou vyrobená z 10mm hliníku a rám je sestaven z hliníkových kombi profilů o velikosti 30x30mm.

### Lineární vedení a pohybový šroub

K lineárnímu pohybu os jsem použil indukčně kalené ocelové podepřené tyče o průměru 16mm, po kterých se pohybují lineární kuličková ložiska. Náhony os jsou zhotoveny ze zbrošených závitových tyčí o průměru 16mm a stoupání 4mm. Závitová tyč je propojena s motorem pomocí pružné spojky.

---

### **Volba vřetena**

Pro tento projekt jsem zvolil ruční přímou brusku od firmy Kress o výkonu 1050W. Bruska má plynulou regulaci otáček (5000 – 25000 ot/min). Upínání nástrojů je do průměru stopky 8mm a je řešeno kleštinou.



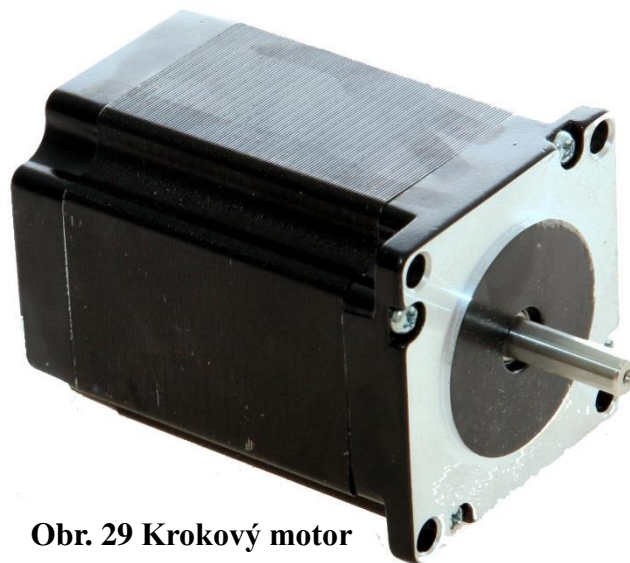
**Obr. 28 Vřeteno**

### **Elektronika a řídicí systém**

Řízení frézky je řešeno pomocí osobního počítače a ovladače krokových motorů, tzv. driveru. Komunikace mezi počítačem a driverem je řešena přes LPT (Line Printer Terminal) rozhraní, které se běžně používalo k připojení tiskáren.

### **Pohon lineárních posuvových soustav**

Krokový motor jsem zvolil od firmy LDO Motors typ NEMA23 o velikosti 76mm a krouticím momentem 1,89Nm. Motor je rozložen na 200 kroků na otáčku.



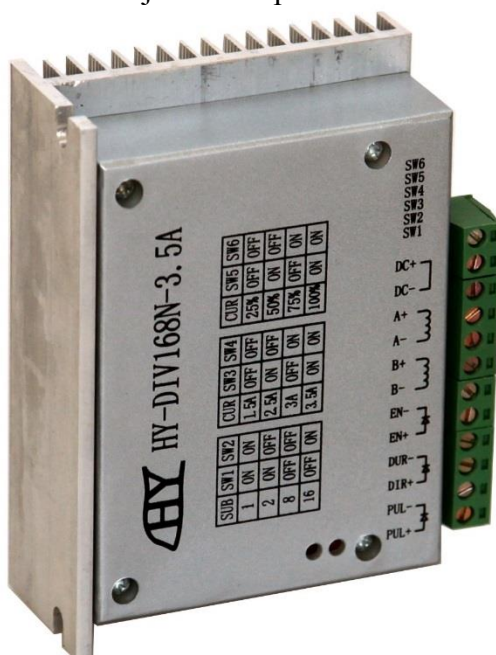
**Obr. 29 Krokový motor**



---

## Driver krokových motorů

Pohon motorů zajišťuje driver pro krokové motory. Zvolil jsem jednoduchý driver, využívající čipu TOSHIBA 6560. Zařízení je určeno pro motory s RMS max. 3A, špičkový poskytovaný proud 3.5A. Driver umožňuje pomocí přepínačů nastavení ovládacího proudu motoru v rozsahu 25 %, 50 %, 75 % a 100 %. Pomocí přepínačů dále lze nastavit rozdělení jednoho kroku motoru až na 16 tzv. mikrokroků. Mikrokrokování má především za důsledek plynulejší chod a zvýšení citlivosti motoru. Doporučený řídicí software je MACH3, lze ale použít jakýkoliv jiný software umožňující řízení pomocí LPT rozhraní.

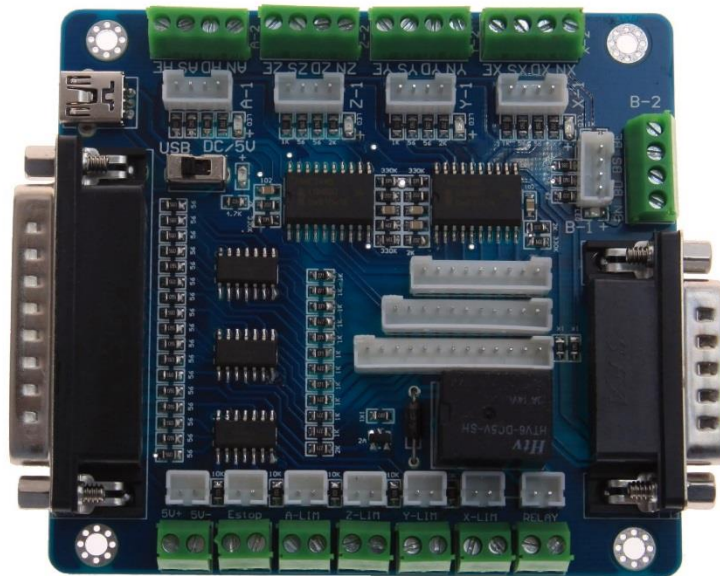


Obr. 20 Driver

## LPT Oddělovací deska

Zvolil jsem opticky oddělenou desku pro ovládání až 5-ti osého stroje přes LPT port. LPT Oddělovací deska umožňuje bezpečně ovládat až 5-ti osé stroje z prostředí programu MACH 3. Kromě samozřejmých výstupů STEP a DIR pro každý z 5-ti maximálně připojených driverů obsahuje ještě následující rozhraní:

1. Port pro manuální ovladač (MNC-5A)2.
2. Porty pro 3/4/5ti osý digitální odečet3.
3. Vstupy pro 4 koncové spínače
4. Vstup pro EMERGENCY tlačítko.
5. Spindle interface pro spínání vřetene pomocí relé.



**Obr. 21 Oddělovací deska**

### **Zdroj**

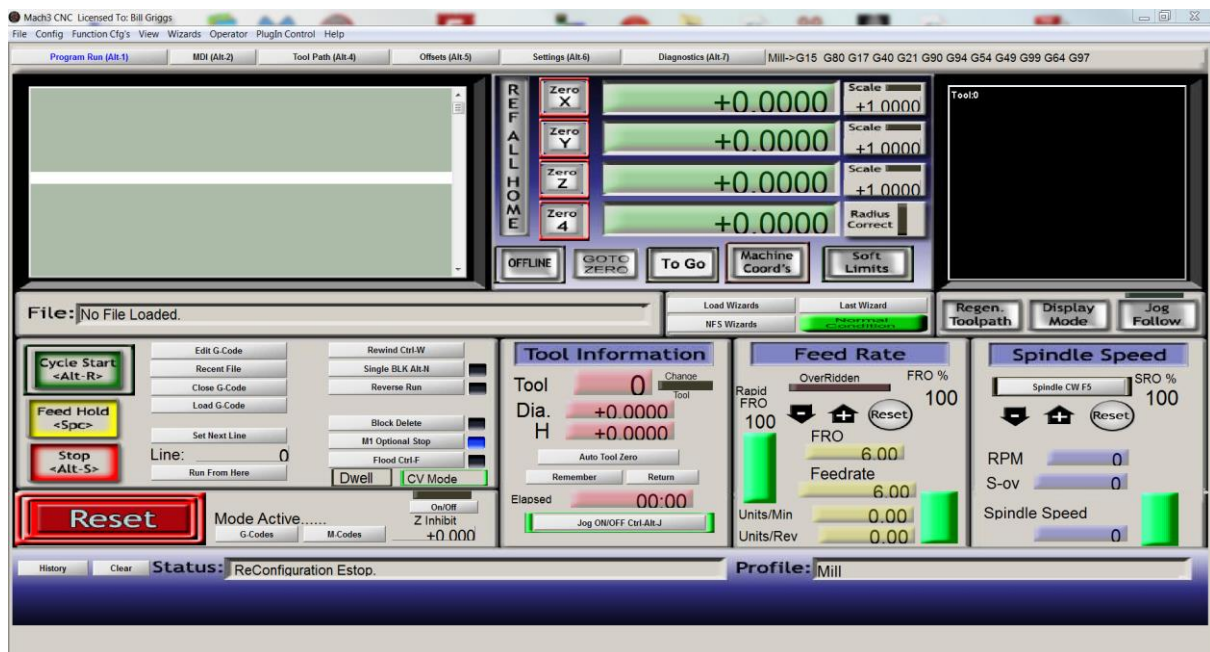
Pro napájení zvolených driverů pro krokové motory je žádoucí stejnosměrné stabilizované napětí v rozsahu 12 V – 36 V. Zvolené krokové motory mají doporučené napětí 24 V a maximální dovolené zatížení jedné fáze krokového motoru je 2,8 A. Tři motory mohou tedy odebírat až 8,2 A. Jako vhodný byl vybrán průmyslový spínaný zdroj 24 V o výkonu až 350W. Je to Kvalitní zdroj s aktivním chlazením a rozsáhlým rejstříkem ochran.



**Obr. 22 Zdroj**

## 5 Řídicí software

K řízení frézky je používán program Mach3, který byl současně dodán se zvoleným driverem krokových motorů. Mach3 je balík programů běžících na osobním počítači, které ho přeměňují na výkonný a levný řídicí systém. Mach3 umožňuje primárně až šesti osé řízení frézky, ale také umožňuje řízení soustruhu nebo plasmového či laserového řezacího stroje. Software umožňuje ovládání vřetene, chlazení, nastavení HW, SW limitů. Mach3 se programuje pomocí standartního ISO kódu.



Obr. 23 Řídicí program Mach3

---

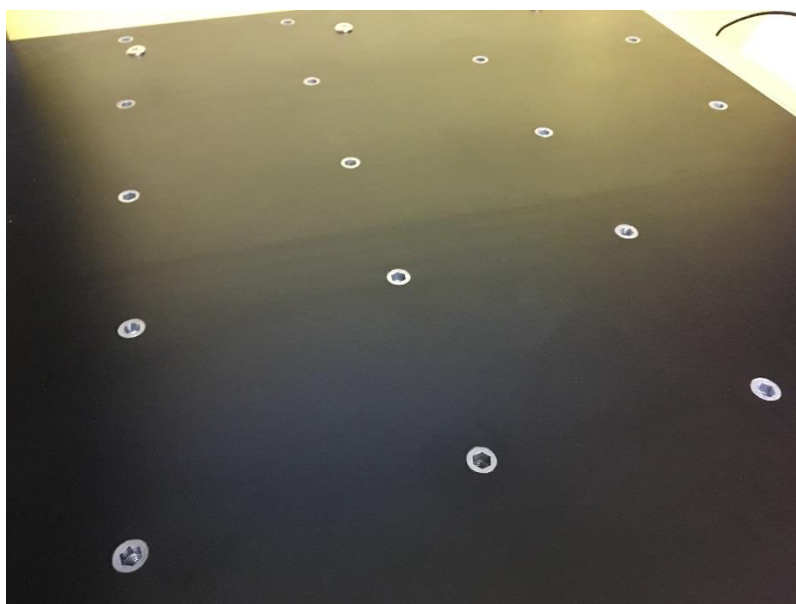
## 6 Sestavení frézky

### Výroba dílů frézky

Hliníkové profily byly obrobeny na CNC frézce, jelikož bylo nutné zajistit vysokou přesnost jednotlivých otvorů, především rozteč otvorů, do kterých byly uloženy lineární ložiska. Frézování bylo provedeno na mé vlastní CNC frézce. Ostatní díly byly opracovány na soustruhu.

### Stůl

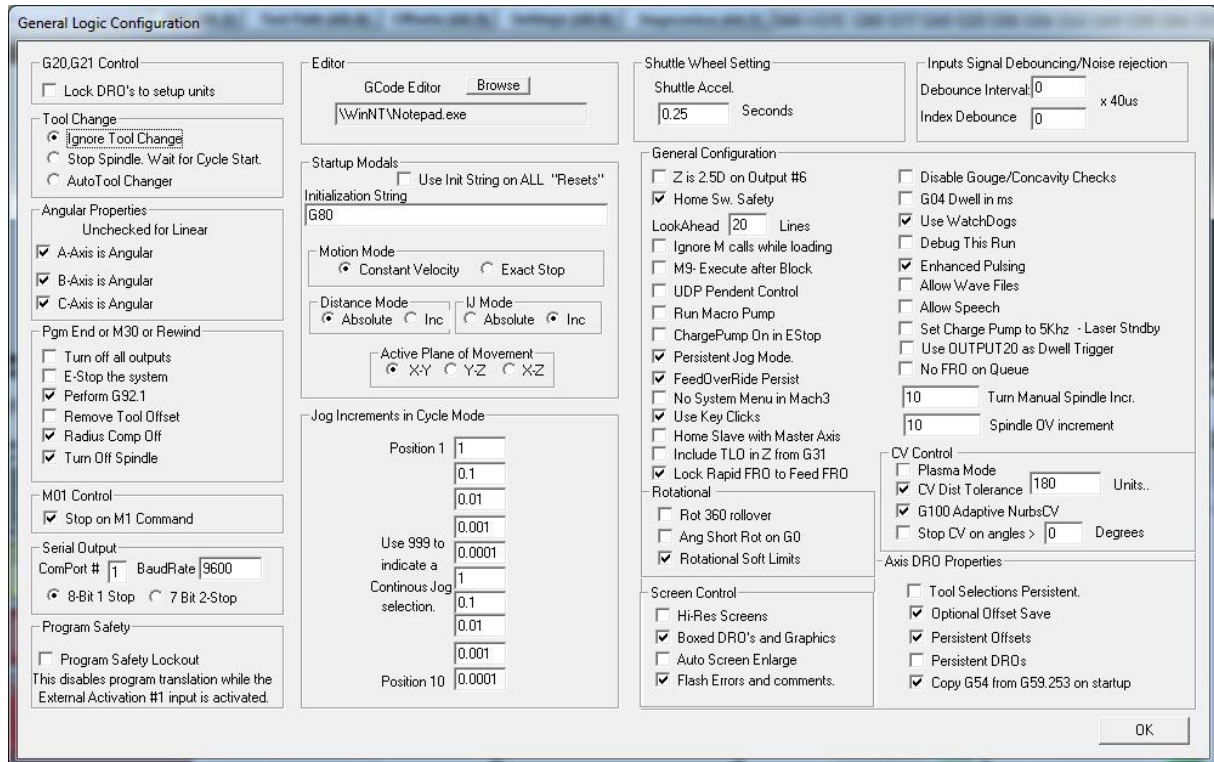
Pracovní stůl frézky má rozměry 720x1000 mm. Je vytvořen z dřevotřískové desky o tloušťce 18 mm. Stůl má v sobě zabudované otvory se závit. Slouží pro rychlé upínání materiálu.



Obr. 24 Pracovní stůl frézky

## 7 Nastavení

Před provedením mechanického nastavení je nutné nakonfigurovat řídicí program pro správnou komunikaci s frézku. Prvotní nastavení bylo provedeno podle návodu, který byl dodán k driveru krokových motorů.



Obr. 25 Nastavení frézky

---

## 8 Závěr

Zrealizovaná CNC frézka byla postavena s podstatně nižšími finančními náklady, než se pohybují ceny komerčně vyráběných frézek. Výsledná tuhost konstrukce a přesnost polohování splnily očekávání před vlastní realizací. Závěrem lze tedy říci, že úsilí vložené do realizace frézky se vyplatilo.

## 9 Použitá literatura a odkazy

<https://cnc.inshop.cz/>

<http://www.c-n-c.cz/>